

Structure, fonctionnement et évolution de deux systèmes aquifères karstiques du nord du Causse de Martel (Corrèze)

Philippe Muet

► To cite this version:

Philippe Muet. Structure, fonctionnement et évolution de deux systèmes aquifères karstiques du nord du Causse de Martel (Corrèze). Géologie appliquée. Université Orléans, 1985. Français. tel-03412908

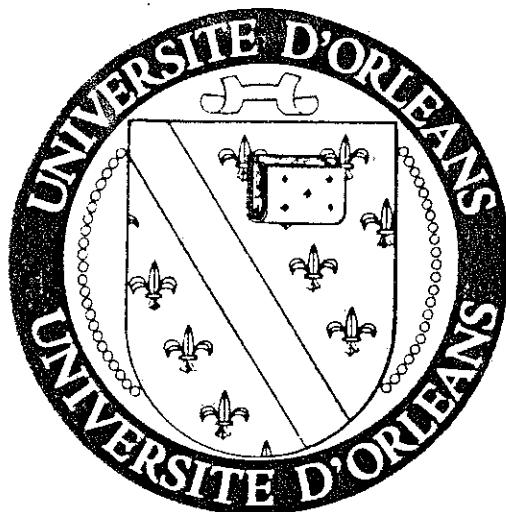
HAL Id: tel-03412908

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03412908>

Submitted on 19 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



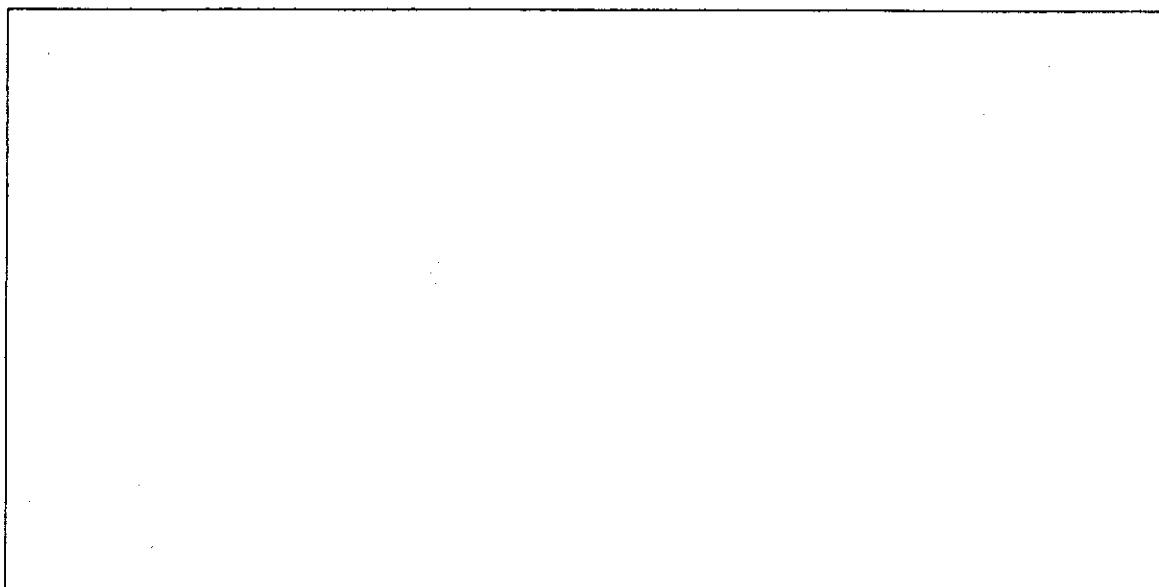
THESE

MATIERES

PREMIERES

MINERALES ET ENERGETIQUES

OPTION: Géochimie et prospection des ressources naturelles



-UNIVERSITE D'ORLEANS -

-DEPARTEMENT des SCIENCES de la TERRE-



LABORATOIRE D'HYDROGEOLOGIE
de
L'Université d'Orléans

En collaboration avec le
LABORATOIRE SOUTERRAIN DU CNRS
(Moulis, Ariège)
et le SRAE du LIMOUSIN.

THESE

présentée

devant

L'UNIVERSITE D'ORLEANS

U.E.R DE SCIENCES FONDAMENTALES ET APPLIQUEES

pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE 3^{ème} Cycle

Spécialité:

MATIERES PREMIERES, MINERALES

ET

ENERGETIQUES

par

Philippe MUET

**STRUCTURE, FONCTIONNEMENT ET EVOLUTION
DE DEUX SYSTEMES AQUIFERES KARSTIQUES DU
NORD DU CAUSSE DE MARTEL (Corrèze)**

TOME I (Texte)

Soutenue le 28 Novembre 1985 devant le Jury:

M. F. LELONG

Président

Mme M. HUCHER

Examinateurs

MM. R. MIROUZE

M. BAKALOWICZ

B. LAFOSSE

M. LEPILLER

A. MANGIN

ERRATA

Page 32, ligne 11 : lire "endroits"
Page 38, ligne 13 : lire "connues"
Page 102, ligne 2 : lire "calcul"
Page 107, 1^{er} titre : lire "dilution"
Page 119, ligne 6 : lire "débit"
Page 128, ligne 17 : lire "fluoresceine"
Page 139, ligne 17 : lire "la zone"
Page 147, ligne 21 : lire "linéaires"
Page 175, ligne 13 : lire "dernier"
Page 190, ligne 2 : lire "spectre"
Page 196, ligne 13 : lire "avons"
Page 206, ligne 2 : lire "Baget"
Page 219, ligne 2 : lire "compliquer"
Page 255, ligne 34 : lire "éliminées"
Page 266, ligne 22 : lire "synthétiser"
Page 275, dernière ligne : lire "remontée"
Page 287, ligne 14 : lire "concentrations"
Page 302, ligne 20 : lire "Blagour"
Page 303, ligne 12 : lire "desquelles"
Page 322, ligne 20 : lire "sous"
Page 331, ligne 25 : lire "tarissement"
Page 348, ligne 21 : lire "de penser cela;"

Page 39, tableau 2 : inverser les colonnes moyen et minimum
Page 244, tableau 31 : Perte de Lacoste valeur maximale de minéralisation lire "477,9 mg/l".

Page 176, formule (3) lire:

$$C_S(t) \cdot Q_S(t) = [C_e(t) \cdot Q_e(t)] * h_T(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} C_e(\tau) \cdot Q_e(\tau) \cdot h_T(t-\tau) d\tau$$

ANNEXES (tome II)

Page 109 à 122, lire "(CO₂) aq en 10⁻² g/l

A Françoise,
à Pierre-jean,
à toute ma famille.





SOMMAIRE

AVANT PROPOS

	<u>page</u>
<u>CHAPITRE I : PRÉSENTATION GÉNÉRALE</u>	1
1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE	3
1.1 Le Causse de Martel	3
1.2 Le secteur étudié	5
2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	7
2.1 Le Causse de Martel et ses marges	7
2.2 Le secteur étudié	12
3. OBJECTIFS DE CETTE ÉTUDE	12
3.1 Recherches sur l'importance des masses d'eau du karst leur localisation et leur vulnérabilité.	14
3.1.1 Recherches sur l'importance des masses d'eau du karst et leur localisation	14
3.1.2 Préserver la qualité des eaux du karst	16
3.2 Contribution à une meilleure connaissance de l'hydro- géologie des aquifères karstiques des causses du Quercy	16
<u>CHAPITRE II : GÉOLOGIE ET GÉOMORPHOLOGIE</u>	18
1. GÉOLOGIE GÉNÉRALE ET STRUCTURALE	22
1.1. Définition des grands ensembles lithologiques.	22
1.1.1 Les terrains permiens.	22
1.1.2 Les terrains triasiques	22
1.1.3 Les terrains liasiques	24
1.1.4 Les terrains du Dogger	27
1.1.4.1 Le Bajocien	28
1.1.4.2 Le Bathonien	30
1.1.4.3 Synthèse	32
1.1.5 Les terrains tertiaires	33
1.1.5.1 Définition	33
1.1.5.2 Description des terrains à faciès sidéro- lithique.	33
1.1.5.3 Localisation et origine de ces formations	34
1.1.5.4 Conclusion	35
1.1.6 Les terrains quaternaires	35
1.1.7 Identification des différents aquifères à partir des différents ensembles lithologiques	37

	<u>page</u>
1.1.7.1. Aquifère des grés permiens	37
1.1.7.2. Aquifère des grès du Trias	37
1.1.7.3. Les aquifères du Jurassique	38
1.1.7.4. Les formations tertiaires	40
1.1.7.5. Les formations quaternaires	41
1.2 Géologie structurale	41
1.2.1 Structures régionales et généralités	41
1.2.2 La fracturation	44
1.2.2.1. Analyse des photographies aériennes	44
1.2.2.2. Analyse à l'échelle de l'affleurement	46
1.2.3. Structure détaillée du secteur étudié: approche cartographique.	52
1.2.3.1. Généralités et problèmes rencontrés	52
1.2.3.2. Présentation des résultats	53
1.2.4. Discussion et conclusion	57
1.3. Conclusion	58
2. <u>GEOMORPHOLOGIE</u>	60
2.1. Géomorphologie et méthodes d'étude	60
2.2. Carte de la morphologie actuelle et description des différentes formes de relief.	62
2.2.1. Carte de la morphologie actuelle	62
2.2.2 Description des différentes formes du relief	63
2.2.2.1. Les dolines	63
2.2.2.2. Les grandes dépressions	65
2.2.2.3. Les vallées; les vallées et vallons secs	65
2.2.2.4. Les réseaux spéléologiques	70
2.2.2.5. Les lapiaz	72
2.2.2.6. Les sources	73
2.2.2.7. Les pertes	75
2.3. Essai de reconstitution de paléosurfaces topographiques	75
2.3.1. Surface complexe sur laquelle se sont déposées les formations détritiques tertiaires	75
2.3.2. Pénéplaine dont l'altitude aux environs de Noailles se situait de 290m à 310m.	77
2.3.3. Relief d'érosion fluviatile auquel se rapportent les vallées sèches suspendues.	80
2.4. Synthèse, discussion et conclusion.	82
2.4.1. Synthèse	82
2.4.2. Discussion	86
2.4.3. Conclusion	87
3. <u>CONCLUSION DU CHAPITRE</u>	88

	<u>page</u>
<u>CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE</u>	92
1. <u>CLIMATOLOGIE</u>	94
1.1. Les précipitations	94
1.1.1. Les stations pluviométriques: caractéristiques et situation géographique.	94
1.1.2. Résultats des mesures de pluie	96
1.1.3. Critique des données et calcul de la lame d'eau moyenne précipitée sur le secteur étudié.	97
1.2. Température et ensoleillement.	100
1.3. Evaluation de l'évapotranspiration réelle(ETR)	100
1.3.1. ETR journalière sur la cycle 1982	100
1.3.1.1. Méthode utilisée	100
1.3.1.2. Résultats	102
1.3.2. ETR moyenne interannuelle	102
1.3.2.1. Méthode utilisée	102
1.3.2.2. Résultats	104
1.4. Synthèse climatique	104
2. <u>HYDROMETRIE</u>	105
2.1. Estimation des débits	105
2.1.1. Généralités	105
2.1.2. Méthodes de jaugeages	106
2.1.2.1. Les jaugeages au moulinet	106
2.1.2.2. Jaugeages chimiques par dilution (methode globale)	107
2.1.3. Présentation et critique des stations limnigraphiques et limnimétriques.	109
2.1.3.1. Les stations équipées d'un limnigraph	109
2.1.3.2. Les stations limnimétriques	119
2.1.4. Débits moyens journaliers.	120
2.1.4.1. La Couze au Soulier	120
2.1.4.2. Le Sorpt à Rozier	122
2.1.4.3. Le Blagour au Soulier	122
2.1.4.4. La Couze-perte au Briant.	125
2.1.4.5. Le ruisseau de Fontille.	125
2.2. Caractéristiques hydrométriques des différents cours d'eau.	125
3. <u>DELIMITATION DES DIFFERENTS SYSTEMES KARSTIQUES.</u>	127
3.1. Les traçages	128
3.1.1. Généralité	128
3.1.2. Résultats	128
3.1.2.1. Les traçages de pertes perennes	128

	<u>page</u>
3.1.2.2. Les traçages de pertes temporaires	131
3.1.2.3. Les traçages réalisés à partir du réseau spéléologique	132
3.1.3. Synthèse des résultats et discussion	132
3.2. Paléotopographie et bassin d'alimentation	133
3.3. Evaluation de la superficie de l'impluvium de la Couze au Soulier par établissement du bilan hydrique.	133
3.3.1. Expression du bilan et généralité.	133
3.3.2. Résultats	136
3.3.3. Discussion	136
3.4. Tracé des limites de l'impluvium de la Couze au Soulier.	137
3.4.1. Présentation des limites	137
3.4.2. Discussion	140
3.4.3. Conclusion.	142
3.5. Les systèmes karstiques du secteur étudié	143
4. <u>HYDRODYNAMIQUE.</u>	146
4.1. Analyse des pourcentages cumulés des débits classés.	149
4.1.1. Méthode.	149
4.1.2. Résultats et discussion	151
4.1.3. Conclusion.	154
4.2. Analyse des courbes de récession	155
4.2.1. Méthode.	156
4.2.1.1. Courbe de tarissement	157
4.2.1.2. Courbe de décrue	158
4.2.1.3. Classification des systèmes karstiques	159
4.2.2. Choix des récessions pour lesquelles le tarissement est atteint. Problèmes rencontrés.	160
4.2.3. Résultats et discussion	167
4.2.3.1. Caractéristiques du sous-système karst noyé.	167
4.2.3.2. Caractéristiques du sous-système infiltration	171
4.2.4. Position des systèmes étudiés dans la classification de A.Mangin.	173
4.3. Analyse des résultats de traçage	175
4.3.1. Généralité	175
4.3.2. Méthode	177
4.3.3. Traçages étudiés et résultats	179
4.3.4. Synthèse et conclusion	182
4.3.4.1. Système du Blagour	182
4.3.4.2. Système du Sorpt	183
4.3.4.3. Conclusion	184

	<u>page</u>
4.4. Analyses corrélatoire et spectrale	185
4.4.1. Méthode	186
4.4.1.1. Analyse dans le domaine temporel, analyse corrélatoire.	186
4.4.1.2. Analyse dans le domaine fréquentiel, analyse spectrale.	189
4.4.2. Application aux systèmes karstiques.	192
4.4.2.1. Analyse longue durée	194
4.4.2.2. Analyse sur un cycle	195
4.4.3. Résultats	197
4.4.3.1. Analyse des chroniques de débits de la Couze et de la pluie à Coudonnet rela- tives à la période 1971-1980. Résultats et interprétation.	197
4.4.3.2. Analyse des chroniques de débits du Blagour, du Sorpt, de la perte de la Couze et de Fontille ainsi que des chroniques de la pluie à Coudonnet et à Lagleygeolles relatives au cycle 1982. Résultats et interprétation.	209
4.4.4. Synthèse et discussion.	214
4.5. Conclusion de l'étude hydrodynamique.	220
5. HYDROGEOCHIMIE	222
5.1 Généralités	222
5.1.1. Les éléments fondamentaux. Equilibre calco- carbonique.	223
5.1.2. Les éléments caractéristiques de l'aquifère	227
5.1.2.1. L'ion Mg^{2+} .	227
5.1.2.2. L'ion SO_4^{2-}	227
5.1.2.3. L'ion Cl^-	228
5.1.2.4. Les ions Na^+ et K^+ .	230
5.1.2.5. La silice	231
5.1.3. Les éléments en trace.	232
5.2 Protocole d'aquisition des données.	232
5.2.1. Echantillonnage et validité de l'échan- tillonnage.	232
5.2.1.1. Sur un cycle hydrologique.	232
5.2.1.2. Sur les crues	234
5.2.2. Mesures physiques et analyses chimiques	235
5.2.2.1. Température, pH, et conductivité	235
5.2.2.2. Analyses chimiques	235
5.2.2.3. Minéralisation et conductivité	241
5.3. Composition chimique moyenne des eaux des sources du secteur étudié pour le cycle 1982.	243
5.4. Distribution des fréquences de minéralisation	245

	<u>page</u>
5.5 Etude des variations du chimisme des eaux	251
5.5.1. Généralités.	251
5.5.2. Analyses en composantes principales	252
5.5.2.1. Modèle	252
5.5.2.2. Utilisation du modèle.	253
5.5.2.3. Interprétation.	254
5.5.3. Description des courbes de variation et détermination des caractères dominants.	255
5.5.3.1. Le système du Blagour.	260
5.5.3.2. Le système du Sorpt.	293
5.5.4. Discussion.	302
5.5.4.1. Comparaison entre les systèmes du Sorpt et du Blagour.	302
5.5.4.2. Comparaison avec les systèmes du sud du Causse de Martel.	304
5.5.4.3 La question des sulfates	304
5.6. Hydrothermique.	305
5.6.1. Généralités.	305
5.6.1.1. Le flux solaire-Zone d'hétérothermie.	305
5.6.1.2. Le flux géothermique-Zone d'homothermie	306
5.6.1.3. Cas des aquifères karstiques.	306
5.6.2. Résultats obtenus sur les différents systèmes	307
5.6.2.1. Les températures d'étiage.	307
5.6.2.2. Les températures en hautes eaux.	308
5.6.3. Synthèse et conclusion.	308
5.7. Conclusion.	310
6. <u>FONCTIONNEMENT ET STRUCTURE DE L'AQUIFERE KARSTIQUE DU DOGGER</u>	312
6.1. Généralités	312
6.2. Fonctionnement et structure de l'aquifère karstique.	314
6.3. Particularité de chacun des systèmes étudiés	324
<u>CHAPITRE IV: VOLUME DES RESERVES. LOCALISATION DES ZONES EXPLOITABLES</u>	327
1. <u>GENERALITE</u>	329
2. <u>VOLUME DES RESERVES DES KARSTS NOYES DES SYSTEMES DU BLAGOUR ET DU SORPT.</u>	330
3. <u>DEFINITION DES ZONES D'EQUIPOTENTIALITE DE RESSOURCES EXPLOITABLES</u>	332
4. <u>PROBLEMES LIES A L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES</u>	333
4.1. Implantation des forages.	333
4.2. Problème de la reconstitution des réserves.	334
5. <u>CONCLUSION</u>	335

	<u>page</u>
<u>CHAPITRE V : PROTECTION DE LA QUALITE DES RESSOURCES EN EAU DU KARST.</u>	337
1. <u>PROBLEME DE POLLUTION DES AQUIFERES KARSTIQUES EN GENERAL. PROBLEMES POSES PAR LEUR PROTECTION.</u>	339
1.1. Connaissance approfondie de la structure et du fonctionnement de l'aquifère karstique à protéger.	341
1.2. Inventaire des points nécessitant une certaine qualité des eaux.	345
1.3. Inventaire des points de pollution, de leur nature et de leur impact sur l'environnement et la qualité des eaux.	345
1.4 Conclusion	347
2. <u>VULNERABILITE DES SYSTEMES ETUDIES.</u>	347
2.1. Zones à protéger.	347
2.2. Inventaire des pollutions pouvant exister sur le Causse de Martel.	349
3. <u>PREVENTION DES POLLUTIONS.</u>	350
3.1. Pollutions d'origine agricole.	350
3.2. Pollutions dues au trafic routier et ferroviaire	351
3.3. Pollutions urbaines et domestiques.	351
3.4. Pollutions industrielles.	352
3.5. Dépôts sauvages et rejets non-controlés.	352
3.6. Accidents de la circulation sur la RN 20	352
3.7. Accident sur la voie SNCF	353
4. <u>CONCLUSION</u>	353
<u>CHAPITRE VI: CONCLUSION GENERALE</u>	355

OUVRAGES CONSULTES

LISTE DES FIGURES, DES TABLEAUX, DES CARTES, DES PHOTOS.



AVANT-PROPOS

Avant de présenter dans ce mémoire les résultats de plusieurs années de recherche sur le Causse de Martel, je voudrais associer à ce travail tous ceux qui ont contribué à son succès.

Je tiens plus particulièrement à remercier M. B.Lafosse, chef du SRAE du Limousin, et M. R.Bartala, ingénieur du génie rural des eaux et des forêts à la DDA de la Corrèze, pour avoir su trouver un financement pour cette étude et pour l'aide technique que j'ai trouvé auprès d'eux et de leurs services à tout moment.

Je suis très reconnaissant à M. F.Lelong, professeur à l'Université d'Orléans, et à son assistant M. M.Lepiller de m'avoir accueilli dans leur Laboratoire et d'avoir guidé mes travaux durant toutes ces années.

Je dois à M. A.Mangin, maître de recherche au CNRS, et à M. M.Bakalowicz, chargé de recherche au CNRS, toutes les notions générales sur les aquifères karstiques. Je tiens particulièrement à les remercier pour l'aide qu'ils m'ont apporté dans l'interprétation des différents résultats et pour la patience dont ils ont fait preuve pour guider la rédaction de ce mémoire.

Je remercie également M. R.Mirouze, professeur à l'Université de Toulouse, qui a accepté de m'aider dans la rédaction de la partie géologique de ce mémoire.

Je suis reconnaissant à M. D.D'Hulst, ingénieur chimiste au Laboratoire souterrain du CNRS (Moulis; Ariège), d'avoir réglé les nombreux petits problèmes techniques qui perturbaient souvent les séances d'analyse chimique au Laboratoire de Moulis. Je le remercie également pour tous les conseils pratiques qu'il m'a donné en matière de mesures physico-chimiques.

M. A.Chinn, hydrogéologue au SRAE du Limousin, a passé de longues heures avec moi sur le terrain pour installer ou modifier les stations limnimétriques, jauger les cours d'eau ou faire des relevés géologiques. Je ne sais pas comment le remercier de m'avoir donné une voiture sans laquelle il m'aurait été bien difficile d'effectuer le travail de terrain.

Je remercie l'ami, J.P Fabre, alors étudiant à l'Université de Toulouse. C'est lui que m'a donné l'exemple pour étudier l'hydrogéologie du Causse de Martel.

Je tiens également à remercier mes aînés, J.P Petit et G.Santouil qui m'ont initié très tôt à la microtectonique.

P.Marchet, G.Neupont et E.Dumont sont, parmi les spéléologues corréziens, ceux qui m'ont le plus souvent aidé, par exemple, en effectuant à ma place certains prélèvements nocturnes lorsque après plusieurs nuits blanches je ne tenais plus debout. Mais je veux associer à ce travail tous les spéléologues qui un jour ou l'autre se sont transformés, soit en maçon, soit en menuisier, soit en topographe, soit en aide-jaugeur, soit en "injecteur" de colorant pour apporter leur "pierre" à l'édifice.

Je remercie Mme. A.Lefavrais-Raymond, géologue au BRGM, d'avoir accepté de me recevoir toute une après-midi chez elle pour parler de la géologie du Causse de Martel.

Je suis très honoré de l'intérêt qu'ont porté à mon travail les membres du syndicat intercommunal des eaux du Coiroux.

Je n'oublierai pas le long survol en avion du terrain étudié que nous avons pu réaliser grâce à M. R.Michaud, commerçant à Brive et membre de l'aéro-club Briviste.

Je remercie Mme. L.Leymerigie et Mlle. D.Espinasse, toutes deux professeur de lettres, de bien avoir voulu m'aider à corriger les nombreuses fautes de français qui émaillaient mon manuscrit.

Enfin, je voudrais remercier tous les riverains, minotiers, pisciculteurs ou agriculteurs qui m'ont autorisé à pénétrer sur leur propriété pour effectuer des prélèvements, des jaugeages, des injections de colorant ou des levés géologiques. En particulier, je remercie M. C.Traversat, agriculteur à Lagley-geolles de Nespouls, de m'avoir cédé 1m² d'une de ses prairies pour installer un pluviographe. Je remercie également M. Martial, de la SAUR, de m'avoir autorisé à pénétrer dans l'enceinte de la station d'AEP du Blagour et d'avoir mis à ma disposition une alimentation électrique 24 Volts.

CHAPITRE : I

PRESENTATION GENERALE

1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE
2. CONTEXTE GEOLOGIQUE
3. OBJECTIFS DE CETTE ETUDE

1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

1.1 Le Causse de Martel

Le Causse de Martel est le plus septentrional des Causses du Quercy (cf. *fig* : 1). Il est limité au nord par le bassin de Brive, à l'est par la vallée de la Tourmente, au sud par la vallée de la Dordogne et au sud-ouest par la vallée de la Borrèze. La limite ouest est moins marquée. On peut la situer au début des collines du Sarladais, dont la végétation plus abondante tranche avec celle, plus pauvre, du Causse de Martel (Mordret;1982).

Ce plateau d'une altitude moyenne de 290 mètres environ, très verdoyant, marque la transition entre trois régions: le Quercy au sud, le Limousin au nord et le Périgord à l'ouest.

La morphologie du Causse de Martel est typiquement karstique. Le plateau est accidenté d'une multitude de dolines de toutes formes et de toutes dimensions. Cette région ne possède aucun cours d'eau important en surface. De nombreux ponors collectent les eaux de ruissellement. Au nord, des ruisseaux coulant sur les formations imperméables du bassin de Brive, disparaissent totalement au contact des calcaires. Le Causse de Martel est sillonné par de nombreuses vallées sèches. Souvent, des sources à fort débit jaillissent à leur extrémité, en aval.

Les eaux d'infiltration sont drainées par huit sources, au débit moyen annuel supérieur à $0,3m^3/s$, qui se répartissent en bordure du plateau de la manière suivante : au sud la source de Cacrey (N°25) et du Blagour de Souillac (N°24; JP. Fabre, 1983), à l'ouest Ladoux de Coly (N°29), au nord Ladoux de S^t Cernin (N°22), la source du Sorpt (N°2) et du Blagour de Chasteaux (N°1), à l'est l'œil de Ladoux (N°26) et la Fontaine de Briance (N°28; cf. *fig*: 2.).

L'activité humaine n'est pas très importante dans cette région. Bien que le plateau soit traversé par la RN 20 et la voie de chemin de fer Paris-Toulouse, les communications ne sont pas très faciles. A cause du manque d'eau pendant la période estivale, l'agriculture, activité essentielle, présente des difficultés pour survivre. Aussi, depuis quelques années, des élevages industriels se développent et tendent à remplacer

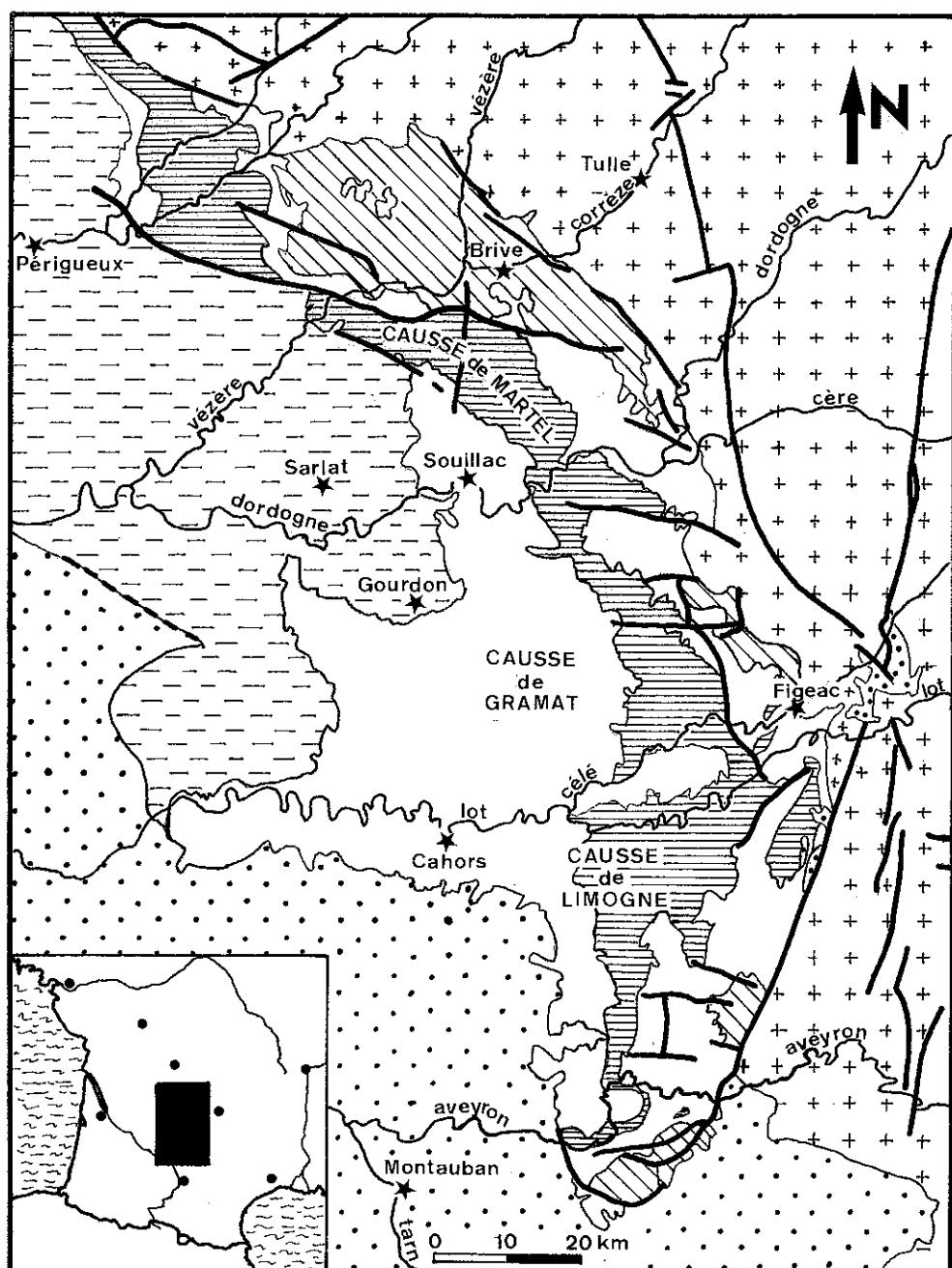


Fig: 1 tirée de la carte géologique de la France
au 1/1000 000^e

	Socle cristallin		Lias		Crétacé sup.
	Permo-trias		Dogger		Tertiaire
	Failles		Malm		Villes

la polyculture traditionnelle (élevage des ovins et des bovins, culture de la noix, etc.). Sur les ruisseaux issus des sources karstiques, les installations des anciennes minoteries ont souvent été réutilisées par des entreprises de pisciculture. Parallèlement à l'exode rural, le Causse de Martel devient une aire de repos pour les citadins de Brive et de Souillac. La plupart des maisons laissées vides par l'agriculture deviennent des résidences secondaires. Le tourisme se développe surtout au nord, autour du "plan d'eau du Causse".

L'alimentation en eau potable du plateau, mais également des régions limitrophes, est assurée à partir des sources drainant le karst.

1.2. Le secteur étudié

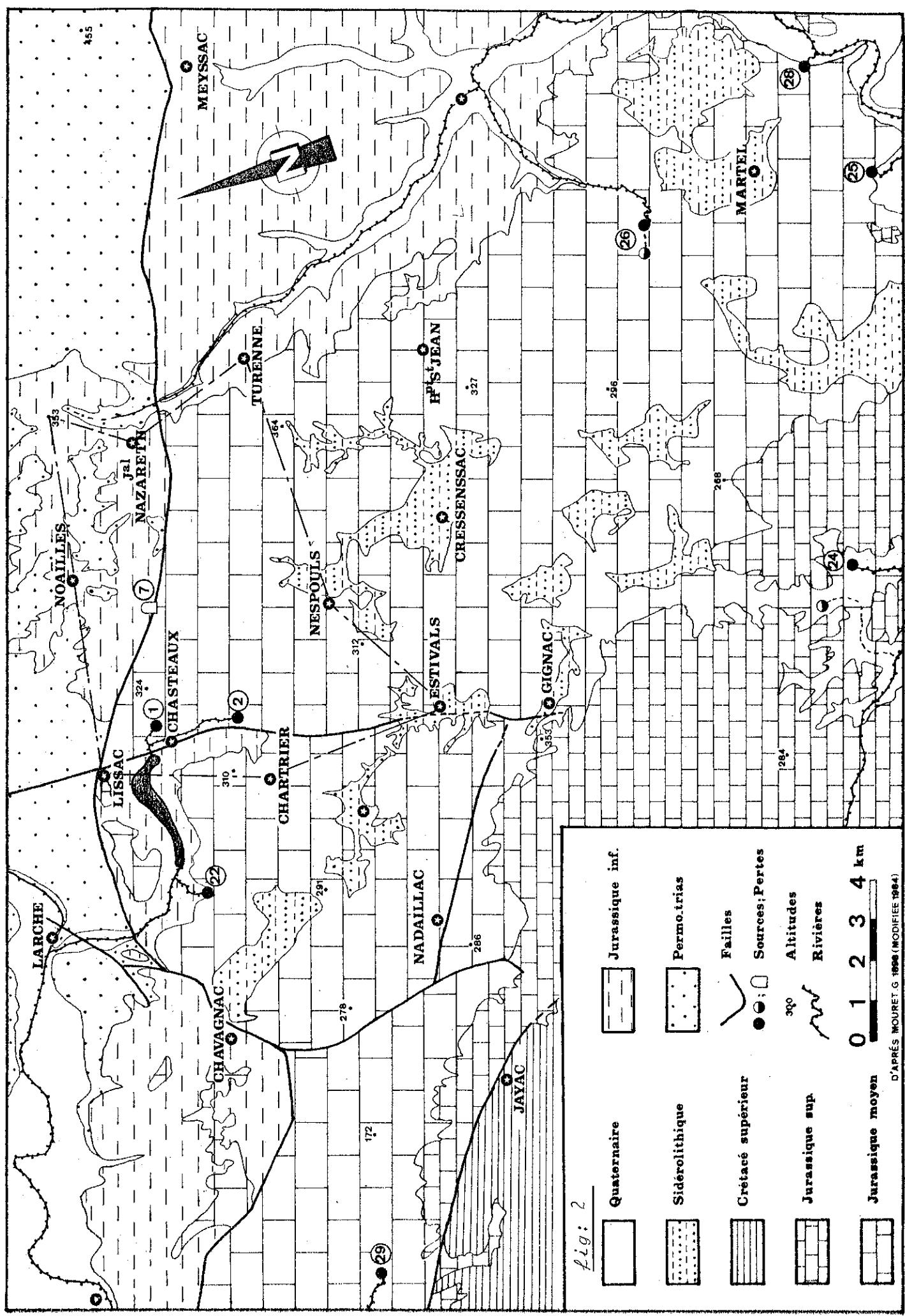
Il couvre le nord-est du Causse de Martel et une partie du sud du bassin de Brive. Schématiquement, il peut être délimité par un polygone dont les sommets seraient les bourgs de Lissac, de Noailles et le lieu-dit Montplaisir au nord, les bourgs de Jugeals-Nazareth et Turenne à l'est, les bourgs de Nespouls et Estivals au sud et enfin Chartrier-Ferrière à l'ouest. (cf. fig: 2)

Dans cette zone, les calcaires sont drainés par deux grosses sources situées au nord-ouest du secteur étudié:

* La source du Blagour (n°1), qui naît à l'aval d'une importante vallée sèche, est en partie alimentée par les eaux qui ruissellent sur les formations imperméables du bassin de Brive et disparaissent dans les calcaires à la perte de la Couze (n°7) (alimentation confirmée par traçage dès 1977).

* La source du Sorpt (n°2) naît dans une reculée associée à un accident tectonique majeur, la faille de Chasteaux.

Comme sur le reste du Causse de Martel, l'activité industrielle n'est pas très développée. Pourtant, on compte de nombreuses carrières d'où sont extraits des matériaux de construction et de concassage. L'industrie de la pierre et l'industrie agricole (porcherie industrielle) sont les seules représentées. L'agriculture est, d'une manière générale, peu développée. Contrairement à certains secteurs du Causse, les élevages indus-



trials ne sont pas très nombreux. En revanche, si on met à part les résidences secondaires, le nord-est du Causse de Martel a vu sa population augmenter assez sensiblement et devenir ainsi la grande banlieue de Brive.

L'alimentation en eau potable est assurée grâce au captage d'eaux provenant du socle cristallin*, mais également par la source du Blagour. Le plan d'eau du Causse est alimenté essentiellement par les eaux des sources du Blagour et du Sorpt.

2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La description géologique et géomorphologique du secteur étudié sera approfondie au chapitre II

Nous nous contenterons dans ce paragraphe de rappeler, à partir des nombreux travaux consacrés à ce sujet, les grandes lignes de l'histoire géologique du Causse de Martel et de ses marges, et de replacer le secteur étudié dans ce contexte.

2.1. Le Causse de Martel et ses marges

L'histoire géologique du Causse de Martel est liée à celle du Bassin Aquitain, dont il forme la bordure nord-est.

Après la phase orogénique hercynienne majeure, une phase d'érosion intense a provoqué l'accumulation de produits détritiques dans des dépressions, comme celle de Brive, bordée par des accidents de direction armoricaine (NW, SE). Ces dépôts, grès et argiles, sont datés du Stéphanien au Permien et peuvent contenir des passages houillers.

Au Trias, ces formations stéphano-permiennes, plus ou moins plissées par une phase tardi-hercynienne, ont été érodées. Alors qu'au sud du Bassin Aquitain, où la subsidence commençait, se déposaient d'épaisses séries détritiques et évaporitiques, au nord, des dépôts fluviatiles (grès grossiers et argiles) sédimentaient en discordance sur les grès permiens.

A partir du début du Lias et jusqu'au Crétacé supérieur, les dépôts sont essentiellement marins sur toute la surface du Bassin Aquitain.

* Syndicat intercommunal des eaux du Coiroux. Le Coiroux est le nom du ruisseau capté aux environs de Beynat (Corrèze).

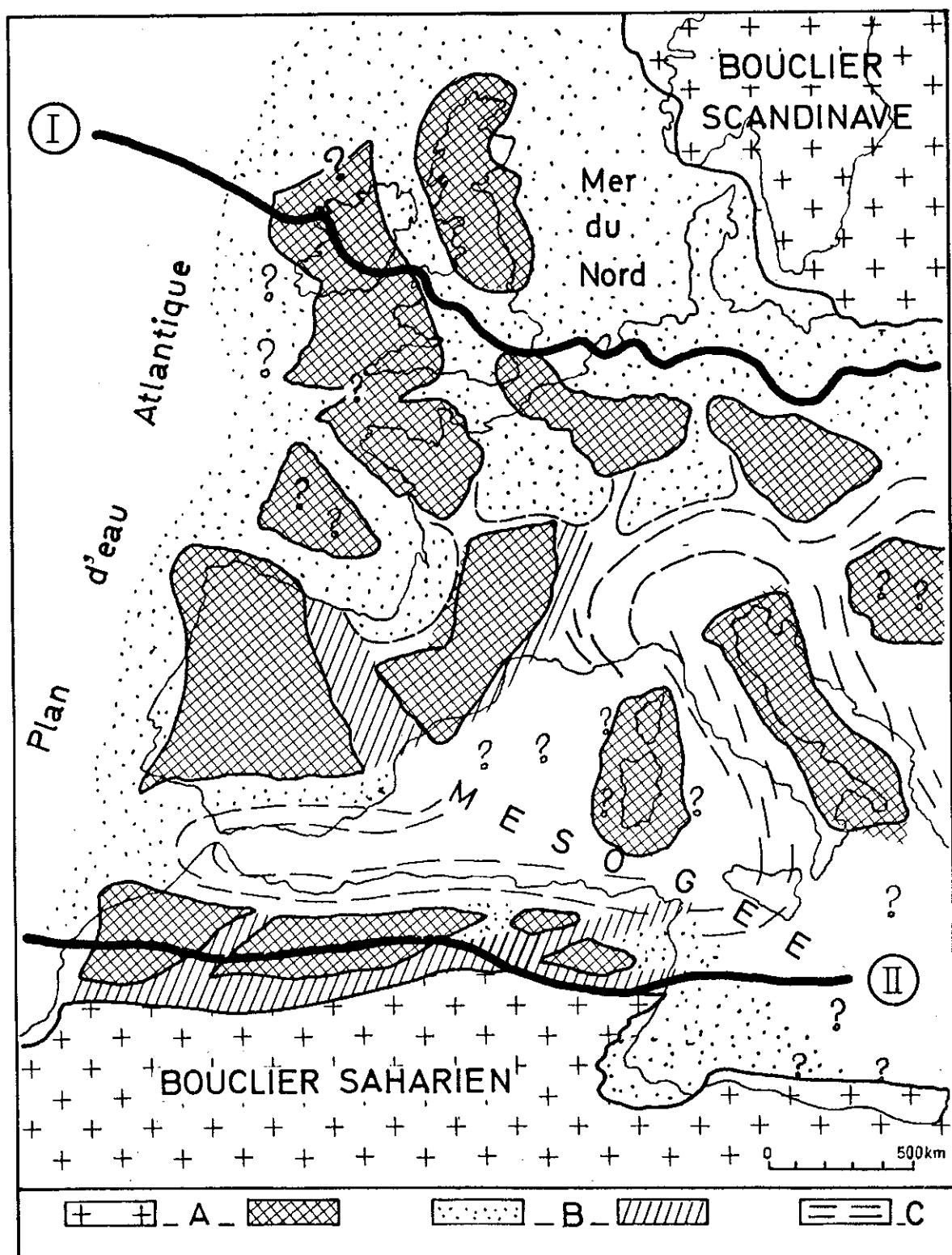


fig: 3 (d'après J. Delfaud 1978)

Situation du Haut Fond Occitan dans le jurassique moyen européen.
C'est un bloc (A) situé entre des bassins (B) moins profonds que la Messogée (C).
Au point de vue climatique la zone des dépôts calcaires tropicaux est développée
entre les grès équatoriaux (II) au sud et les grès tempérés (I) au nord.

Durant le Lias, on compte généralement trois cycles sédimentaires (A. Lefavrais-Raymond; 1978). Le premier cycle débute par la transgression hettangienne, donnant des dépôts évaporitiques (cargneules) puis calcaires, et se termine par la régression tardis-sinémurienne (Lotharingien). Le second débute au Carixien avec des calcaires marneux, puis des marnes, et se termine à la fin du Domérien. Le troisième est marqué par les formations marneuses du Toarcien.

Durant le Jurassique moyen et supérieur, J. Delfaud a montré que la sédimentation marine, de type tropical, avait été réglée par la présence de hauts-fonds, à l'emplacement actuel des Causses du Quercy. Ces derniers formaient une barrière entre le "plan d'eau Atlantique" et la Mésogée. (cf. *fig: 3*) A l'avant de ces hauts-fonds existaient des zones à haute énergie (barrières coraliennes situées par J. Delfaud dans le Périgord), à l'arrière desquelles se développaient des dunes eolithiques (Bajocien). Entre ces barrières on trouvait une mer confinée, dans laquelle, suivant le lieu ou l'époque, (J. Delfaud) définit trois méga-séquences cf *fig: 4*). On peut trouver des dépôts calcaires de zones intertidales (vasière interne) ou supratidales (ex: dépôts de lignite du Bathonien moyen).

Le Jurassique terminal (Kimméridgien / Portlandien) est marqué par des conditions de dépôts lacustres (cf. *fig: 4*)

Au Crétacé inférieur, une surrection généralisée avec un basculement vers le SW, fait émerger tout le bassin nord Aquitain. Il y a érosion, et, au Crétacé supérieur, où la mer recouvre à nouveau la presque totalité du bassin Aquitain, les sédiments marins se déposent en discordance sur les formations jurassiques. Sur les Causses du Quercy, et un particulier sur le Causse de Martel, ces dépôts n'existent pas.

Le Tertiaire est marqué, dans cette région par le "contre-coup" de l'orogenèse pyrénéenne. Alors que la mer s'est retirée du domaine nord-Aquitain, des fractures et flexures de direction EW apparaissent ou sont réactivées. A la suite, très certainement, d'une érosion différentielle le long de ces accidents, des dépôts détritiques se produisent sur le nord du Bassin Aquitain et fossilisent un karst assez développé.

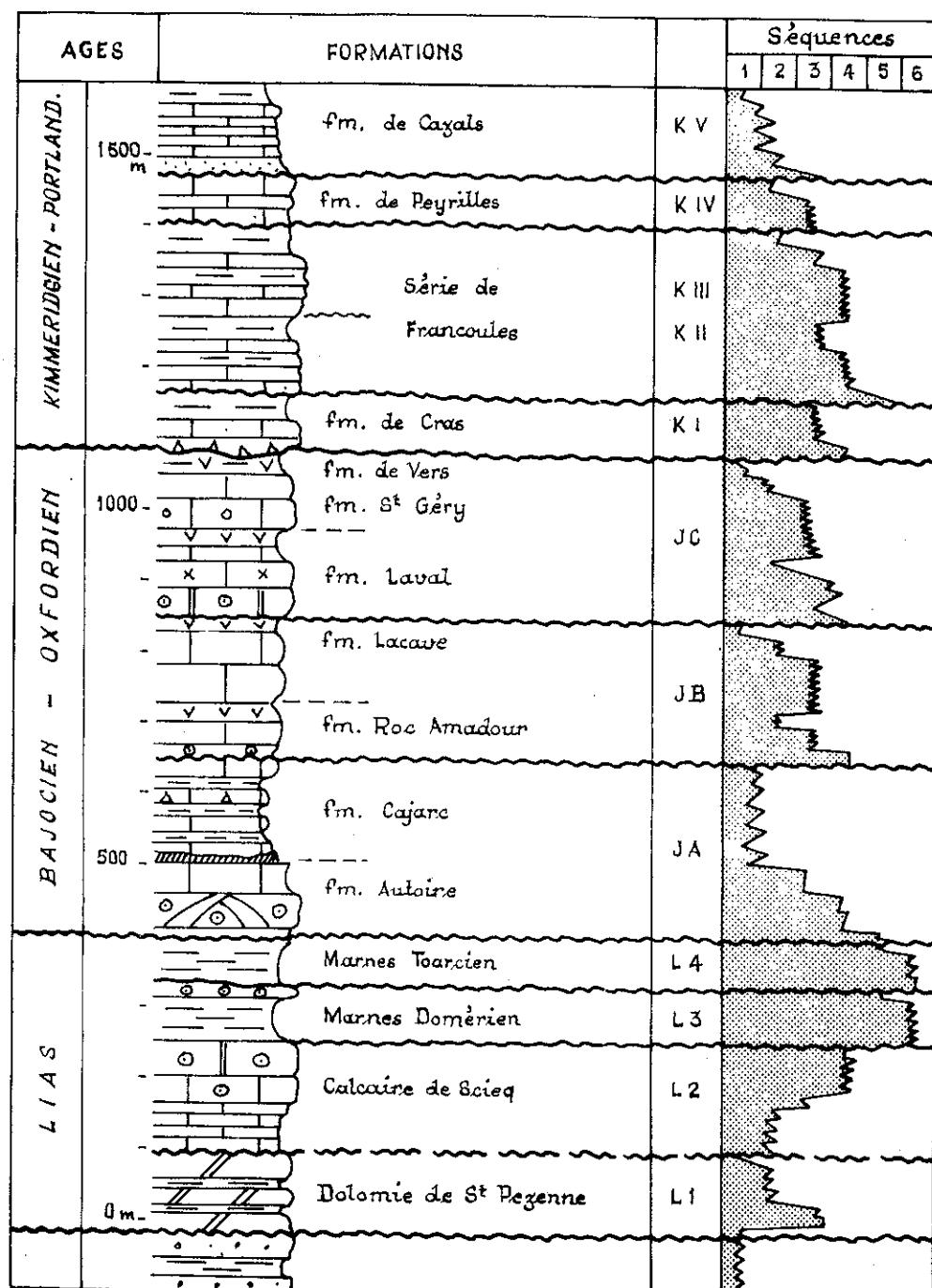


Fig: 4 (d'après J. Delfaud 1978)

— Formations et séquences sur jurassique quercynois. Le jurassique est décomposé en trois ensembles (Lias - Bajocien/Oxfordien - Kimmeridgien/Portlandien). Les séquences montrent les variations des milieux de dépôt entre 1 : sub-continental ; 2 : intertidal ; 3 : plate-forme interne ; 4 : zone à haute énergie ; 5 : plate forme externe ; 6 : zone marine de centre des bassins.

Une évolution pédologique de type tropical caractérise ces dépôts (type latéritique; Sidérolithique). La morphologie actuelle des Causses du Quercy est héritée de l'érosion Quaternaire. Dès le Villafranchien, de longs couloirs d'érosion sillonnent les Causses du Quercy. Ils donneront naissance aux grandes vallées, telle que celle de la Dordogne. Puis le Sidérolithique est presque entièrement décapé et les écoulements de type karstique deviennent prédominant sur les régions calcaires (B. Gèze 1937).

En revanche, les terrains du Lias et du Crétacé subissent une érosion fluviatile plus poussée, donnant à l'est les paysages de la Limargue et à l'ouest ceux du Périgord. Les seuls dépôts quaternaires sont des formations alluviales ou de pentes (grèzes).

L'histoire géologique de cette partie du bassin Aquitain peut donc être scindée en deux périodes:

* La première, jusqu'au Crétacé, explique les conditions de dépôt des différentes unités lithologiques qui forment les aquifères et leurs limites. La description de ces différents terrains rencontrés sur le secteur étudié se fera au paragraphe II 1.1.

* La seconde, du Crétacé à nos jours, explique la formation du paysage actuel de cette région, et donc, les conditions paléomorphologiques des différents aquifères et leurs variations dans le temps. Ces problèmes, après présentation de la structure géologique actuelle du secteur étudié au paragraphe II 1.2., seront traités au paragraphe II.2.

Le Causse de Martel apparaît actuellement comme une unité géomorphologique, plateau karstique, formé par les calcaires compacts du Dogger. Sa limite nord correspond à un accident plurikilométrique de la bordure du bassin de Brive (faille de Meyssac) qui fait réapparaître les formations permianes, triasiennes et liasiques au nord.

A l'est, la limite est constituée par la Limargue, dont les formations marno-calcaires du Lias disparaissent sous les calcaires du Dogger du fait du pendage général vers le sud-ouest (gauchissement crétacé).

Au sud, la vallée de la Dordogne, creusée sur une flexure, le sépare du Causse de Gramat.

A l'ouest les formations crétacées forment une limite imprécise, compliquée au nord-ouest par un accident parallèle à la faille de Meyssac (cf *fig: 2*).

2.2. Le secteur étudié. (carte n°1; carte géologique de Brive au 1/50 000^e)

Dans ce secteur du Causse de Martel, la structure quasiment tabulaire des calcaires du Dogger est compliquée par deux accidents sensiblement perpendiculaires, la faille de Meyssac (NW-SE dans ce secteur) et la faille de Chasteaux (N-S).

Au nord de la faille de Meyssac, affleurent les formations permianes du bassin de Brive recouvertes en discordance par les grés du Trias, et les marnes et calcaires du Lias. Au contact de la faille, ces formations présentent un plissement à grand rayon de courbure. Au sud de cet accident, se trouvent les calcaires oolithiques et lithographiques du Dogger, parfois recouverts par des lambeaux de Sidérolithiques (Tertiaire).

A cause du plongement général des dépôts secondaires de quelques degrés vers l'ouest, (cf paragraphe 2.1.) on retrouve à l'est de Turenne les marnes et les calcaires du Lias. A l'ouest, l'enfouissement des calcaires jurassiques est interrompu par la faille de Chasteaux, qui fait réapparaître les formations liasiques (moins épaisses d'ailleurs). Le rejet de cette faille s'amortit au sud, dans la région d'Estivals.

Les sources que nous avons étudiées dans le cadre de ce travail se trouvent toutes à proximité de l'un de ces deux accidents, non loin de leur intersection (le bourg de Lissac).

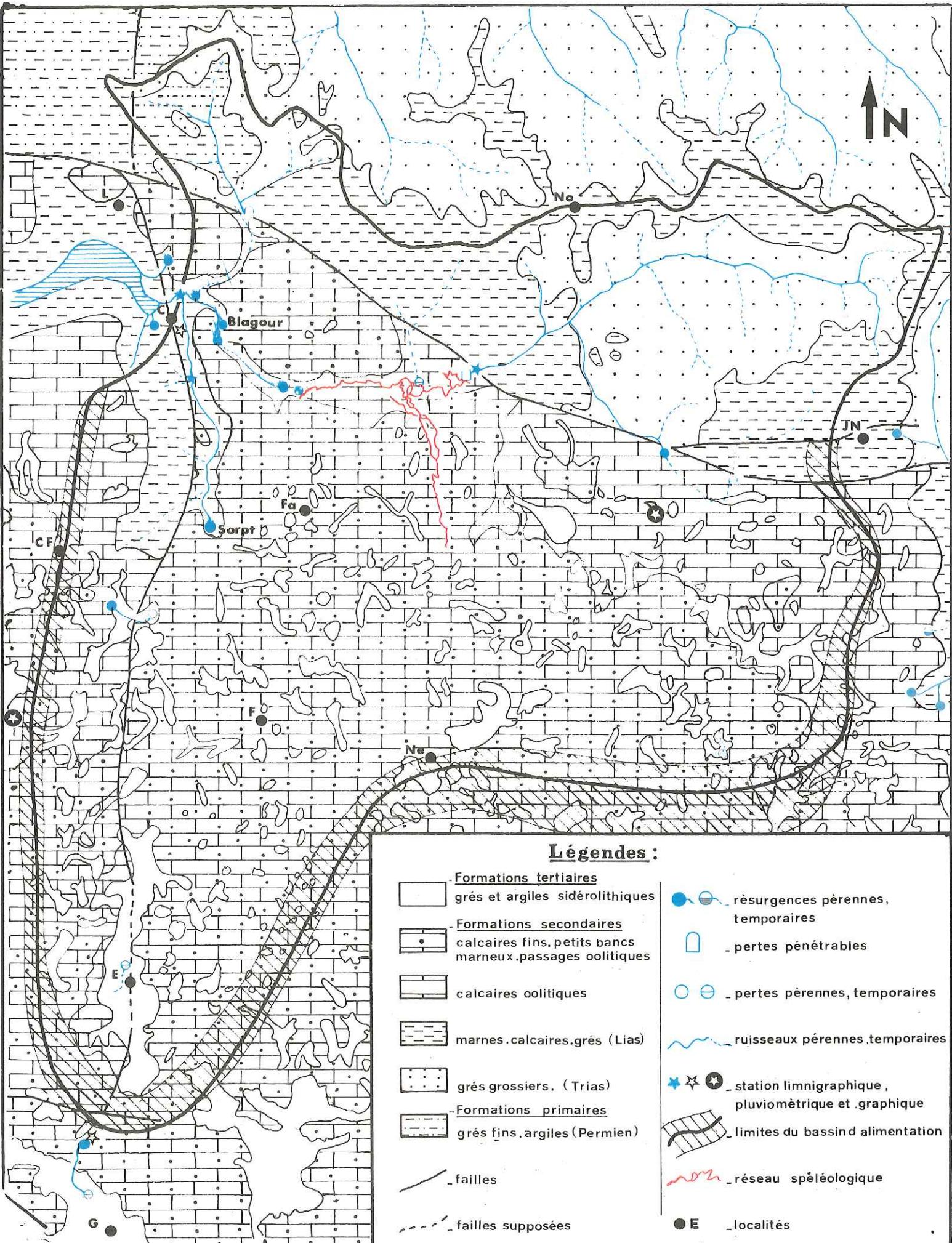
3. OBJECTIFS DE CETTE ETUDE

Du fait de l'augmentation de la population, mais également du développement du tourisme autour du "plan d'eau du Causse", la Direction Départementale de l'Agriculture de la Corrèze a cherché à mieux connaître les réservoirs karstiques de la région de Chasteaux pour, le cas échéant, en exploiter les ré-

CADRE GEOLOGIQUE

éch: 1/50 000^e

CARTE N°1



serves d'une manière optimale, et en préserver la qualité. Les seuls éléments pour répondre à ces problèmes étaient l'exploration du réseau de la Couze (1976) et les traçages de la perte de la Couze et de Lacoste (1977) effectués par les spéléologues locaux.

En 1980 et avec l'aide du SRAE Limousin, une étude hydrogéologique préliminaire a été menée (Ph. Muet, 1980) et a donné un certain nombre d'idées générales sur la structure et le fonctionnement de l'aquifère karstique.

La présente étude est la suite logique du travail mené en 1980 et comprend deux objectifs principaux:

1°) Répondre aux problèmes relatifs à la quantité des masses d'eau contenues dans le karst, ainsi qu'à leur localisation et à leur protection.

2°) Contribuer à une meilleure connaissance de l'hydrogéologie des aquifères karstiques des Causses du Quercy.

3.1. Recherches sur l'importance des masses d'eau du karst, leur localisation et leur vulnérabilité.

3.1.1. Recherches sur l'importance des masses d'eau du karst et leur localisation.

Pour estimer l'importance de la ressource et de la réserve de l'aquifère, nous devrons procéder par étapes successives, qui seront:

a) Détermination des limites des bassins d'alimentation des différentes sources.

Pour cela nous présenterons les résultats d'une étude géologique, structurale et géomorphologique détaillée, que nous compléterons par les résultats d'expériences de traçages. Par ailleurs nous estimerons, par le calcul, la superficie totale de l'impluvium.

b) Définition de la structure et du fonctionnement de l'aquifère.

Nous employerons une approche systémique; un système karstique étant défini comme l'ensemble au niveau duquel les écoulements de type karstique s'organisent pour constituer

une unité de drainage (A.Mangin 1975). Il faudra donc, avant d'appréhender la structure et le fonctionnement de l'aquifère, définir le ou les systèmes karstiques en présence. Ensuite, sur chaque système, nous traiterons et nous mettrons en relation, par des méthodes statistiques, les variations des données d'entrée (la pluie) et des données de sortie (les débits, l'hydrogéo-chimie, les traçages...) de manière, après synthèse des différents résultats, à cerner au mieux la structure et le fonctionnement de l'ensemble de l'aquifère.

Les différentes méthodes statistiques employées seront :

1°) Pour l'étude des débits.

- l'analyse des courbes de récession
- l'analyse corrélatoire et spectrale simple
- l'analyse des pourcentages cumulés des débits classés

2°) Pour l'étude de la relation pluie-débit

- l'analyse corrélatoire et spectrale croisée

3°) Pour l'étude hydrogéochemique

- la distribution des fréquences de minéralisation
- l'analyse en composantes principales

4°) Pour l'étude des résultats de traçages

- l'analyse des distributions de temps de séjour

c) Estimation des masses d'eau contenues dans le karst

Cette estimation sera faite à partir de l'étude des tarissements (détermination du volume dynamique), mais également à partir des résultats concernant la structure et le fonctionnement de l'aquifère. Nous essayerons de faire la part entre les réserves participant au cycle annuel et celles profondes ou piégées.

d) Localisation des masses d'eaux contenues dans le karst.

Nous reprendrons également les résultats concernant la structure et le fonctionnement de l'aquifère, et nous les mettrons en relation avec les résultats de l'étude géologique, structurale et géomorphologique.

3.1.2. Préserver la qualité des eaux du karst

La bonne connaissance de la structure et du fonctionnement de l'aquifère conduira à l'établissement d'un document de synthèse, présentant les zones sensibles à la pollution.

A l'issue de ce travail, nous proposerons des solutions et des aménagements ponctuels, tendant à préserver la qualité des eaux du karst.

3.2. Contribution à une meilleure connaissance de l'hydrogéologie des aquifères karstiques des Causses du Quercy

Ce travail complète l'étude précédemment effectuée sur le Causse de Martel par J.P. Fabre (Thèse de 3^e cycle 1983) sur le système Boulet-Blagour de Souillac; une suite sera donnée par l'étude de P. Marchet sur le système du Coly et de Ladoux de St Cernin (Thèse 3^e cycle à venir).

La synthèse de ces trois études, sur des karsts en zone tabulaire, avec couverture discontinue de sables continentaux tertiaires (Sidérolithique), devrait permettre de donner des règles générales sur la structure et le fonctionnement des aquifères karstiques dans ce type de région .

CHAPITRE : II

GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE

1. GEOLOGIE GENERALE ET STRUCTURALE
2. GEOMORPHOLOGIE
3. CONCLUSION DU CHAPITRE

La recherche et la protection des eaux contenues dans le sol et dans le sous-sol impliquent l'étude détaillée de la géologie et le l'évolution morphologique de la région prospectée. Les objectifs d'un tel travail sont les suivants:

- 1° Définir les unités lithologiques susceptibles de contenir de l'eau (aquifères).
- 2° Définir les caractéristiques intrinsèques des différents aquifères (porosité, perméabilité, fissuration, structure,etc).
- 3° Définir la géométrie de chaque aquifère et les relations hydrauliques pouvant exister entre eux.
- 4° Connaître les variations de la paléohydrogéologie régionale ayant pu influer sur les caractéristiques intrinsèques des différents aquifères (colmatage, décolmatage, dissolution, recristallisation, karstification).

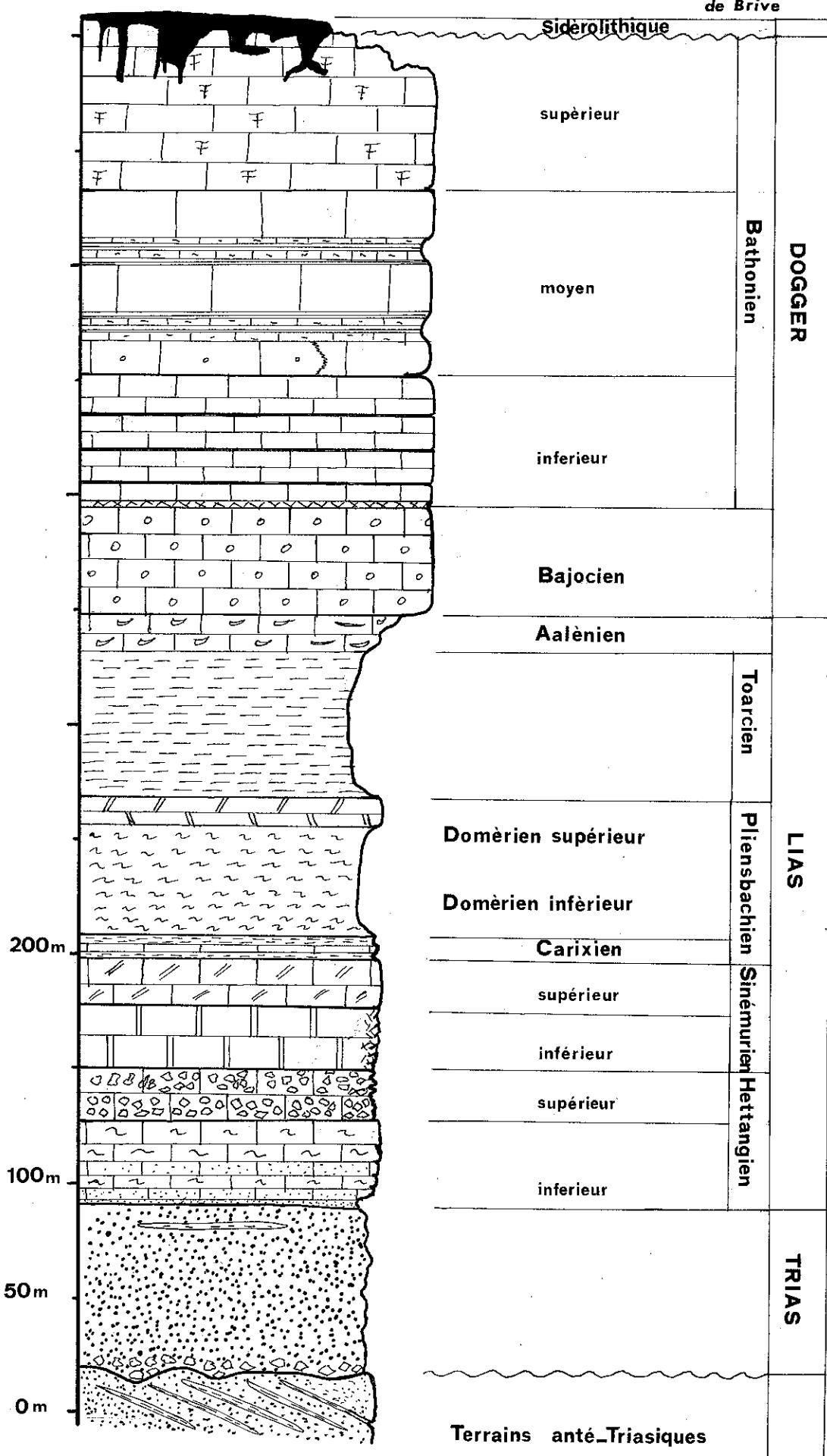
Pour atteindre ces objectifs nous avons employé, dans le cadre de cette étude consacrée aux calcaires du Dogger, les méthodes suivantes:

- 1° La stratigraphie. Elle va nous permettre de délimiter les différentes unités lithologiques.
- 2° La géologie structurale
 - a) Etude de la fracturation
 - L'étude des photographies aériennes nous permettra de mettre en évidence les grandes lignes structurales du secteur étudié.
 - La microtectonique nous permettra de définir la structure et la fissuration des différentes unités lithologiques ,mais également nous permettra de connaître l'histoire tectonique du secteur étudié.
 - b) Etude structurale proprement dite
 - La synthèse de l'étude de la fracturation et des travaux de terrain nous permettra de définir la géométrie des calcaires du Dogger et la relation de cet aquifère avec les autres unités lithologiques présentes dans la région.
- 3° La géomorphologie: Elle va nous permettre le reconstituer la paléohydrogéologie des calcaires du Dogger.

COLONNE STRATIGRAPHIQUE -

FIGURE N° 5

d'après la carte géologique 1/50.000
de Brive



1. GEOLOGIE GENERALE ET STRUCTURALE

1.1. Définition des grands ensembles lithologiques. (cf. fig 5, carte géologique de Brive au 1/50 000)

Ce travail n'étant ni une étude sédimentologique, ni une étude stratigraphique, nous nous contenterons de décrire les différents terrains à partir de quelques observations personnelles, mais surtout, en reprenant les résultats des différentes études stratigraphiques et sédimentologiques antérieurement menées dans cette région.

1.1.1. Les terrains permiens

Ils sont caractérisés par des sédiments détritiques continentaux provenant du démantèlement de la chaîne hercynienne se développant au nord.

Les auteurs qui ont décrit ces formations (G.Mouret 1890, 1891, 1896, Ph.Roger 1968; R.Feys 1976) fournissent des avis différents quant aux limites et aux âges des différents dépôts. R.Feys (1976) en donne l'explication:

" Tout le Permien de ce bassin, est composé de formations qui sont de grandes lentilles, largement intriquées, et dont les variations latérales parfois rapides, rendent difficiles les raccordements entre elles ".

Dans le secteur étudié n'affleure que le sommet de cette série. Elle est formée de grés fins, jaunes (micacés) ou rouges à lentilles argileuses et à stratifications entrecroisées très caractéristiques. Ces formations sont datées du Saxon-Thuringien (R.Feys 1976) ou du Saxonien (G.Mouret 1896, Ph.Roger 1968).

1.1.2. Les terrains triasiques.

Le Trias du Bassin de Brive s'est déposé en discordance sur le Permien. Ce sont des épandages de sables fluviatiles ennoyant un paléorelief permien.

A la base, on trouve des grés grossiers à galets de quartz. En remontant dans la série ils deviennent plus fins et présentent même par endroit des lits micacés rappelant les dépôts permiens (A.Lefavrais Raymond 1976).

La majorité des dépôts du Trias est représentée par des grés clairs (kaolinite), compacts, à stratification

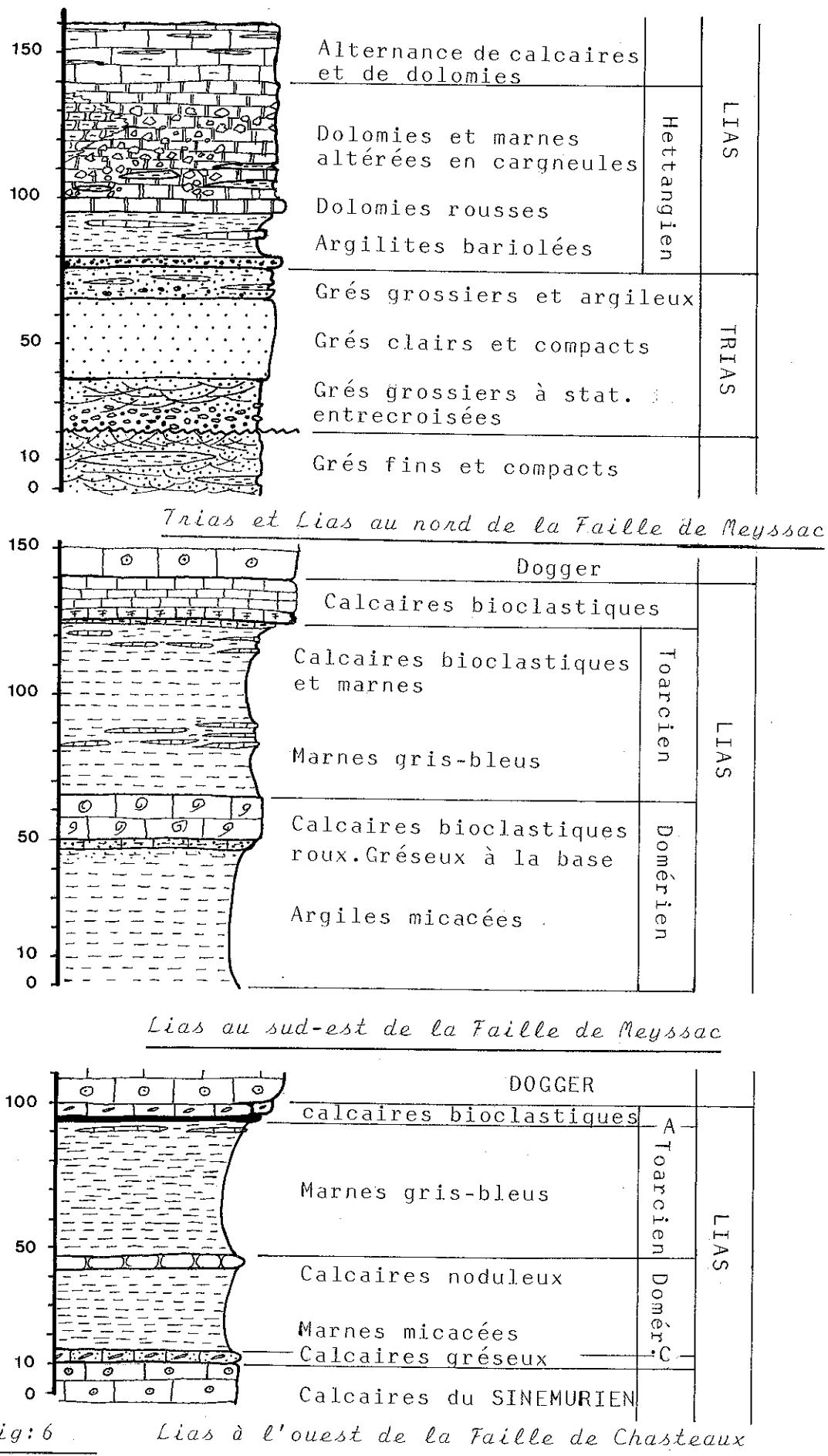


fig: 6

entrecroisées; ils sont traversés par de rares filons ou lentilles d'argile rouge. Ces roches sont exploitées comme matériau de construction ou comme sable, après concassage et nettoyage. Le sommet de cet étage est formé de grés bariolés, de couleur vive, parfois grossiers, qui annoncent les premiers dépôts Hettangiens. L'épaisseur totale du Trias est estimée à 50 ou 80m

1.1.3. Les terrains liasiques.

Les terrains liasiques affleurent en trois zones sur le secteur étudié: (cf carte n°1)

- * Au nord de la Faille de Meyssac.
- * Au sud-est de la Faille de Meyssac.
- * A l'ouest de la Faille de Chasteaux.

Entre ces trois zones il existe des différences de faciés et d'épaisseur qui vont nous obliger à les décrire séparément. Pour synthétiser ces descriptions, la *fig. 6* présente les 3 logs, correspondant aux trois zones.

- a) Au nord de la Faille de Meyssac.
- l'Hettangien.

A la base, un banc de grés indurés constitue un bon repère stratigraphique. Malgré son aspect, rappelant les grés du Trias, il a été rapporté à l'Hettangien inférieur grâce à l'étude des pollens qu'il contient (A.Lefavrais-Raymond 1976). Il est surmonté d'argiles vertes et noires alternant avec des bancs dolomitiques centimétriques. On peut observer ces formations sur la route allant du "Pont de Couderc" à "la Deves", ou sur la D13 en allant vers les abîmes de la Fage, ou encore sur les bords de la D8 entre "Montplaisir" et Nazareth.

L'Hettangien supérieur est composé d'une vingtaine de mètres de dolomies fréquemment altérées en cargneules, mais pouvant également prendre une composition marneuse et un aspect noduleux

- le Sinémurien.

Des calcaires lithographiques et des dolomies à débit parallélipipédiques caractérisent la base de cet étage; ils affleurent seulement aux environs de la Fage au creux d'un synclinal dont l'axe principal est parallèle à la Faille de

Meyssac, ainsi qu'à proximité de Jugeal-Nazareth à la faveur d'une complication de cet accident. Ici, les sédiments du Lias plus récents que le Sinémurien ont été érodés.

b) Au sud-est de la Faille de Meyssac

Au sud de la Faille de Meyssac, les calcaires du Dogger forment une cuesta, de direction nord-sud, dominant la vallée de la Tourmente, entaillée dans les formations liasiques sous-jacentes (R.Clozier 1940). A l'est de cette cuesta on peut remonter toute la série liasique. Toutes les couches, inclinées de quelques degrés vers le sud-ouest, affleurent en longues bandes parallèles de direction méridienne (cf chapitre I). Nous nous bornerons à décrire les formations, affleurant dans la vallée de la Tourmente, allant du Domérien à l'Aalénien; les autres dépôts liasiques affleurant loin du secteur étudié.

- Le Domérien.

Le Domérien inférieur est constitué d'une cinquantaine de mètres de marnes et argiles micacées.

Le Domérien supérieur comprend des marnes gréseuses assez dures, surmontées d'une cinquantaine de mètres de calcaires roux fossilifères, marqués dans le paysage par un abrupt boisé.

- Le Toarcien.

Il est caractérisé par une soixantaine de mètres de marnes à l'aspect de " schistes carton " à la base, se transformant ensuite, en marnes grises et bleues à intercalations calcaires. Au sommet, on trouve une alternance de calcaires et de marnes micacées, terminée par des bancs de calcaires bioclastiques.

- Aalénien.

La base de l'Aalénien est constituée par un à deux mètres de lumachelles à *Liogryphaea leaumonti* (A.Lefavrais-Raymond 1976) qui constituent un très bon repère stratigraphique. Ils sont surmontés d'une dizaine de mètres de calcaires bioclastiques roux.

c) A l'ouest de la Faille de Chasteaux.

On retrouve à l'ouest de cet accident les mêmes formations liasiques qu'à l'est de la Faille de Meyssac,

tableau : 1

Corrélation des unités stratigraphiques distinguées par les auteurs

mais avec des épaisseurs notamment plus faibles. Il semble que cette différence d'épaisseur de part et d'autre de la Faille de Chasteaux s'explique par un jeu synsédimentaire de cette dernière, (flexure continentale) à partir du Sinémurien supérieur (A.Lefavrais-Raymond 1976; R.Feys, P.L.Guillot, A.Lefavrais 1979).

- Le Sinémurien

Bien qu'il n'affleure pas dans cette zone, les forages pratiqués pour l'étude de la retenue du plan d'eau du Causse, ont rencontrés des calcaires sublithographiques que l'on peut attribuer au Sinémurien. L'épaisseur de ces calcaires plus marneux au sommet qu'à la base peut être estimée à une cinquantaine de mètres.

- Le Carixien

Il se compose de quelques mètres de calcaires gréseux.

- Le Domérien

Le Domérien inférieur est formé d'une trentaine de mètres de marnes micacées.

Le Domérien supérieur est réduit à quelques mètres de calcaires noduleux à chailles que l'on peut observer au dessus du hameau de Roziers.

- Le Toarcien

Il est constitué d'une quarantaine de mètres de marnes

- L'Aalénien

Il est réduit le plus souvent à un mètre de lumachelle à gryphées surmonté de 2 à 3 mètres de calcaires roux bioclastiques. (On peut observer la lumachelle à Lacoste, à l'ouest de la Faille de Chasteaux, et les calcaires bioclastiques roux entre Ladoux de St Cernin et le Soulier de St Cernin).

1.1.4. Les terrains du Dogger

J.Delfaud a défini dans le Quercy trois méga-séquences de sédimentation (1978; cf *fig. 4*). Dans le secteur étudié seul le rythme JA est représenté.

En l'absence de tout repère stratigraphique précis, le découpage du Dogger dans ce secteur a donné lieu à autant de chronologies que d'auteurs (cf. tableau : 1.). Seul le Bajocien, essentiellement oolithique, fait l'unanimité. Pour le Bathonien les rapides variations de faciès, latérales ou verticales, et les mauvaises conditions d'observation, sont à l'origine de la diversité des descriptions d'un auteur à l'autre ou d'une carte à l'autre.

Aussi, nous ne proposerons pas un nouveau découpage du Dogger, qui n'est pas l'objet de cette étude; mais, nous nous réfèrerons aux travaux d'E.Poitevin (1979) qui, sans préjuger de l'âge des différentes formations, les a séparées dans le secteur étudié, en quatre unités lithologiques distinctes. Ce découpage nous semble le mieux adapté à l'hydrogéologie. Pour simplifier nous regrouperons sous le terme Bajocien les unités 1,2,et3 et nous parlerons de Bathonien pour l'unité 4. (la limite du Callovien, avec l'apparition massive des Trocolines, se trouvant beaucoup plus au sud).

1.1.4.1. Le Bajocien

Il est constitué de 50 à 70 mètres de calcaires oolithiques et bioclastiques. Comme nous venons de le voir, cet étage peut être subdivisé en trois unités (E.Poitevin 1979).

a) Unité 1

Cette unité épaisse de 25 à 30m est composée de calcaires beiges à nombreux oncolithes, bioclastes (Spongiaires, Echinodermes, Lamellibranches), oolithes, à ciment microcristallin et cryptocrystallin (grainstone et packstone). Le sommet de cette unité présente de nombreux débris d'échinodermes avec des structures laminaires obliques (cf. *fig : 7*)

b) Unité 2

Elle se caractérise par 10 à 35 mètres de calcaires oolithiques beiges contenant de nombreuses oncolithes algaires de plusieurs millimètres de diamètre et des bioclastes entiers (lamellibranches bien conservés)

c) Unité 3

Cette unité épaisse de 10 à 35 mètres est carac-

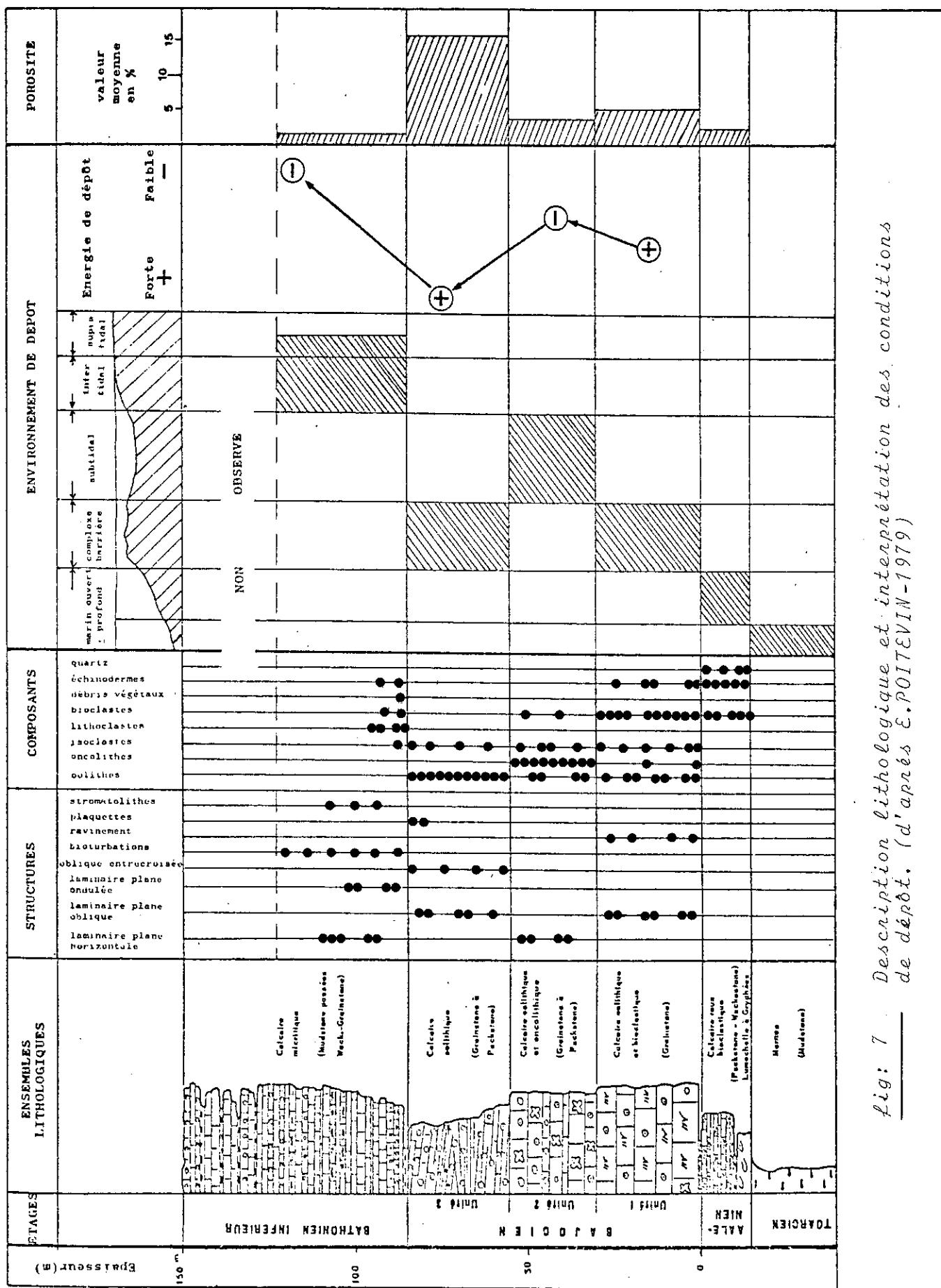


fig: 7 Description lithologique et interprétation des conditions de dépôt. (d'après E. POITEVIN-1979)

térisée par des calcaires blancs essentiellement oolithiques, avec de rares bioclastes et à ciment micro ou cryptocrystallin (grainstone - pakestone). Les oolithes sont stratifiées obliquement et de manière entrecroisée (cf. *fig: 7.*)

La *fig. 8.* montre comment se répartissent les différentes unités sur la bordure nord du Causse de Martel. En fait, les variations de faciés nord-sud sont mal connues. On sait seulement que l'épaisseur globale de ces formations reste à peu près constante (de l'ordre de 50 à 60 mètres).

Les différentes unités décrites précédemment peuvent être affectées par une recristallisation intense faisant disparaître toute structure. Le passage de l'unité 1 à l'unité 2 semble particulièrement affecté par cette recristallisation. E. Poitevin signale également de telles recristallisations à l'approche de la Faille de Meyssac.

Le Bajocien de cette région ne présente pas de dolomitisation importante. Pourtant, il peut exister quelques massifs dolomitiques dans le fond des vallées (Poitevin 1979).

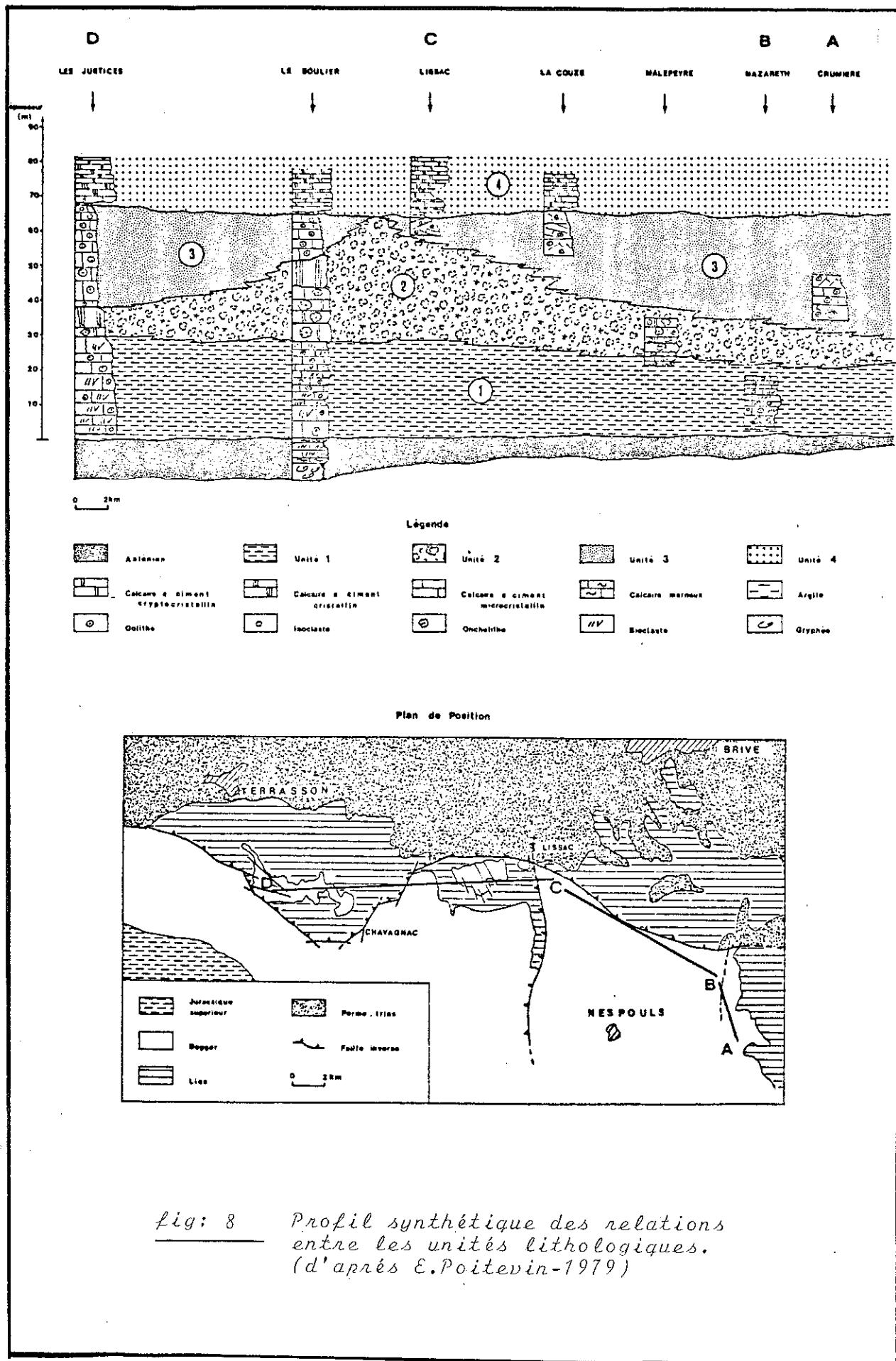
En revanche, il est à noter un banc de chailles (parfois de silex) dans l'unité 2, qui avait été décrit par G. Mouret (1890) et qui a été retrouvé par les spéléologues dans le réseau de la Couze.

1.1.4.2. Le Bathonien

L'unité 4 de E. Poitevin représente la base des calcaires bathoniens rencontrés sur le secteur étudié. Nous regrouperons donc, sous le terme Bathonien l'unité 4 de E. Poitevin et le reste de la série que l'on peut observer dans la partie nord-est du Causse de Martel

a) Unité 4 (au sens de E. Poitevin)

La passage de l'unité 3 à l'unité 4 se fait par un niveau altéré (souvent en cargneules) et colmaté par des argiles rouges calcifiées (observables à "Lafont Trouvée") ou par des niveaux recristallisés (tunnel de Fontille). Au dessus se développent des calcaires en petits bancs (plaquettes), gris, à ciment micritique (mudstone, calcaires lithographiques de G. Mouret et Lefavrais-Raymond). Ils se transforment latéralement



en calcaires gris-beige à oolithes et isoclastes* (packestone) interprétés par E.Poitevin comme des "chenaux de marée". Les bancs calcaires sont souvent séparés par des passages argileux d'épaisseur variable se transformant latéralement en calcaires gris (micrites). On trouve des traces d'animaux fouisseurs et même de végétaux caractérisant des dépôts de faible profondeur. Il existe des bancs dolomitiques reconnaissables à leur couleur beige. L'épaisseur de cette unité peut être estimée à 70 mètres.

b) La partie sommitale de la série.

Au sommet de l'unité 4 les passages oolithiques se multiplient pour donner par endroit une dizaine de mètres de calcaires oolithiques (Nespouls). Ensuite, on trouve des alternances de calcaires en plaquettes (micrites) et de marnes noires renfermant des débris végétaux (lignite). Enfin, et jusqu'à la limite du secteur étudié, se développent des calcaires à pâte fine (laminites) plus riches en fossiles, entrecoupés de bancs plus marneux.

L'épaisseur de ces formations est difficilement observable compte tenu des conditions d'affleurement. A.Lefavrais-Raymond, qui attribue ces formations au Bathonien moyen, estime leur épaisseur maximale à 80 mètres.

1.1.4.3. Synthèse.

Les calcaires du Dogger, dont l'épaisseur peut atteindre 180 ou 190 mètres dans cette région, peuvent être divisés en deux ensembles, que nous avons appelés, pour simplifier, le Bajocien et le Bathonien. *Le seul repère stratigraphique significatif sur le secteur étudié est le passage des oolithes du Bajocien aux micrites du Bathonien.* Sur la feuille de Brive de la carte géologique au 1/50 000^e, le Bathonien a été divisé en Bathonien inférieur, Bathonien moyen et Bathonien supérieur, subdivisions qui, à notre avis, n'ont pas de valeur cartographique. Tout comme les unités 1,2 et 3, ces subdivisions ne traduisent que des variations latérales de faciès, qui, si elles sont intéressantes en tant que telles pour l'hydrogéologie, n'apportent aucun élément précis quant à la structure du massif

* Grains à structure isotrope dit "sans structure interne" (pellets, oolithes et oncolithes après modification diagénétique)

calcaire que nous avons étudié. Aussi, dans le sud du secteur où seuls affleurent les calcaires du Bathonien, cette étude structurale sera délicate à mener.

1.1.5. Les terrains tertiaires.

1.1.5.1. Définition

Sur la feuilles de Brive et de Terrasson au 1/50 000^e sont regroupées sous le terme de "Sidérolithique" (= pierre de fer) toutes les formations rouges, roses, sableuses et ferrugineuses, remaniées ou non, qui se répartissent en lambeaux sur les calcaires du Dogger. Ce terme ancien de "Sidérolithique" (G. Mouret 1900) ne doit plus être, de nos jours, employé pour désigner un étage, mais plutôt, pour évoquer un faciès, ainsi que le montre fort bien P. Daniou dans son étude bibliographique sur ce sujet (1981). En fait, ces terrains à faciès sidérolithique sont des dépôts détritiques continentaux ou des altérites ayant subi une évolution latéritique ou ferralitique sous climat tropical.

L'âge de ces dépôts est le plus souvent rapporté à l'Eocène, mais l'étude menée dans le Périgord et les Charentes (P. Daniou 1981) montre que de tels épandages ont pu avoir lieu jusqu'au Pliocène. La période de "Sidérolitisation" (terme employé par P. Daniou pour désigner ce processus de latéritisation et de ferralitisation, en 1981) semble pouvoir être étendue à tout le Tertiaire.

1.1.5.2. Description des terrains à faciès sidérolithique

Nous scinderons ces dépôts en deux catégories:

a) Les dépôts fluviatiles.

Ils se caractérisent par des argiles, à fraction sableuse plus ou moins importante, de teinte rouge ou rose avec des passées kaoliniques blanches. Ils sont souvent associés à des grés ferrugineux compacts, à des accidents siliceux (souvent des branches ou des troncs d'arbre silicifiés) et à des concrétions ferrugineuses.

J.P. Fabre (1983) a réalisé une analyse diffracto-

métrique sur un certain nombre d'échantillons prélevés au sud du Causse de Martel. Les résultats sont relativement homogènes et montrent, outre la présence de quartz en grande quantité, que ces dépôts sont composés de kaolinite, de gœthite, d'hématite et d'illite. L'auteur caractérise des dépôts en place ou peu remaniés par l'association quartz, kaolinite, hématite et l'absence de calcite. A l'opposé, les sédiments remaniés seraient caractérisés par l'association calcite-illite.

b) Les remplissages karstiques.

Nous regrouperons sous ce terme des argiles rouges sombres compactées, à éléments fins et renfermant de petites concrétions ferrugineuses (latérite en grenaille). On les rencontre à même le sol, colmatant un paléorelief karstique (lapiaz, dolines) ou des cavités (tranchée de la RN 20 entre Noailles et Nespouls).

1.1.5.3. Localisation et origine de ces formations

D'une manière générale, les placages tertiaires de type fluviatile se situent sur les parties élevées du secteur étudié, à l'amont des vallons secs du plateau. Ces zones sont identifiables dans le paysage grâce à une végétation de terrains acides avec: châtaigniers, fougères, bruyères et même bouleaux.

Pourtant, il est difficile de déterminer un niveau d'érosion sur lequel se seraient déposées ces formations détritiques. En effet, à la suite de l'érosion quaternaire, on retrouve ces argiles aussi bien sur les points hauts du relief actuel (forêt de Turenne), que dans les dolines ou les dépressions (Gignac, Estivals, Russac), mais également sur leurs flancs et même dans des cavités (Lacoste, la Fage). Pour la plupart des auteurs, cette répartition des dépôts est due à un remaniement soit par solifluxion (A.Cavaille 1978, JP.Texier 1979, JP. Fabre 1983), soit par "soutirage" karstique (A.Cavaillé 1978). Mais, comme l'ont également fait remarquer A.Cavaillé(1978) et JP.Fabre(1983) en décrivant du "Sidérolithique" en place dans des paléokarsts, nous pensons pour notre part, que des paléoreliefs karstiques ont joué un rôle important dans le piégeage de ces formations.

Nous reviendrons sur ce point à la fin de ce chapitre au paragraphe II.2 compte tenu de l'importance géomorphologique de ces formations.

Ces épandages fluviatiles auraient pour origine l'érosion du socle cristallin par suite d'une surélévation de celui-ci par rapport au Quercy. Ce phénomène pourrait être lié à l'orogénèse pyrénéenne (JP.Fabre 1983) ou alpine.

La seconde catégorie de dépôts tertiaires – remplissages karstiques – beaucoup moins épaisse que la précédente semble plus ancienne. On les retrouve souvent mélangés à des argiles résiduelles plus récentes, ce qui rend leur localisation délicate.

Il semble que, dans la plupart des cas ce soient des altérites de la roche encaissante ayant subi une latéritisation.

1.1.5.4. Conclusion

Comme nous le verrons par la suite, ces dépôts tertiaires sont à la fois les moins représentés, les plus disparates et pourtant les plus importants, tant pour l'activité économique que pour l'étude géomorphologique et hydrogéologique de ce secteur, ils sont aussi les moins bien connus .

A cause du manque de repère fiable, il semble que sous le terme "dépôts détritiques du Tertiaire " on ait englobé des formations n'ayant plus beaucoup de rapport avec les dépôts tertiaires originaux (A.Cavaillé 1979, JP.Texier 1979, JP.Fabre 1983). Ces auteurs ont montré que ces terrains avaient pu suivre différentes altérations et remaniements pendant la fin du Tertiaire et le Quaternaire. C'est pourquoi ils sont si difficiles à étudier. Pourtant ces dépôts continentaux détiennent selon nous la clef de l'histoire géologique des Causses du Quercy, depuis la fin du Crétacé à nos jours.

1.1.6. Les terrains quaternaires

Le Quaternaire est surtout caractérisé par des phases d'érosion successives; érosion d'abord fluviatile puis karstique. Les dépôts seront donc peu nombreux et peu développés. Pour les décrire nous les scinderons en quatres catégories:

a) Les alluvions fluviatiles

Il est bien difficile sur le plateau de distinguer les terrains tertiaires des terrains quaternaires remaniant des terrains tertiaires. Aussi en l'absence de tout critère de datation, bon nombre de ces formations ont été représentées (feuille de Brive au 1/50 000^e) avec le Tertiaire. Il semble pourtant que l'on puisse différencier les alluvions, se trouvant dans des tronçons de vallées sèches désorganisées par des dolines, et caractérisées par des terres brunes à éléments calcaires (gélification).

Dans les vallées, qui font suite aux sources du Blagour et du Sorpt, on trouve un épais remplissage désigné sur la feuille de Brive comme "alluvions récentes". Sur le plateau et dans la vallée sèche d'Entrecors, la même dénomination a été employée pour décrire des alluvions de toute évidence plus anciennes. Comme pour les dépôts tertiaires l'étude des formations quaternaires est, on le voit, complexe et dépasse largement le cadre de ce travail.

b) Les remplissages karstiques

Depuis plusieurs années ont été découvertes, par les spéléologues, des cavités partiellement ou entièrement colmatées par des éboulis contenant des faunes quaternaires très riches. Ces faunes ont pu être datées du Pléistocène moyen (Riss) pour les abîmes de La Fage, et du Pléistocène supérieur (Würm III) pour Siréjols et Jaurens (L.David, 1976; M.Philippe, 1971). Ces cavités sont des avens ouverts par l'érosion quaternaire et qui ont servi de piège. Ceci a été confirmé aux abîmes de La Fage, où on a retrouvé des pelotes de rapaces contenant des restes de rongeurs de Riss, ne pouvant provenir que de nids situés sur les parois d'un aven (M.Philippe, 1971).

c) Les formations de pente

Dans ce secteur, comparativement à d'autres régions du Causse de Martel, les formations de pente sont peu abondantes. Les grèzes sont essentiellement situées sur les versants de la vallée du Sorpt et d'Entrecors (versant nord et à l'aval).

Sur les formations marneuses du Lias il y a de très belles lentilles de solifluxion.

d) Les formations "karstiques"

En aval de la source du Blagour, on trouve des travertins calcaires, assez peu développés d'ailleurs. Plus à l'ouest, à l'aval de la source de Ladoux de St-Cernin de tels travertins, ont pu barrer le cours de la Couze et donner des dépôts lacustres, qui ont été datés du Würm (JP.Raynal 1976)

1.1.7. Identification des différents aquifères à partir des différents ensembles lithologiques.

1.1.7.1. Aquifère des grés du Permien

Les grés du Permien, compte tenu de leur structure lenticulaire, doivent former un aquifère médiocre, très discontinu et souvent de milieu fissuré.

1.1.7.2. Aquifère des grés du Trias

L'hydrogéologie de ces formations triasiques est mal connue. Certains auteurs ont parlé à leur propos de "pseudo-karst" (B.Gèze, 1937; Ph.Renault, 1970). En effet, les vallées y sont assez encaissées, donnant naissance à des falaises perforées de nombreuses grottes naturelles (souvent retaillées par la main de l'homme: Grotte de Lamouroux). Les sources se présentent souvent sous forme de petites cavités. Dans les fronts de carrière ou les tranchées longeant les routes (RN 20) il n'est pas rare de voir des diaclases faiblement élargies ou même des amorces de conduits de faible dimension. Aucun forage productif n'est connu dans le Trias. Aussi, les caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère potentiel nous sont totalement inconnues.

Le mur semi-perméable de cet aquifère est constitué par les grés permiens. Le toit est formé par les marnes hetangianes.

Dans le secteur étudié, les grés triasiques forment une grande partie du bassin d'alimentation des ruisseaux qui, par l'intermédiaire de pertes, alimentent l'aquifère karstique des calcaires du Dogger. De plus la possibilité d'alimentation directe de cet aquifère, par ces formations triasiques le long de la faille de Meyssac à été envisagé par P.Morin* (communication orale; 1980).

*P.Morin. Directeur du SRAE Limousin (aujourd'hui à la retraite)

1.1.7.3. Les aquifères du Jurassique

a) Aquifères liasiques

Les calcaires et dolomies de l'Hettangien supérieur et du Sinémurien peuvent régionalement contenir de petits aquifères karstiques (B.Gèze; 1937. A.Lefavrais-Raymond; 1976). Dans la région de Brive, de nombreux exemples sont connus sur les buttes témoins de Perpezac-le-blanc (Cl.Mouret et M.Philippe ; 1980), de St Robert, mais également, à l'est du secteur étudié, dans la région de Saillac, Chauffour sur Veil, Queyssac les vignes ou Nonards (P.Lalande, 1884; Ph.MUET, 1982 , 1983). Le mur et le toit de cet aquifère sont formés respectivement par les marnes de l'Hettangien inférieur et les marnes du Domérien.

Dans le secteur étudié, il semble que ces calcaires contiennent un petit aquifère. En effet, plusieurs petites sources sont connus, sans permettre toutefois de conclure sur l'état de karstification de ces formations. Il est possible que le synclinal, formé de calcaires hettangiens, (au sud de Noailles) puisse alimenter directement l'aquifère karstique du Dogger par l'intermédiaire de la Faille de Meyssac. Il en est de même dans la région de Malpeyre (ce point sera étudié au paragraphe II.1.2)

Les calcaires roux du Domérien supérieur semblent altérés par la dissolution, sans que l'on puisse dire si elle est karstique. De toute manière l'épaisseur réduite de ce banc calcaire (15 mètres) ne permet pas d'envisager un aquifère très important. Pourtant, il semble que la Tourmente (ruisseau coulant vers le sud à l'est des calcaires du Dogger) puisse subir de faibles pertes en étiage, qui se situerait au contact de ces calcaires.

b) L'aquifère du Dogger.

C'est l'aquifère le plus important, autant par son épaisseur que par la surface qu'il occupe. Le mur est formé par les marnes grises et bleues du Toarcien. Il faut donc rattacher à l'aquifère dit "du Dogger", le sommet du Toarcien et l'Alénien, (soit une quinzaine de mètres de calcaires bioclastiques)

Dans son étude sur "l'évolution des propriétés réservoirs des calcaires du Dogger", E.Poitevin (1979) a mesuré

sur des échantillons ("plug") d'un pouce de diamètre (2,54 cm) et d'un pouce de long la porosité de matrice (porosité totale) et la perméabilité de la roche, et a étudié leurs modifications en fonction de la dissolution - recristallisation et de la tectonique.

Les valeurs qu'il présente sont rassemblées dans le *tableau n° 2*

Formations	Φ min.	Φ max.	Φ moyen.
Unité 1	1.8 %	7.1 %	4.8 %
Unité 2	2.2 %	5.4 %	4.0 %
Unité 3	9.8 %	23.1 %	15.5 %
Unité 4	1.8 %	3.0 %	1.5 %

Tableau: 2 Valeurs de porosité de matrice (Φ %) exprimées en % de roche pour les calcaires du Dogger (d'après E.POITEVIN 1979)

Cet auteur montre que les passages recristallisés ont une porosité de l'ordre de 1% et qu'à l'approche de la Faille de Meyssac celle-ci devient nulle. Il parle à ce sujet de barrières imperméables, horizontales et verticales. La perméabilité est toujours très faible sur l'ensemble du secteur, de l'ordre de 1 à 2 millidarcy (E.Poitevin, 1979). Ces résultats ont conduit le même auteur (1979) et L.Humbert (1982) à proposer un modèle multicoche du réservoir du Dogger où les unités 1, 2 et 4 joueraient le rôle d'un semi-perméable. Nous discuterons ce modèle à la fin de ce travail. Mais dès-à-présent, on peut remarquer que des perméabilités de 1 à 2 millidarcy ne sont pas des valeurs caractéristiques d'une roche aquifère, mais imperméable. C'est d'ailleurs un résultat bien connu (H.Schöeller, 1962); les calcaires sont d'une manière intrinsèque des roches peu poreuses (< 15%) et imperméables. Pourtant, l'expérience prouve que les calcaires du Dogger contiennent de l'eau et, parfois même, en grande quantité (JP.Fabre, 1983). En fait, on sait que la possi-

bilité de circulation des eaux à l'intérieur d'un massif calcaire, n'est pas directement liée à la porosité et à la perméabilité intrinsèque de la roche, surtout lorsqu'elle est faible, mais aux discontinuités de tous ordres, telles que la fissuration, la fracturation ou les joints de stratification. De plus, on sait que l'eau chargée de gaz carbonique attaque le calcaire et le dissout. C'est l'ensemble des vides ainsi formés, qui détermine d'une manière générale la capacité réservoir des calcaires du Dogger.

Néanmoins, les résultats de E.Poitevin présentent un intérêt pour l'étude que nous menons. En effet, dans certaines conditions, hydrodynamiques et hydrochimiques, cette dissolution aboutira à une organisation des écoulements à l'intérieur du massif (système karstique) selon un processus appelé la karstification (A.Mangin,1975; M. Bakalowicz,1979). La mise en place d'un tel processus, la structure et le fonctionnement du système karstique ainsi formé, dépendent de nombreux paramètres (A.Mangin,1982) parmi lesquels la nature et la géométrie du milieu (les calcaires du Dogger). C'est pourquoi nous étudierons au paragraphe II.1.2 la structure géologique des calcaires du Dogger.

Plus que la porosité et la perméabilité de la roche, sa teneur en insoluble (argiles,marnes) est un paramètre important (A.Mangin, 1982). A ce sujet JP.Fabre (1983) a montré que l'analyse calcimétrique des calcaires bathoniens met en évidence des teneurs supérieures à 95% de calcite et que le résidu insoluble est constitué en majorité d'illite.

1.1.7.4. *Les formations tertiaires*

Sur le Causse, elles tranchent par rapport à l'aridité des zones calcaires. Leur nature argileuse permet l'existence de petites retenues. De nombreux puits, souvent des puits capacitifs ou citernes, ont été creusés dans ces formations. Lorsqu'il existe des lentilles de sable plus importantes, ces formations détritiques forment un aquifère médiocre.

Certains auteurs, pensent pourtant que ces terrains entraînés dans le karst au Quaternaire (ou avant) peuvent jouer le rôle de réserves poreuses au sein de l'aquifère karstique.

En règle générale les placages tertiaires forment un semi-perméable et même un imperméable abritant de petits étangs artificiels ou des "lacs" et des ruisseaux se perdant aux points bas des dolines. C'est le cas dans les dépressions d'Estivals et de Russac mais également dans les dolines de la forêt de Turenne, de la région de Nespouls et de Chartrier-Ferrière. D'après A.Cavaillé (1951) l'étanchéité apportée par ces formations argileuses aurait été améliorée par une pédogénèse périglaciaire, podzolique, datant du Quaternaire et donnant un horizon B argileux et étanche. C'est pour cela, semble t-il, que le fond des dolines se transforme en lac pendant les épisodes pluvieux importants.

1.1.7.5. *Les formations Quaternaires*

A l'aval des sources du Sorpt et du Blagour et le long de la vallée de la Couze, les alluvions récentes du Quaternaire abritent de petites nappes alluviales.

1.2. Géologie structurale

1.2.1. *Structures régionales et généralités*

La structure géologique régionale est simple et peut être schématisée par la *fig* : 9

Le secteur que nous avons étudié est situé à la limite de deux unités structurales : au nord le Bassin de Brive, au sud le Bassin Aquitain. Le contact entre ces deux unités est défini par un accident complexe, la Faille de Meyssac. Cette faille souvent verticale, de direction N 100° à N 140°, borde le Bassin de Brive sur plus de 30 km avec des rejets pouvant atteindre 250 à 300 m.

Au nord de cet accident, la structure du Bassin de Brive a été étudiée par de nombreux auteurs (G.Mouret, 1900; Ph.Roger, 1968; R.Feys, P.L.Guillot et A.Lefavrais, 1979) et, de ce fait, est bien connue. La feuille de Brive de la carte géologique au 1/50 000^e en donne une assez bonne représentation qui pour notre étude sera suffisante.

Au sud de la Faille de Meyssac s'étendent des calcaires du Dogger. Ils apparaissent sur la feuille de Brive

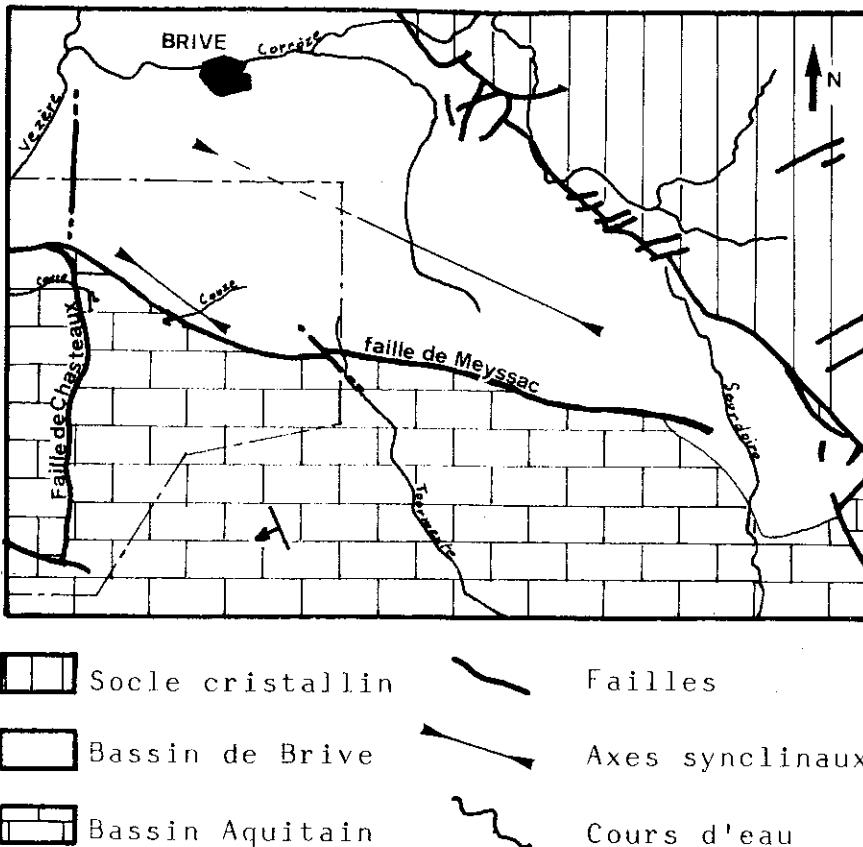


fig: 9 Schéma structural régional (d'après la carte géologique de Brive au 1/50 000^e)

comme un ensemble homogène, à faible pendage vers le sud-ouest (cf. chapitre I). Un accident sensiblement perpendiculaire à la Faille de Meyssac, la Faille de Chasteaux, de direction N 160° à N 20°, avec un rejet de l'ordre de 70m au sud et de 100m au nord, complique cette structure monoclinale. Cette faille se poursuit vers le nord où elle a guidé le tracé de la vallée de la Vézère à l'ouest de Brive (R.Feys, P.L.Guillot, A.Lefavrais, 1979).

Les mêmes auteurs ont montré que la structure géologique de la couverture sédimentaire de cette région était directement liée aux discontinuités du socle hercynien sous-jacent.

Les Failles de Meyssac et de Chasteaux se trouvent

certainement à l'emplacement d'anciennes failles du socle, comme le prouve leur direction. De nombreux auteurs ont également constaté que les déformations étaient intenses à proximité de ces accidents et diminuaient très rapidement lorsque l'on s'en éloignait; toute l'énergie tectonique s'est donc dissipée le long de ces discontinuités du socle.

L'étude des déformations subies par les roches sédimentaires sur l'ensemble des Causses du Quercy a permis de montrer qu'elles étaient en partie liées à l'orogénèse pyrénéenne et alpine (F.Arthaud et P.Choudroune,1972; E.Poitevin,1979; D.Bonijoly, 1980). Sur le Causse de Martel, ces déformations sont essentiellement de type cassant, caractéristiques du niveau structural supérieur, même si par endroit, le Bathonien moins compétent peut montrer quelques plis.

Les connaissances sur la structure et la géométrie des calcaires du Dogger au nord du Causse de Martel sont partielles.

P.Morin (communication orale, 1980) cherchant à délimiter le bassin d'alimentation de la Couze pour l'implantation du plan d'eau de Causse, a décrit un certain nombre d'anticlinaux de direction N 40° entre Estivals et Nespouls et N 80° entre Nespouls et Turenne.

E.Poitevin (1979), pour sa part, a étudié dans le détail les déformations situées à proximité de la Faille de Meyssac. Ce travail est beaucoup trop localisé pour l'étude que nous avons menée.

Dans les paragraphes suivants, nous allons essayer de décrire dans le détail la structure géologique des calcaires du Dogger. L'étude des photographies aériennes va nous permettre de construire une carte des linéaments soulignant les principales structures. Puis l'étude microtectonique nous permettra de définir les différentes familles de fractures, leurs jeux respectifs, mais également de retracer l'histoire tectonique de cette région. Enfin la synthèse de ces travaux complétée par la cartographie de terrain permettra de présenter un schéma structural et des coupes synthétisant la structure et la géométrie des calcaires du Dogger dans le secteur étudié.

1.2.2. La fracturation

1.2.2.1. Analyse des photographies aériennes

a) Méthode et critères

L'analyse stéréoscopique a été menée sur les photographies aériennes mission 2135 de 1967 (échelle moyenne 1/25 000^e).

L'étude des photographies aériennes utilise les traits morphologiques et phisyonomiques de la surface topographique. Ce sont les ruptures de pente, les décalages de barres rocheuses, les alignements de vallons, de crêtes, de dolines ou de flancs de dolines et de dépressions, mais aussi des variations de flore ou de couleurs dues à la composition du sol. De tels "linéaments" soulignent les limites entre roches de nature différente, les failles et les diaclases, mais également les flexures. Sur la carte des linéaments (hors texte), nous n'avons porté que les linéaments interprétés comme des failles, des diaclases ou des flexures.

b) Limites de cette méthode

Certaines zones ne se prêtent pas, ou se prêtent moins bien, à la photointerprétation. Ce sont les zones très cultivées ou très boisées et sans relief. Il est également possible que quelques linéaments n'aient aucune relation avec la géologie. Ceci à cause de l'activité humaine dans les temps historiques ou préhistoriques. En revanche, dans certaines zones l'activité humaine a pu souligner la structure géologique. Ceci s'explique simplement par le développement de l'agriculture sur toute les parcelles cultivables et la construction des chemins et des villages sur les zones incultes (R.Clozier; 1940). Enfin l'échelle d'observation influe sur la dimension des structures mises en évidence. Compte tenu de l'étendue du secteur étudié et de la bonne connaissance des grandes structures régionales, nous n'avons pas jugé nécessaire d'observer les images obtenues par satellite.

c) Présentation des résultats et discussion

Les résultats sont regroupés sur la carte des linéaments (hors texte). A partir de ce document on peut faire trois remarques d'ordre général:

- Les grands dispositifs structuraux qui apparaissent sur la feuille de Brive au 1/50 000^e, telle la Faille de Meyssac ou celle de Chasteaux, se retrouvent sur la carte des linéaments. Cependant, sur cette carte, ces accidents sont plus complexes.

- Un certain nombre de linéaments de plusieurs kilomètres de long soulignent des structures ne figurant pas sur la feuille de Brive au 1/50 000^e. Ils ont des directions principales N 90° à N 110° et N 170° à N 20°. Ces deux directions sont sensiblement les mêmes que celles de la Faille de Meyssac et de la Faille de Chasteaux.

- Toutes les directions de linéaments sont représentées; bien que nous n'ayons pas fait de traitement statistique, les directions les plus fréquentes semblent être N 10° à N 40°, N 160° à N 0° et N 100° à N 130°.

Si l'on regarde cette carte dans son ensemble, on remarque que les linéaments s'agencent pour former une structure cohérente. Ceci est d'autant plus vrai que l'on s'approche des deux grandes failles. Nous avons remarqué précédemment que, dans le détail, ces deux failles étaient complexes.

La géométrie de la Faille de Meyssac laisse penser que le dernier mouvement le long de cet accident a été un décrochement dextre (par exemple: décalage de la Faille de Chasteaux au nord de Lissac). A l'est, dans la région de Malepeyre et Jugeals-Nazareth, une série de décrochements de direction N 150° et N 20° interrompent cette structure. A l'ouest, l'intersection avec la Faille de Chasteaux complique ce dispositif décrochant. La Faille de Chasteaux se présente plutôt comme un faisceau de failles, au tracé divergeant vers le sud et convergant vers un point situé non loin du village de Roziers. On remarque qu'un long linéament de direction est-ouest (que l'on appellera désormais la Faille de Russac-farges) vient également converger en ce point. Plus au nord, à l'approche de la Faille de Meyssac la structure se complique. La direction de la Faille de Chasteaux, jusqu'alors sud-nord, s'infléchit vers le nord-ouest. De plus, apparaissent des accidents, d'abord confondus avec la Faille de Meyssac, qui s'en détachent pour, plus au sud, devenir sensiblement parallèles à la Faille de Chasteaux.

Nous n'avons pas retrouvé sur les photographies aériennes les structures figurées à l'intersection de la Faille de Chasteaux et de la Faille de Meyssac (aux abords du village de Lissac) sur la feuille de Brive. En revanche, notre carte des linéaments souligne la complexité du raccordement de ces deux accidents ainsi que les intenses déformations subies par cette zone.

L'interprétation globale de cette carte conduit à scinder l'ensemble des calcaires du Dogger en "blocs", délimités par des accidents plurikilométriques.

1.2.2.2. Analyse à l'échelle de l'affleurement

a) Méthode

La méthode consiste à relever sur l'affleurement (carrière en particulier) la géométrie de toutes les figures de déformation que l'on peut observer, et à les reporter sur des diagrammes (canevas) de manière à en faire une analyse statistique.

Une telle étude microtectonique est un travail long et complexe qui n'a pas pu être mené aussi complètement que nécessaire dans le cadre de cette étude. Cependant, nous allons présenter un certain nombre d'observations faites en collaboration avec J.P.Petit et G.Santouil entre 1976 et 1980*. Ces observations seront rapprochées de celles faites antérieurement par d'autres auteurs. Nous ne présenterons que les résultats; la théorie, les méthodes et la terminologie étant celles classiquement employées par les auteurs spécialisés sur ce sujet.

b) Intérêt de cette analyse microtectonique

Sur les plateformes carbonatées, la microtectonique est un moyen simple et efficace pour obtenir une vue synthétique de l'histoire tectonique d'une région. Ainsi, la microtectonique permet à l'échelle de l'affleurement de définir les différentes familles de fractures, leurs jeux et le rôle qu'elles ont eu dans la structure régionale lors des différentes phases tectoniques. (F.Arthaud et P.Chouchroune, 1972).

* Chercheurs au laboratoire de géologie structurale de l'USTL Montpellier.

b) Présentation des résultats

Les résultats ont été regroupés sur canevas de Schmidt (projection sur hémisphère inférieur: cf annexe II). Nous avons étudié huit stations, deux dans les calcaires oolithiques du Bajocien, six dans les calcaires micritiques du Bathonien inférieur (cf. fig: 10.).

Pour chaque station nous présentons, en annexe (annexe II) un diagramme, où apparaissent les pôles des différents accidents, la nature de ces derniers, et les pôles de plan de mouvement, et (ou) un diagramme directionnel où sont portées en pourcentage les proportions de discontinuités de tous ordres (diaclases, failles, plans stylolithiques et fentes de tension) selon leurs directions. Enfin la fig: 11 présente les courbes d'isodensité des pôles des plans, des différentes fractures (toutes mesures confondues) pour les huit stations.

c) Synthèse et discussion

Les courbes d'isodensité des pôles de plan de fractures (fig: 11) permettent de distinguer trois directions principales de fractures

1° Fracturations centrées sur N 20°

Ces fractures sont proches de la verticale. Nous avons pu les observer aux stations 1, 2, 4, et 6. Dans la plupart des cas ce sont des diaclases.

2° Fracturations centrées sur N 110°

Ce sont des fractures dont les pendages les plus fréquents sont 65° sud-ouest et 65° nord-est. Ces discontinuités portent la majorité des figures tectoniques que nous avons pu observer. Elles peuvent aussi bien être interprétées comme des plans de décrochements sénestres ou dextres, ou des cisaillements inverses ou normaux.

3° Fracturation s'étalant de N 120° à N 150°

Ce sont des fractures verticales et moins fréquentes que les précédentes.

A partir de l'analyse des stéréogrammes, on peut déterminer au moins quatre phases tectoniques différentes:

1° Un allongement de direction sensiblement nord-sud.

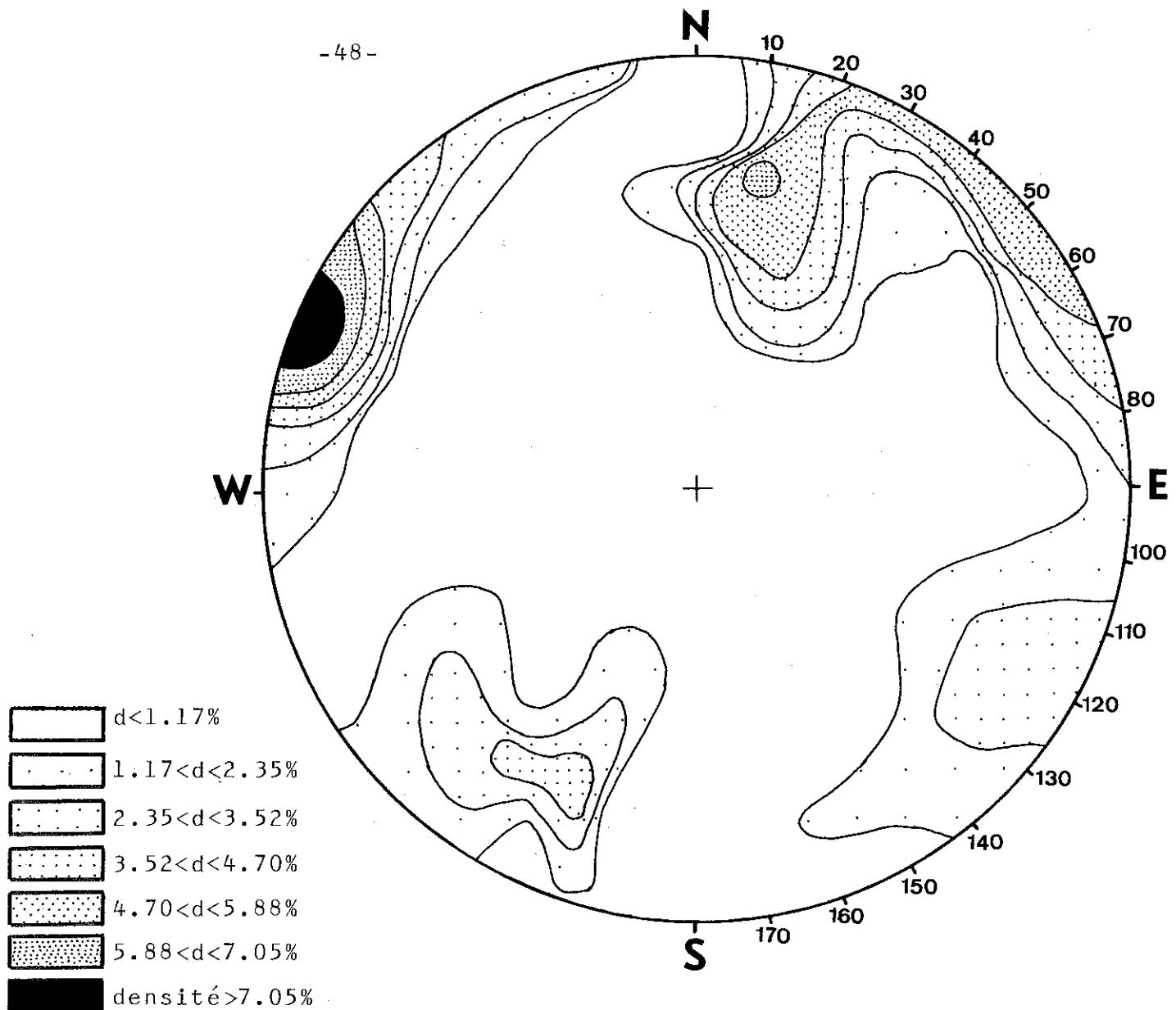


fig: 11 Fracturation globale (canevas de Schmidt, hémisphère inférieur)

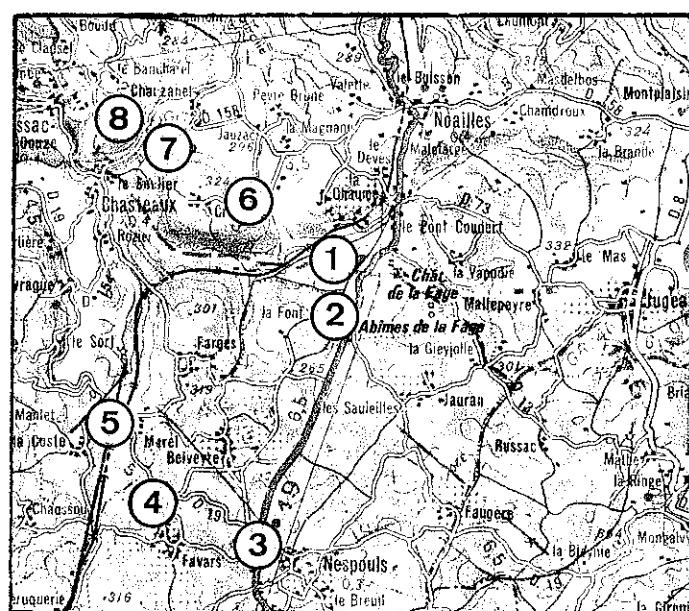


fig: 10 Plan de situation des stations microtectoniques

Cette phase est responsable des failles normales et des stylolithes à pics verticaux.

2° Un raccourcissement de direction N 15° à N 20°. Les déformations dues à ce raccourcissement sont les plus marquées dans le secteur étudié. Ce raccourcissement peut prendre par endroit une direction N 170° N 175° (station 3)

3° Un raccourcissement de direction N 110° à N 130°

4° Un raccourcissement de direction sensiblement est-ouest provoquant de faibles déformations.

De plus, comme l'avaient déjà remarqué F.Arthaud et P.Choukroune en 1972, les fractures de direction N 20 et N 110 semblent antérieures aux différents raccourcissements décrits précédemment.

D.Bonijoly en 1980 a pu déterminer la chronologie des différentes phases de déformation subies par la plate-forme Quercynoise (tableau: 3).

Durée		
PLIO-QUATERNAIRE	Compr. N-S	
NEOGENE	Compr. E-W	
OLIGOCENE-EOCENE supérieur	Dist. NW-SE	
EOCENE inférieur et moyen	Compr. N NW Compr. NE	20 M. années
JURASSIQUE supérieur et CRETACE	Dist. N NE	90 M. années
JURASSIQUE inférieur et moyen	Dist. W NW	40 M. années

tableau: 3 Chronologie des évènements tectoniques pour la plateforme Quercynoise du Jurassique à nos jours, d'après D.Bonijoly (1980)

Tableau : 4 Proposition de chronologie des évènements tectoniques dans le secteur étudié

NEOGENE	Compr. E-W	Apparition de quelques stylolithes de direction est-ouest
OLIGOCENE-EOCENE supérieur	Dist. NW-SE	Réajustement en failles normales des directions N110° et N20° et apparition de stylolithes à pics verticaux.
EOCENE inférieur et moyen	Compr. N120 ° ou N170-175°	Jeu décrochant dextre de la faille de Meyssac et des accidents de direction N110°. Jeu sénestro-inverse de la faille de Chasteaux et jeu décrochant sénestre des fractures de direction N20°. Jeu inverse de la faille de Meyssac et jeu décrochant sénestre de la faille de Chasteaux. Jeux en décrochements dextres et sénestres de toutes les fractures du plateau. Apparition de nombreux pics stylolithiques de direction N0° à N30°. Apparition des fractures de direction N120° à N150°.
JURASSIQUE supérieur et CRETACE	Dist. N-NE	Naissance de la faille de Meyssac sur une discontinuité du socle. Jeu en faille normale de la faille de Chasteaux. Basculement vers le sud-ouest de la plateforme Aquitaine. Apparition de diaclases et de failles normales conjuguées de directions N110°.
JURASSIQUE inférieur et moyen	Dist. W-NW	Flexure synsédimentaire à l'emplacement de la faille de Chasteaux. Naissance de diaclases de direction N20°

Si l'on compare cette chronologie à nos résultats, on s'aperçoit que la phase en distension peut être rapportée à l'Oligocène, que les phases en compression de direction de raccourcissement N 15° et N 120° peuvent être rapportées à l'Eocène (tectonique pyrénéenne) et que la compression à raccourcissement est-ouest peut être rapportée au Néogène (tectonique "alpine"). Enfin, il semble que la direction N 110° apparait comme un faisceau de failles conjuguées, sûrement héritées des discontinuités du socle et ayant rejoué en distension durant le Crétacé; Alors que, la direction N 20° pourrait bien être héritée de la distension synsédimentaire du Jurassique inférieur et moyen, ayant été réactivée lors de la distension crétacée. Le tableau 4 synthétise ces résultats et rappelle le jeu des différents accidents pour chaque époque géologique.

Il faut noter que cette interprétation n'est pas en accord avec celle proposée par E.Poitevin (1979). En effet, cet auteur explique le rejet de 200 à 325m de la Faille de Meyssac dans ce secteur, par un jeu inverse intervenu durant la phase paroxysmale de l'orogénèse pyrénéenne. De plus, il interprète les figures en distension trouvées dans les différentes carrières comme dues à un voussurage de la série sédimentaire avec apparition de failles normales en "extrados des plis". (E.Poitevin 1979). Nous ne pensons pas que, pour des raisons mécaniques, il soit possible de trouver un rejet de l'ordre de 300m le long d'une faille proche de la verticale par un jeu inverse (M.Mattauer, 1973). De plus, les accidents présentant un jeu inverse ne se trouvent qu'à proximité de la Faille de Meyssac; lorsque l'on s'en éloigne, les accidents de la même direction ont joué en décrochement. (déjà remarqué par F.Arthaud et P.Chouchroune, 1972). Cela semble prouver l'existence d'une discontinuité majeure à l'emplacement de la Faille de Meyssac avant l'orogénèse pyrénéenne (B.Gèze 1954, A.Cavaillé 1978). Cette dernière n'a pour effet qu'un réajustement et une complication des failles de Chasteaux et de Meyssac, ainsi que le jeu en décrochement des différentes fractures préexistantes sur le secteur et l'apparition d'une famille de décrochements conjugués (N 120° à N 150) à la direction N 20° et N 110° (cf. tabl. 4)

Pour conclure, la fracturation ne se manifeste pas de la même manière dans le Bajocien et dans le Bathonien:

- Les calcaires oolithiques du Bajocien ont réagi aux différentes contraintes par réajustement des grains (E.Poitevin 1979). Les fractures sont moins nombreuses mais plus longues et peuvent traverser plusieurs bancs (soit plusieurs dizaines de mètres).

- Les calcaires micritiques du Bathonien moins compétents dans leur ensemble ont eu tendance, comme aux alentours de Chasteaux, à se plisser. Mais sur le plateau les bancs calcaires sont relativement bien fracturés. La plupart de ces fractures ne traversent qu'un banc et s'arrêtent sur les joints de stratification; Ces derniers ont joué par "ripage banc sur banc", créant ainsi des discontinuités horizontales.

Du fait de cette différence de compétence entre le Bajocien et le Bathonien les phénomènes de disharmonie sont fréquents comme dans tout le Quercy (G.Astruc et T.Pelissié, 1981)

1.2.3. Structure détaillée du secteur étudié: approche cartographique

1.2.3.1. Généralités et problèmes rencontrés

Pour préciser dans le détail la géométrie des calcaires de Dogger, nous avions décidé de reprendre la cartographie du secteur à une échelle plus importante que le 1/50 000^e existant. Mais l'absence de repère stratigraphique à l'intérieur du Bathonien nous a conduit à abandonner ce projet. En effet, pour la partie sud du secteur étudié, cette cartographie n'aurait pas mieux précisé la structure géologique, que ne le fait la carte au 1/50 000^e existante. Toutefois, grâce à l'étude de terrain nous pouvons formuler les remarques suivantes:

1^o La cartographie de la limite Bajocien-Bathonien associée aux résultats de la photointerprétation nous a permis de définir dans le détail la géométrie des calcaires du Dogger au nord de la Faille de Russac-Farges.

2^o Les linéaments trouvés par photointerprétation sont

dans la plupart des cas associés, dans le Bathonien, à des pendages importants (10 à 30°).

3° Les pendages supérieurs à 5° sont toujours localisés. De plus ils sont associés à de petites failles (ou flexures)

4° Entre les pendages supérieurs à 5° il existe des blocs tabulaires (pendage < 5° ou faiblement ondulés)

5° A l'approche des grandes failles, la structure se complique et les déformations deviennent intenses (plis de Chasteaux décrits par E.Poitevin, 1979)

Ainsi, l'étude de terrain associée à la photo-interprétation et à la microtectonique nous a permis de dégager les grandes lignes structurales des calcaires du Dogger. Il en résulte que les calcaires du Dogger sont organisés en blocs à peu près tabulaires (sauf au contact des grandes failles) bordés de petites failles, pouvant avoir eu des mouvements relatifs les uns par rapport aux autres durant les différentes phases tectoniques qui ont affecté cette région. Le pendage apparent (cartographique) qui affecte ces formations est dû au jeu de ces différentes petites failles.

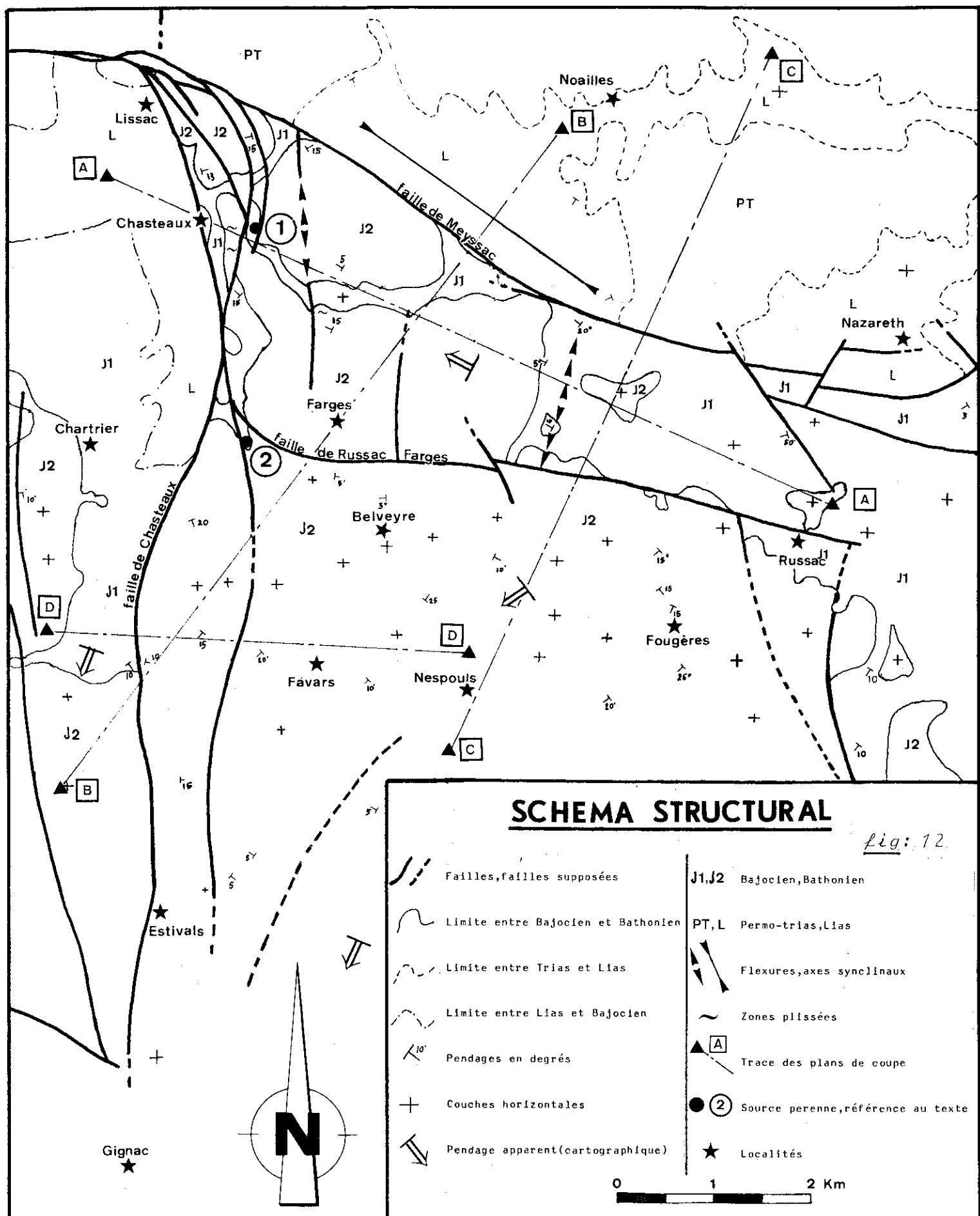
Nous pouvons ajouter à ces quelques généralités que les phénomènes de disharmonie de retrouvent à l'échelle cartographique. En effet, beaucoup de petites failles affectant le Bajocien se transforment en flexures dans la Bathonien.

1.2.3.2. Présentation des résultats

Nous avons regroupé l'essentiel de ces résultats sur un schéma structural au 1/50 000^e (cf. fig: 12) et quatre coupes interprétatives de ce schéma (cf. fig: 13). Pour décrire la structure des calcaires du Dogger nous scinderons le schéma structural en quatre parties.

1° Zone comprise entre la Faille de Meyssac et la Faille de Russac-Farges.

C'est la partie dont la structure est la mieux connue. En effet, après avoir retrouvé la faille soulignée par les linéaments, entre Russac et Farges, la cartographie de la limite Bajocien-Bathonien nous a permis de définir ici dans le



détail la structure des calcaires du Dogger.

La coupe A.A montre que le pendage apparent ouest à nord-ouest de ce secteur s'acquiert grâce à plusieurs flexures ou failles-flexures de direction N.S. Les pendages des différents blocs sont faibles*.

Nous sommes en présence d'un bloc basculé vers l'ouest qui de ce fait se trouve affaissé au nord-ouest et surélevé à l'est par rapport au reste du plateau. Il semble que cette structure soit dûe au jeu dextre de la Faille de Meyssac accompagné d'un blocage à l'ouest le long de la Faille de Chasteaux, avec un jeu inverse de cette dernière dans ce secteur (plis de Chasteaux).

2° Zone située au sud de la Faille de Russac-Farges.

Cette partie est mal connue à cause de l'absence de repère stratigraphique dans le Bathonien. Le pendage apparent grossièrement sud-ouest est certainement associé à de nombreuses petites failles, qu'il nous a été impossible de localiser précisément. Cette partie est limitée à l'ouest par la Faille de Chasteaux (coupe C.C). Dans cette zone, seule une étude géophysique comparée à la carte des linéaments que nous présentons, permettrait d'affiner nos connaissances sur la géométrie des calcaires du Dogger.

3° Bande de calcaire longeant la Faille de Chasteaux.

Cette bande calcaire, souvent comprise dans un faisceau de failles est déformée intensément au nord, modérément au sud. Il existe, ici, comme le montre la coupe D.D, une "gouttière" affaissée et complexe dans le détail. Sur le terrain cette structure est soulignée par des pendages de 10° à 25°. Elle se perd au sud d'Estivals et s'arrête vers le nord dans le secteur de Roziers.

4° Partie située à l'ouest de la Faille de Chasteaux

Dans ce secteur le pendage apparent est sud-ouest. La structure doit être assez comparable à celle décrite au sud de la Faille de Russac-Farges.

* Sur les coupes, l'échelle des altitudes a été multipliée par 2,5 par rapport à l'échelle des distances. De ce fait les pendages présentés sur les coupes sont exagérés.

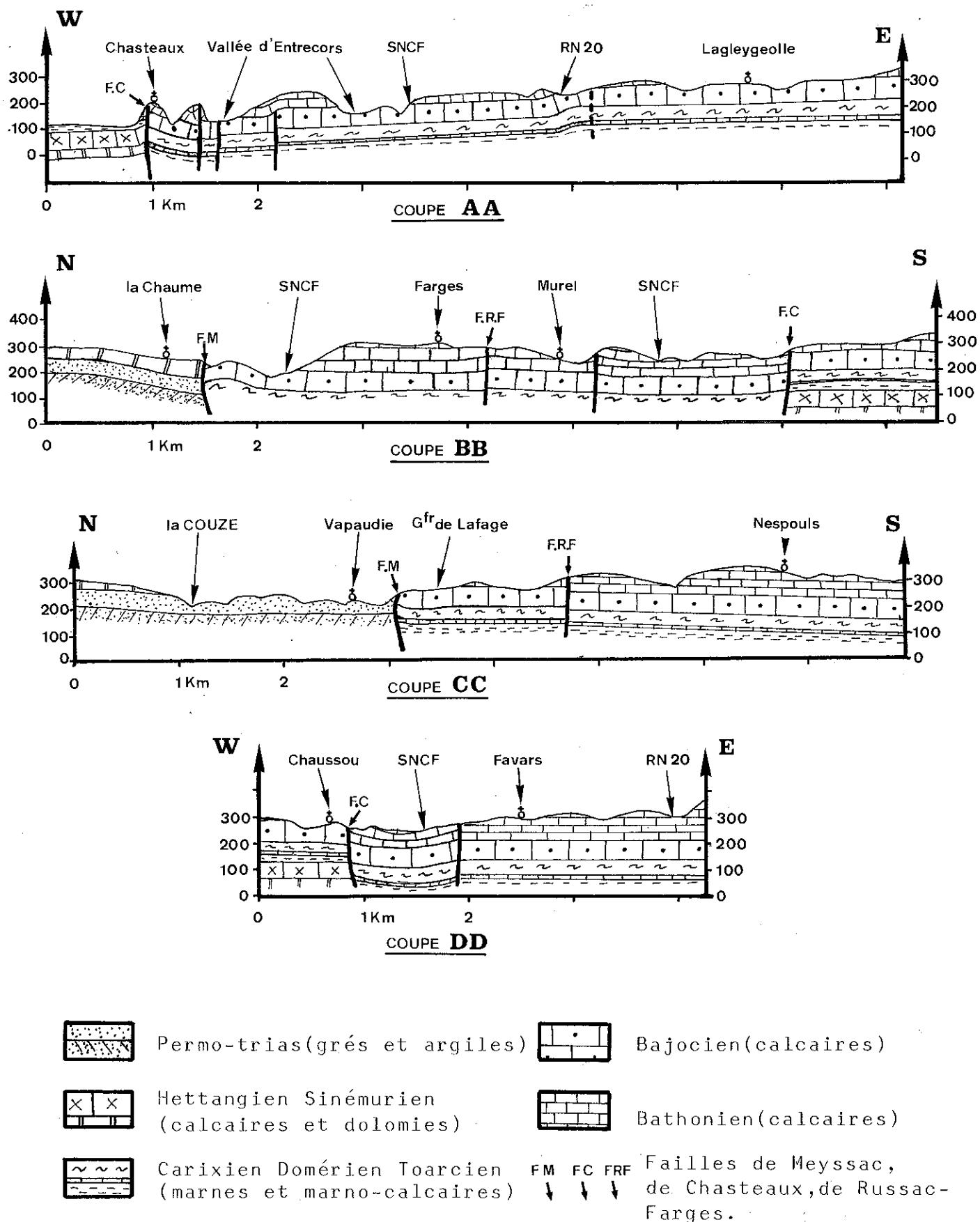


fig:13 Coupes géologiques du secteur étudié (l'échelle des hauteurs est multipliée par 2.5 par rapport à l'échelle des distances)

1.2.4. Discussion et conclusion

La structure actuelle des calcaires du Dogger résulte de l'action d'un raccourcissement grossièrement N.S (lié à l'orogénèse pyrénéenne) ayant affecté une masse calcaire préalablement fissurée et fracturée par une phase de distension (distension Crétacé Supérieur). Ceci confère à cette partie du Causse de Martel une structure particulière. En effet les pendages à l'échelle cartographique (monoclinal vers le sud-ouest) s'acquièrent le plus souvent le long de flexures ou de petites failles. Aucune structure plissée importante n'a pu être mise en évidence. En particulier au sud, dans la région de Nespouls, nous n'avons pas retrouvé les anticlinaux reconnus par P. Morin (SRAE Limousin). *Bien que l'analyse structurale soit délicate dans cette zone nous n'avons pas trouvé de dispositif de nature à limiter un bassin d'alimentation.*

En revanche, la fermeture nord de l'aquifère du Dogger le long des Failles de Chasteaux et de Meyssac a pu être mieux définie. En règle générale on peut dire que cette fermeture est quasiment étanche. Il semble que l'existence de fuites de l'aquifère du Dogger vers les terrains aquifères qui l'entourent dans ce secteur, soit peu probable. En effet, on peut voir sur les coupes A.A et D.D que les seules fuites possibles, pourraient se produire par l'intermédiaire des calcaires du Sinémurien. Or le contact avec les calcaires bajociens ne se fait jamais sur plus de quelques mètres. De plus la forme du crochon se trouvant le long de la Faille de Chasteaux limite les possibilités de fuite. L'alimentation des calcaires du Dogger par les grés permo-triasiques, hypothèse émise par P. Morin, semble peu probable. Le contact de ces derniers avec les calcaires du Dogger n'est jamais important; pour qu'il y ait alimentation il faudrait que l'eau remonte le long de la Faille de Meyssac. Ceci semble peu probable puisque le contact se fait avec les marnes du Toarcien (coupe B.B). Rappelons que ces formations permo-triasiques, alimentent le karst par l'intermédiaire du ruissellement de surface (la perte de Lesparce n°8, perte de la Couze n°7). De plus, à l'est, dans la région de Lafage une petite source (source du Suspens, n°18) grossit le ruissellement sur les formations permo-triasiques (coupe C.C). En revanche l'alimentation

mentation de l'aquifère du Dogger par le synclinal liasique se trouvant au nord de la Faille de Meyssac ne fait aucun doute.

1.3. Conclusion

Cette partie nous a permis de décrire dans le détail les grandes unités lithologiques affleurant dans ce secteur. On peut ainsi déterminer trois aquifères potentiels importants.

1° Les grés permo-triasiques

Les grés permiens peuvent contenir un aquifère discontinu et de milieu fissuré alors que les grés triasiques contiendraient plutôt un aquifère de milieu poreux. Aucun résultat ne permet d'être affirmatif quant à l'intérêt économique de cet aquifère.

2° Les calcaires, dolomies et cargneules de l'Hettangien Sinémurien (100m de puissance).

Régionalement ces formations contiennent un aquifère de type karstique (G.Astruc et Th.Pélissié; 1981). Aucune étude ne permet ici de définir la structure de cet aquifère.

3° Les calcaires du Dogger

Ils constituent l'aquifère principal dans tout le Quercy. Au sud du Causse de Martel, JP.Fabre (1983) a montré que cet aquifère est karstique même si son fonctionnement n'est plus en harmonie avec sa structure. Le but de la présente étude est d'étudier sa structure et son fonctionnement au nord du Causse de Martel.

Dans ce secteur, le Dogger est constitué de deux unités lithologiques distinctes; le Bajocien, essentiellement oolithique et bioclastique et le Bathonien, plus hétérogène, constitué d'alternances de calcaires micritiques, oolithiques ou marneux et de bancs décimétriques de marnes.

L'étude tectonique a montré que la fracturation n'a pas affecté de la même façon le Bajocien et le Bathonien. Le Bajocien est faiblement fracturé, mais les fractures sont continues. Le Bathonien est plus déformé, mais les fractures et les fissures s'arrêtent le plus souvent au niveau des joints

de stratification, ces joints ayant été le siège de ripage banc sur banc.

Nous avons pu identifier trois grandes familles de fractures dont les directions, sensiblement les mêmes que dans l'ensemble du Quercy, sont:

- 1° N 20°
- 2° N 110°
- 3° N 120° à N 150°

Les deux premières directions semblent dater du Crétacé supérieur et sont les plus fréquemment représentées, alors que la troisième semble contemporaine de la phase paroxysmale de l'orogénèse pyrénéenne (Eocène). Toutes ces fractures sont polyphasées.

Une étude structurale a permis de mettre en évidence deux zones faiblement affaissées.

1° Au nord-ouest du secteur étudié, dans la région de Chasteaux, non loin de l'intersection de la Faille de Chasteaux et de la Faille de Meyssac. La source du Blagour naît au point bas de cet affaissement.

2° A l'est de la Faille de Chasteaux où se trouve une "gouttière" disparaissant au sud et se terminant au nord, au point de naissance de la source du Sorpt.

Aucune structure pouvant limiter les écoulements souterrains des eaux n'existe de façon évidente au sud du secteur étudié.

Enfin, l'aquifère du Dogger est limité au nord-ouest et à l'ouest par des épontes imperméables. De ce fait l'alimentation du karst par les grés permo-triasiques est peu probable. En revanche le ruissellement à la surface de ces formations alimente le karst par l'intermédiaire de pertes. (Perte de la Couze n°7, Perte de Lesparce n°8).

2. GEOMORPHOLOGIE

2.1. Géomorphologie et méthodes d'étude

Décrire la morphologie et la mettre en relation avec les évènements géologiques majeurs qui ont affecté cette région, comme tout le Causse de Martel, n'est pas simple pour deux raisons essentielles:

1° La morphologie du Causse de Martel, est à la fois de type "karstique" * et fluviatile. En effet, on assiste à une imbrication complexe d'anciennes vallées actuellement délaissées de tout écoulement, et de formes typiquement "karstiques" telles les cavités souterraines.

2° La mauvaise connaissance des dépôts détritiques continentaux (Tertiaire et Quaternaire), de leurs âges, de leurs conditions de dépôt et de leurs relations avec les évènements tectoniques, rend actuellement impossible une datation relative des différentes formes de relief (*cf. paragraphe II 1.1.5*)

Pourtant, nous sommes conscients de l'importance que joue la paléohydrogéologie sur les limites, la structure et le fonctionnement des systèmes karstiques que nous avons étudié. Aussi, et dans un premier temps, nous allons essayer de décrire la morphologie actuelle. Ensuite, nous ferons ressortir les principaux traits des paléoreliefs de cette région. Enfin, après avoir rappelé les conditions nécessaires à la karstification d'un massif calcaire, nous exposerons une proposition d'évolution morphologique en faisant ressortir les faits importants pour l'hydrologie actuelle.

Notre méthode d'étude comprend trois phases:

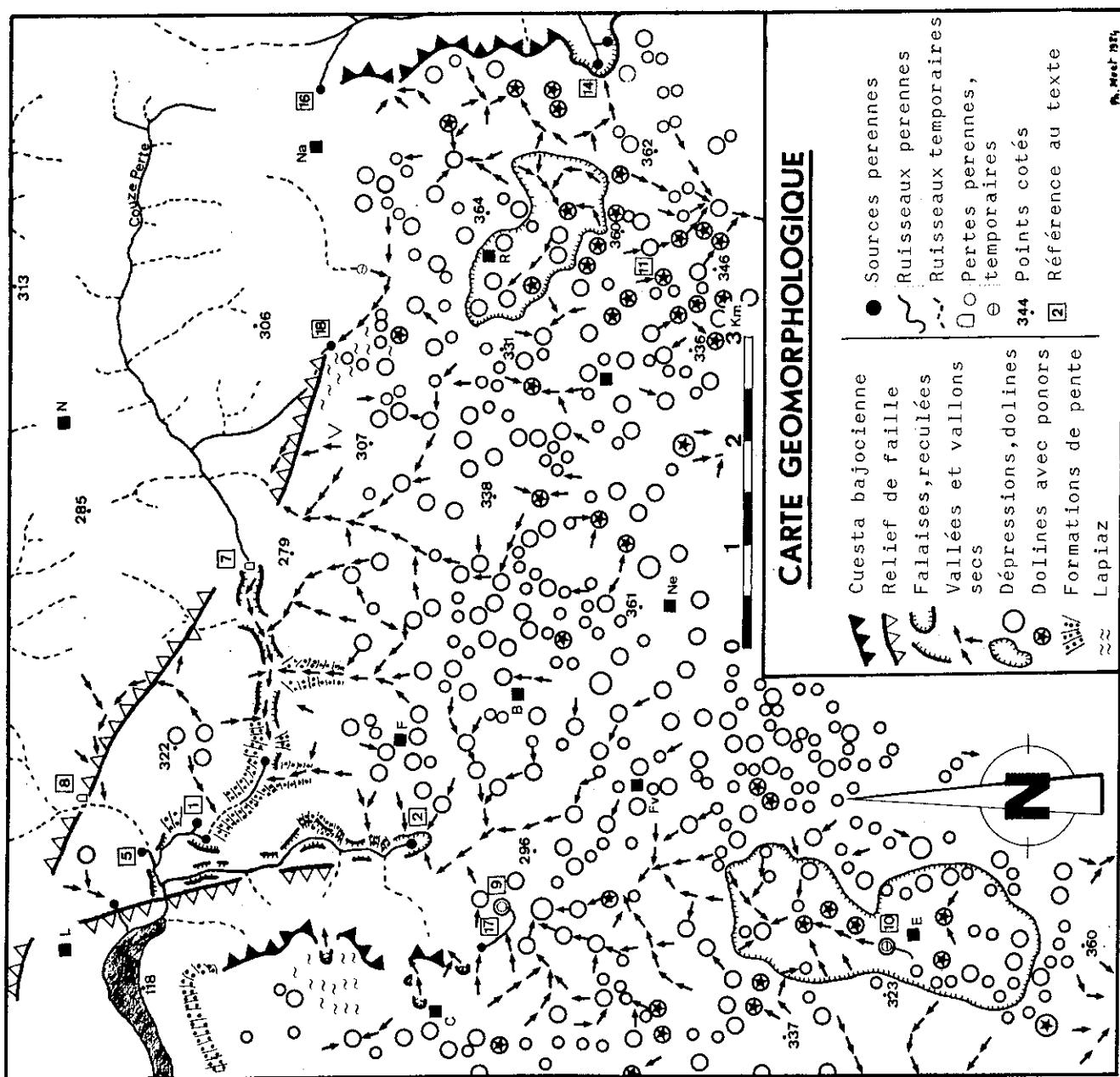
1° Nous avons localisé les principales formes de relief à partir des photographies aériennes.

2° Grâce à une cartographie de terrain nous avons pu définir, dans le détail, les formes du relief.

3° Enfin nous avons mené une synthèse cartographique.

* sens géographique du terme.

Fig: 14 Carte géomorphologique du secteur étudié.



2.2 Carte de la morphologie actuelle et description des différentes formes de relief

2.2.1 Carte de la morphologie actuelle.

Les cartes topographiques au 1/25 000^e de Brive-la-Gaillarde 1.2 et 5.6 couvrent la totalité du secteur étudié (La couverture aérienne est la même que celle citée au paragraphe 1.2.2.1a). Cette carte donne déjà une bonne idée du relief de cette région -un peu abusivement appelée plateau- grâce aux figurés représentant les "cuvettes". De nombreux auteurs ont remarqué cette juxtaposition de dépressions fermées, plus ou moins profondes, laissant peu de place aux surfaces planes. Ainsi, en 1903, A.Thévenin notait "le modèle anarchique en bosses et en creux du Causse de Martel, taraudé en dolines de toutes formes et de toutes dimensions, simples, composées, circulaires, allongées".

Les dolines constituent, en effet, le caractère dominant de la morphologie du Causse de Martel. Nous avons reporté sur une carte au 1/50 000^e toutes les formes importantes marquant la morphologie actuelle du secteur étudié (cf. fig: 14). Sur cette carte, on remarque deux parties distinctes:

1^o Au nord d'une ligne Russac-Farges (cf. paragraphe 1.2.2.1.c) les dolines sont faiblement représentées; elles laissent la place à des vallées sèches, parfois profondes, comme celle d'Entrecors (entre la perte de la Couze n°7 et la source du Blagour n°1) et relativement bien organisées. Les dolines n'apparaissent qu'au dessus de l'altitude 290m environ. Au nord du relief de faille (relief inversé), formé par l'accident de Meyssac, le réseau fluviatile sur les formations du bassin de Brive, sans être très dense, est bien développé. Le bassin versant le plus important est celui de la Couze-perte*. A l'ouest, dans la partie aiguë de l'angle formé par les Failles de Chasteaux et de Meyssac, les vallées faisant suite aux sources du Blagour (n°1) et du Sorpt (n°2) sont encaissées, souvent bordées de falaises ennoyées sous

* Deux cours d'eau s'appellent la Couze sur le secteur étudié:

1^o Le ruisseau situé à l'amont de la perte de la Couze (n°7); nous l'appellerons la Couze-perte.

2^o Le ruisseau issu de la confluence des ruisseaux du Sorpt (n°2) et du Blagour (n°1).

des formations de pente.

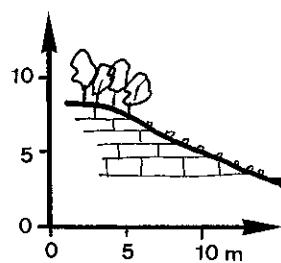
2° Au sud de la ligne Russac-Farges les dolines sont dominantes, elles désorganisent les vallées sèches. Les écoulements de surface, sur les formations argileuses du Tertiaire, sont endoréiques, l'eau s'évacuant par des ponors. On note d'ailleurs, que ces pertes n'existent pas au nord de la Faille Russac-farges. De plus les formations Tertiaires sont plus fréquentes et plus épaisse dans cette zone. On note la présence de deux dépressions complexes; à l'est, autour du village de Russac; à l'ouest, autour du village d'Estivals. Le long de la Faille de Chasteaux, le réseau de vallées sèches, bien que désorganisé par des dolines, est mieux conservé qu'à l'est. Ce phénomène s'accentue à l'ouest d'une ligne Favars-Belveyre.

2.2.2 Description des différentes formes du relief

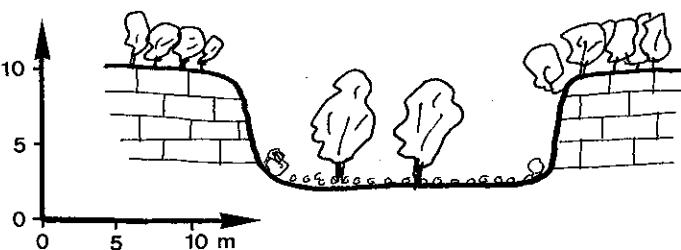
2.2.2.1. Les dolines

Elément morphologique majeur du secteur étudié, les dolines sont au nombre de trois cents environ, de formes circulaires ou ovoides, avec des dimensions variant de 20 à 150m de diamètre et de 5 à 30 voire 40m de profondeur.

Nous avons rassemblé sur la figure 15 les différentes formes de dolines que nous avons rencontrées. Les dolines en "cuvettes" et en "baquets" sont, comme sur le Causse de Gramat, les plus représentées (T.Marchand, 1980). Elles sont rarement associées à des dépôts continentaux tertiaires lorsqu'elles sont peu profondes. Les dolines dissymétriques se rencontrent surtout sur le tracé des anciennes vallées. Souvent d'ailleurs la dissymétrie provient d'un vallon aboutissant dans la cuvette. Les dolines à ponors ont été différenciées sur la fig: 14 car elles représentent autant de points d'alimentation directs de l'aquifère karstique. Ces dolines sont le plus souvent de grandes dimensions et complexes. *Elles sont toujours associées à des dépôts continentaux tertiaires.* Parfois ces pertes existent à même les vallons secs formant ainsi "des dolines entonnoirs". La fig: 14 montre que les dolines à ponors se localisent en préiorité au sud-est, dans la forêt de Turenne et à l'ouest entre Chartrier-Ferrière et Estivals. *On note également que les zones à*



Doline cuvette

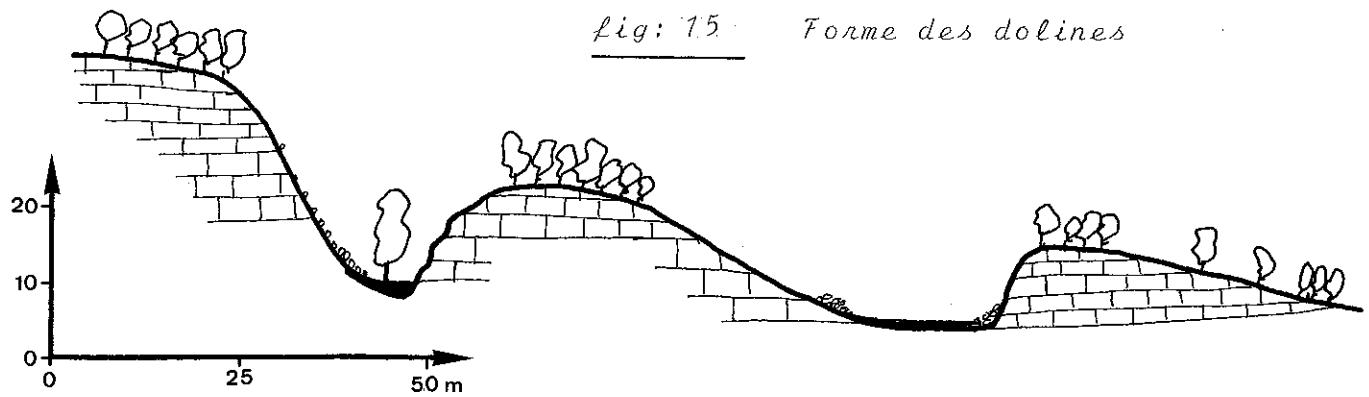


Doline baquet

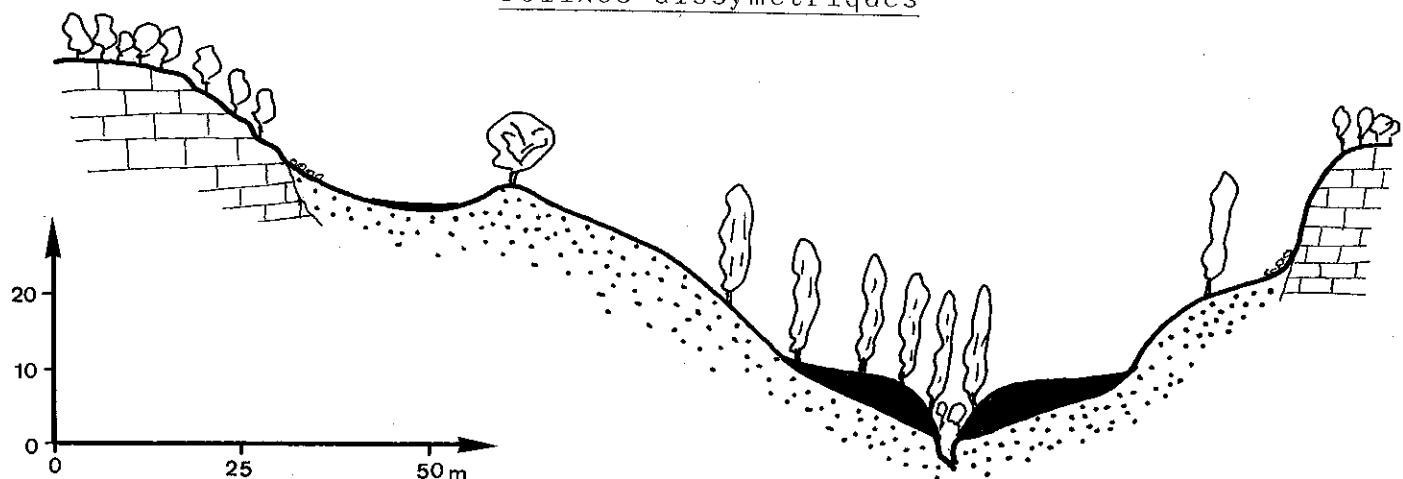
Alluvions récentes

Terrains tertiaires

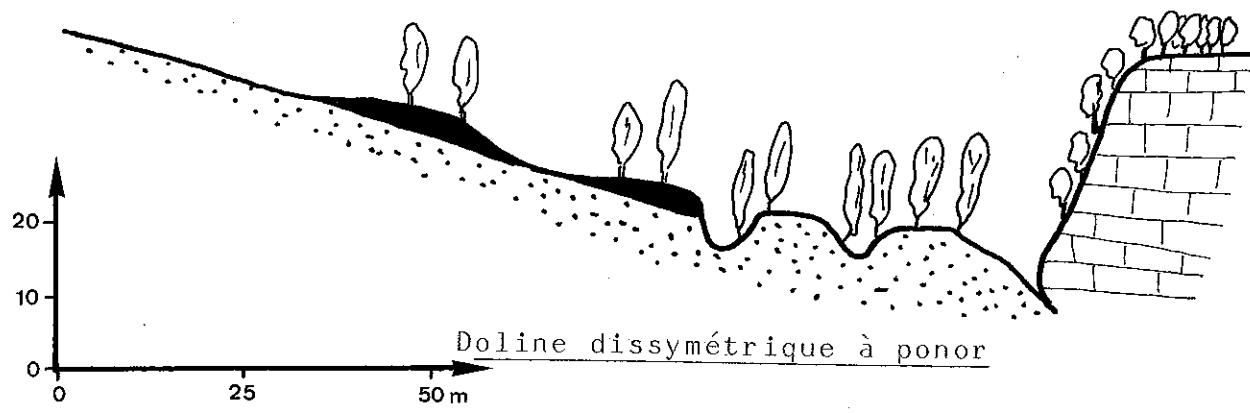
fig: 15 Forme des dolines



Dolines dissymétriques



Doline à ponor (Fontanille)



Doline dissymétrique à ponor

forte densité de dolines à ponors sont situées sur les calcaires du Bajocien ou sur les accidents tectoniques majeurs affectant cette région.

2.2.2.2. Les grandes dépressions

Nous avons distingué deux ensembles de dolines coalescentes et de vallons secs; ce sont les dépressions de Russac et d'Estivals. Ces grandes dépressions (2X1) km. pour Russac, (3X1) km pour Estivals, ont une altitude inférieure de 30 à 40m à celle du plateau. Les dépôts continentaux tertiaires en tapissent le fond. La Dépression d'Estivals présente plusieurs ponors dont la perte d'un ruisseau à faible débit (perte d'Estivals n°10: cf Annexe I). Ces deux dépressions, comme celles de Martel ou de Gignac, de trouvent à cheval sur des accidents tectoniques majeurs. La plus grande longueur de la dépression d'Estivals s'oriente nord-sud, alors que celle de Russac s'oriente nord-ouest - sud-est.

2.2.2.3. Les vallées; les vallées ou vallons secs

a) Les vallées

Nous distinguerons deux vallées: les vallées de la Couze et du Sorpt.

- La vallée de la Couze

La fig. 16 présente le profil en long et cinq profils en travers (ou sections) de cette vallée. Nous la scinderons en trois parties:

1° A l'aval de la source du Blagour (n°1), la vallée d'abord étroite s'élargit brusquement après le passage de la Faille de Chasteaux. Une épaisseur importante d'alluvions colmate le talweg donnant à cette partie de la vallée un profil empâté.

2° Entre la perte de la Couze (n°7) et la source du Blagour (n°1), la vallée d'Entrecors (vallée sèche), est étroite et encaissée. A l'aval, le ruisseau de Fontille (n°3) l'emprunte sur quelques centaines de mètres en étiage. En hautes eaux la mise en fonctionnement de l'Event d'Entrecors (n°6) inonde cette partie de la vallée.

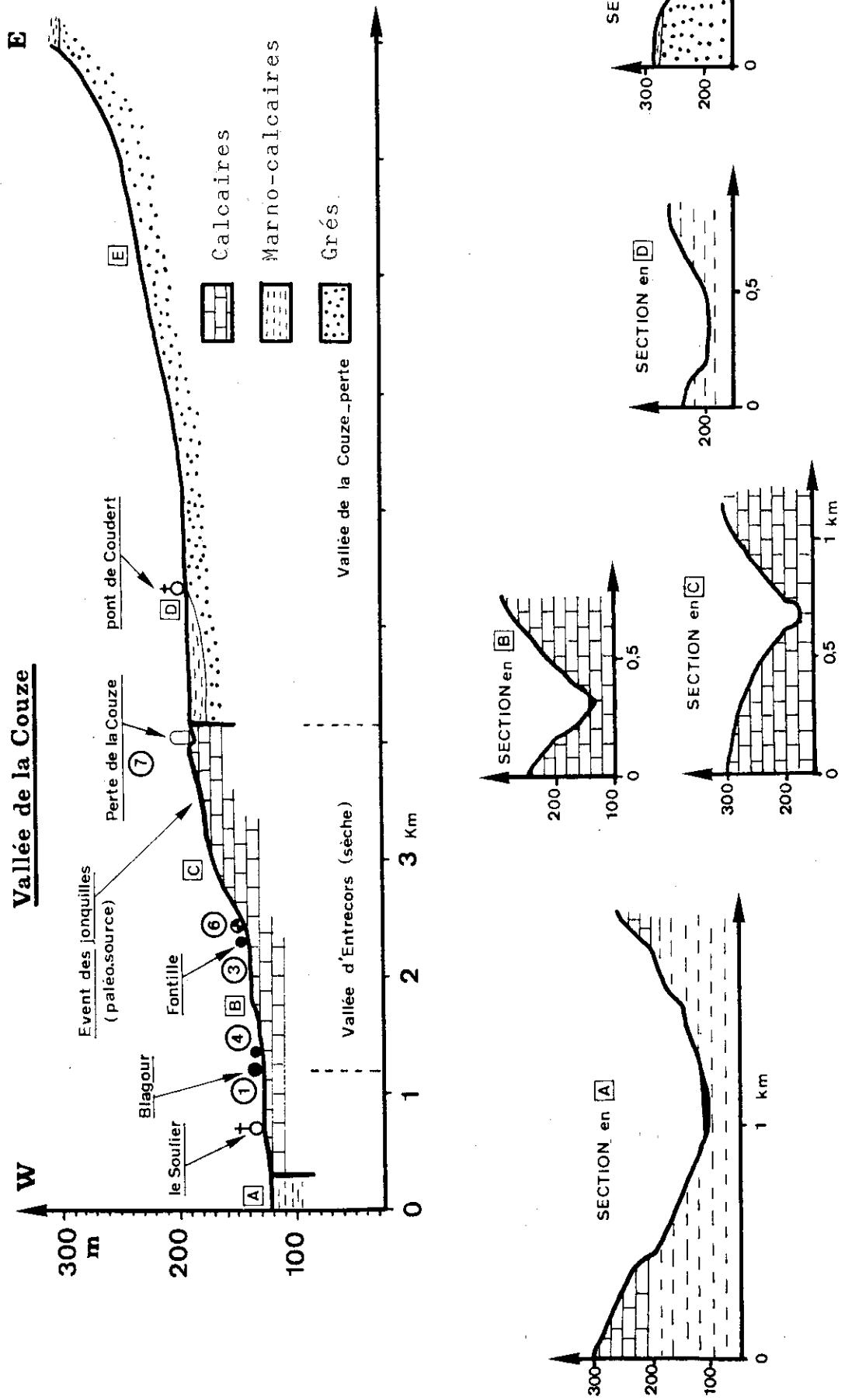


Fig. 16 Profil en long et sections de la vallée de la Couze.

3° A l'amont de la perte de la Couze (n°7) s'étend le bassin versant de la Couze-perte. A proximité de la perte, cette vallée est large et le ruisseau décrit quelques méandres. On note la présence de deux niveaux de terrasse à 2 et 10m au-dessus du cours actuel. Plus à l'est, la vallée devient plus encaissée. Le ruisseau prend sa source à la base de l'Hettangien, aux environs de Jugeal-Nazareth.

Il est intéressant de noter sur le profil en long de la vallée de la Couze quatre replats associés à des sources, paléo-sources ou pertes. En remontant la vallée, on trouve les replats suivants :

1° A l'altitude 129m, un premier replat est associé à la source de Blagour (n°1) et de la Cressonnière du Blagour (n°4).

2° A l'altitude 144m, un second replat est associé à la source de Fontille (n°3) et à l'Event d'Entrecors (n°6).

3° A L'altitude 175m environ, un troisième replat est associé à une paléo-source, l'Event des Jonquilles exploré à partir de 1976 par les spéléologues corréziens.

4° A l'altitude 190m environ, un quatrième replat est situé à l'amont de la perte de la Couze.

Remarque: JP. Fabre (1983) a trouvé, pour le système Boulet-Blagour de Souillac, les replats suivants, eux aussi associés à des sources ou paléo-sources.

1° Un premier replat correspond au niveau actuel, à l'altitude 120-130m.

2° Trois replats aux altitudes 160-180, 210-220m et 240-250m

3° Enfin un cinquième au niveau de l'Event du Boulet se trouve à 153m.

Même si les replats se trouvant aux altitudes relativement élevées n'ont pas pu être mis en évidence dans la vallée de la Couze, nous remarquons les points suivants :

1° Le niveau actuel des exutoires perennes est le même au nord et au sud du Causse de Martel.

2° Le trop plein du système Boulet-Blagour (le Boulet) se trouve à une altitude comparable à l'Event d'Entrecors.

3° Dans les deux cas, il existe un replat associé à une paléo-source, à l'altitude 160-180m ("trou del Caminol").

Outre que la vallée de la Couze est sèche sur une partie de son cours, sa particularité réside dans le fait que l'on ne peut pas lui associer de bassin versant topographique sauf au nord où les limites de l'écoulement sur les formations du bassin de Brive peuvent être définies. Au sud, quelques vallons secs se rattachent bien à la vallée de la Couze, mais ils se perdent dans un chapelet de dolines au sud de la Faille de Russac-Farges (cf fig n° 14).

La fig. 17 présente la carte des pentes du bassin versant de la Couze-perte (travail effectué par P. Marchet en 1982; mémoire de fin de maîtrise non publié).

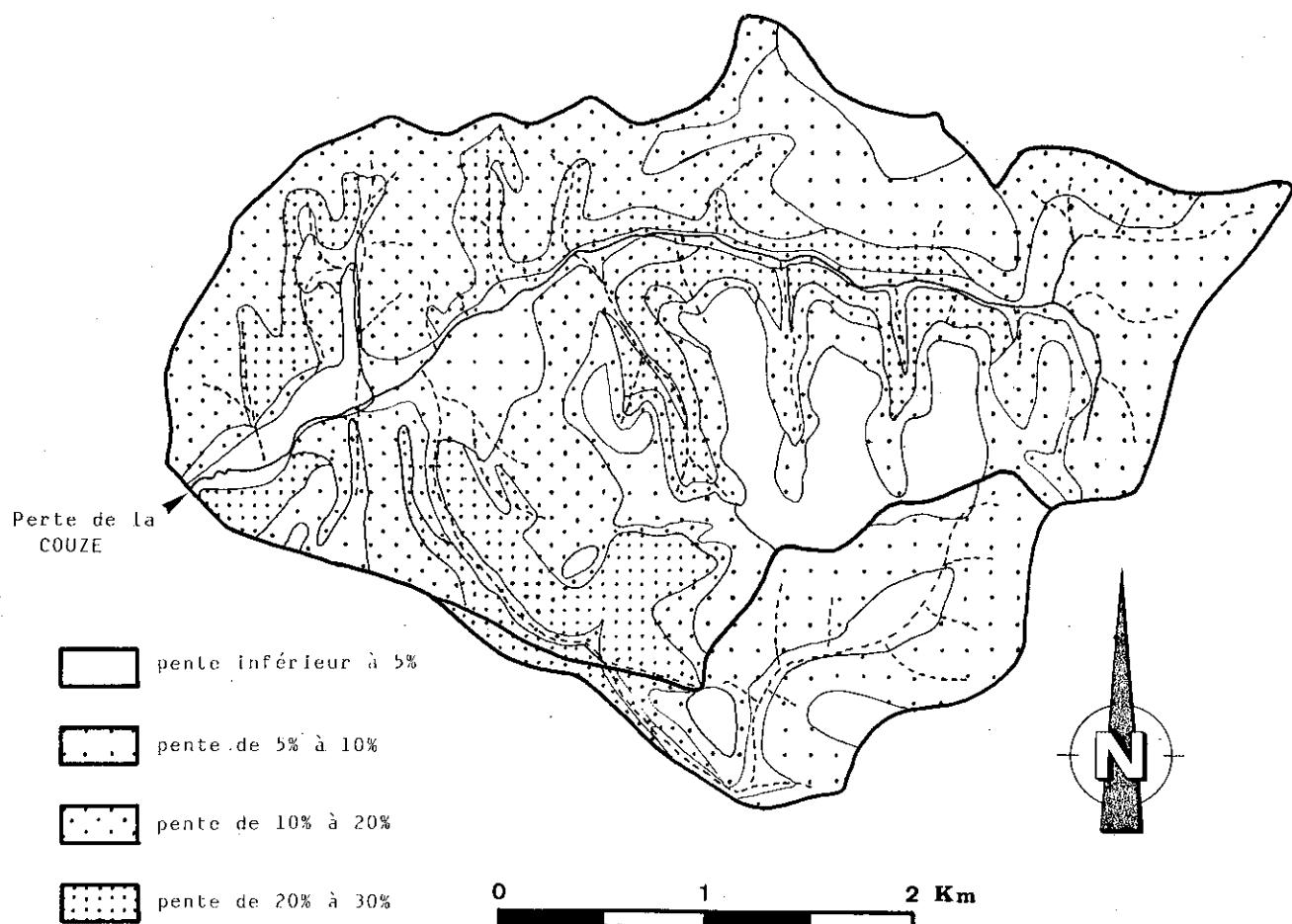


fig: 17 Carte des pentes du bassin de la Couze-perte (d'après P. Marchet 1982)

On remarquera :

1^o Les fortes pentes à proximité immédiate des cours d'eau, qui traduisent une évolution "en creux" du relief.

2^o une surface de pente faible à l'altitude 290-300m.

3^o A l'amont de la perte de la Couze, une plaine à faible pente, associée au replat cité précédemment.

La vallée de la Couze reçoit plusieurs affluents:

* Coulant du nord au sud le ruisseau de Rugeat, qui se perd en partie à la perte de l'Esparce (n°8) et le ruisseau du Coutinard qui se perd dans la vallée d'Entrecors.

* Coulant du sud vers le nord, la vallée du Sorpt.

-La vallée du Sorpt.

La source du Sorpt (n°2) naît au fond d'une reculée. La vallée qui lui fait suite est étroite et encaissée. Cependant, le fond est plat ce qui lui donne une allure empâtée. Vers la confluence avec le ruisseau du Blagour, le fond de la vallée acquiert une pente plus forte et ses flancs deviennent abrupts. La vallée du Sorpt longe, par l'est, la Faille de Chasteaux. Elle reçoit trois petits affluents coulant sur les marnes et les calcaires marneux du Lias, situés à l'ouest de la faille. Plusieurs vallées sèches font suite vers le sud à la vallée du Sorpt. Mais, comme pour la vallée de la Couze, il est impossible de définir un bassin versant topographique.

b) Les vallées et vallons secs.

Il existe deux types de vallées sèches. Les vallées profondes et les vallées suspendues.

- Les vallées profondes.

La plus importante est la vallée d'Entrecors (étudiée précédemment). Les autres vallées de ce type sont toutes situées autour de la vallée d'Entrecors, elles sont très encaissées et de faible longueur. Elles ne sont pas démantelées par des dolines. En revanche, elles prennent naissance à proximité de petites dolines dissymétriques faisant penser à des "niches de nivation".

- Les vallée suspendues.

Ce sont toutes les autres vallées sèches du pla-

teau. Elles sont peu profondes (une dizaine à une vingtaine de mètres de profondeur). Leurs points le plus en aval se situent entre 200 et 230m d'altitude. De ce fait, elles se raccordent aux vallées profondes par un ressaut de plusieurs dizaines de mètres. Leurs parties en amont se perdent dans un chapelet de dolines. En fait, à l'amont, on ne retrouve que des vallons secs dont l'agencement paraît anarchique. Ces vallons de quelques dizaines de mètres de longueur aboutissent dans des dolines. Les vallées sèches suspendues les plus longues sont localisées à l'ouest, entre la source du Sorpt et le village d'Estivals et, à l'est, entre Lafage et Russac. Nous n'avons pas étudié dans le détail, les différentes vallées sèches, mais on peut dire, sans ambiguïté, qu'il existe plusieurs phases d'érosion fluviale entre les altitudes 230 et 360m (point culminant du secteur étudié) avec captures et recreusements (surtout visibles entre Chartrier-Ferrière et Estivals).

2.2.2.4. Les réseaux spéléologiques

Depuis 1976 l'activité spéléologique s'est développée sur le Causse corrézien. De ce fait, un certain nombre de réseaux souterrains ont été découverts, explorés, topographiés et décrits (1977; 1979; 1982).

On peut distinguer trois types de cavités (Ph.Renault; 1973)

1° Les cavités en relation avec les écoulements souterrains actuels.

Le réseau de la Couze, découvert et exploré depuis 1976 en est le meilleur exemple. Il s'agit de 15km de galeries, le plus souvent de grandes dimensions. Les entrées sont constituées par des pertes ou des paléo-pertes (perte de la Couze n°7) ou par des sources (Blagour n°1) ou paléo-sources (Event des Jonquilles). Sur plus de 7 kilomètres, les galeries inférieures sont parcourues par des rivières souterraines dont l'exutoire actuel, après une zone de galeries noyées, est la source du Blagour. Les galeries supérieures s'ennoient en hautes eaux. Ces deux types de conduits se retrouvent confondus à l'extrême amont des rivières souterraines actuellement connus. A l'aval, les

différents passages supérieurs s'individualisent pour aboutir chacun à un exutoire (ou paléo-exutoire) différent (Event des jonquilles, Event d'Entrecors(n°6), Blagour(n°1)). La rivière souterraine explorée à partir de la source du Blagour (n°1) a pour origine la confluence de deux ruisseaux souterrains. L'un provient de l'est et fait suite à la perte de la Couze; il est grossi par un affluent longeant la Faille de Meyssac. L'autre coule du sud vers le nord. L'exploration de ce ruisseau souterrain est interrompue, au sud, par une zone de galeries noyées, non loin de la Faille de Russac-Farges.

Dans cette catégorie de cavités on peut ajouter celles qui sont accessibles par l'intermédiaire de pertes ou de sources et qui ont été explorées sur quelques dizaines de mètres. Ce sont la perte de Lesparce et la source du moulin de Laguenay.

Il faut noter qu'aucune de ces cavités n'a pu être atteinte à partir du plateau.

2° Les cavités horizontales situées entre les altitudes 225 et 250m.

Plusieurs cavités de ce type ont été explorées, dont trois tronçons de galeries atteignant chacun un développement de l'ordre du kilomètre. Toutes ces cavités (sèches en général) pourtant distantes de plusieurs kilomètres chacune, présentent toutes les mêmes caractéristiques:

- a) Leurs extrémités (amont et aval) ou les petites galeries adjacentes sont colmatées soit par des dépôts quaternaires récents, avec des vestiges paléontologiques (Abîmes de Lafage, grotte de Jaurens). Soit par des dépôts plus anciens (difficilement datables *cf début du paragraphe II.2*).
- b) Elles sont situées toutes au nord de la Faille Russac-Farges ou dans la zone à l'ouest de la ligne Belveyrefavars où les vallées sèches sont bien individualisées (*cf paragraphe II.2.2.1*).
- c) Les vallées sèches suspendues ont une altitude inférieure à ces cavités. Cela prouve qu'un cycle d'érosion fluviatile a recoupé ce niveau de galeries karstiques

(Grotte du Tunnel de Fontille, du Tunnel de Murel, Abîmes de Lafage).

d) La morphologie des cavités prouve qu'elles étaient parcourus par des ruisseaux coulant vers le nord. De plus, une action des eaux plus récente a remodelé soit par concrétionnement, soit par surcreusement, ces différentes cavités.

Il faut noter également que seuls les Abîmes de Lafage possèdent des entrées naturelles, les autres cavités ont été recoupées soit par des fronts de carrière (grotte de Lafont Trouvée, grotte du Coustal), soit par des tranchées routières ou SNCF (Grotte du Tunnel de Fontille, Grotte du Tunnel de Murel). On peut ajouter que toutes ces cavités appartiennent à la même phase de drainage karstique, du fait de leurs altitudes et de leur morphologie semblables.

3° Les cavités de petites dimensions essentiellement situées au sud de la Faille Russac-Farges.

Sur les flancs des dolines, ou sur les buttes, mais surtout dans les nombreuses carrières de ce secteur, débouchent de petites cavités (quelques dizaines de mètres de longueur au maximum). La plupart sont colmatées soit par des argiles rouges (difficilement datables), soit par des éboulements quaternaires contenant une faune würmienne riche (Grotte de Sireyjol, Grotte de Baudran). Ces cavités sont peu profondes (20m au maximum), ne forment pas de tronçons de galeries comme celles du type précédent et leurs relations avec celles-ci n'est pas prouvée.

2.2.2.5. Les lapiaz

Les lapiaz n'existent pratiquement pas sur le secteur que nous avons étudié. Cependant, deux zones lapiazées de faible superficie existent à l'est, aux alentours du hameau de Lagleygeolles, à l'ouest dans le forêt de Couzage, au nord de Chartrier-Ferrière. Ces lapiaz sont peu développés et souvent colmatés.

2.2.2.6. Les sources

a) La source du Blagour: n°1

La source du Blagour se présente comme une petite fontaine vauclusienne. En effet, la vasque d'entrée atteint la profondeur de 15m. En fait, la partie en aval de la vasque est constituée par les alluvions comblant le fond de la vallée. A l'amont, la galerie noyée est en partie colmatée par du sable (essentiellement du quartz). Nous avons effectué un nivelingement des sources de la vallée de la Couze le 6.09.81. Le niveau de l'eau de la vasque se trouvait à l'altitude de 129,28m.

b) La Cressonnière du Blagour: n°4

Nous avons regroupé sous ce nom des griffons qui sourdent à 60m en amont du Blagour, en rive droite et rive gauche de la vallée d'Entrecors. Tous ces griffons se rassemblent en un petit ruisseau rejoignant le Blagour à quelques mètres en aval de la vasque. L'altitude du niveau de l'eau était le 6.09.81: 129,69m.

c) La source de Fontille: n°3

A 950m en amont du Blagour (n°1), à la base d'un rétrécissement de la vallée d'Entrecors, se trouve la source de Fontille. Elle est totalement ensablée. En crue, plusieurs griffons apparaissent à l'amont. L'altitude de l'eau le 6.09.81 était: 144,23m.

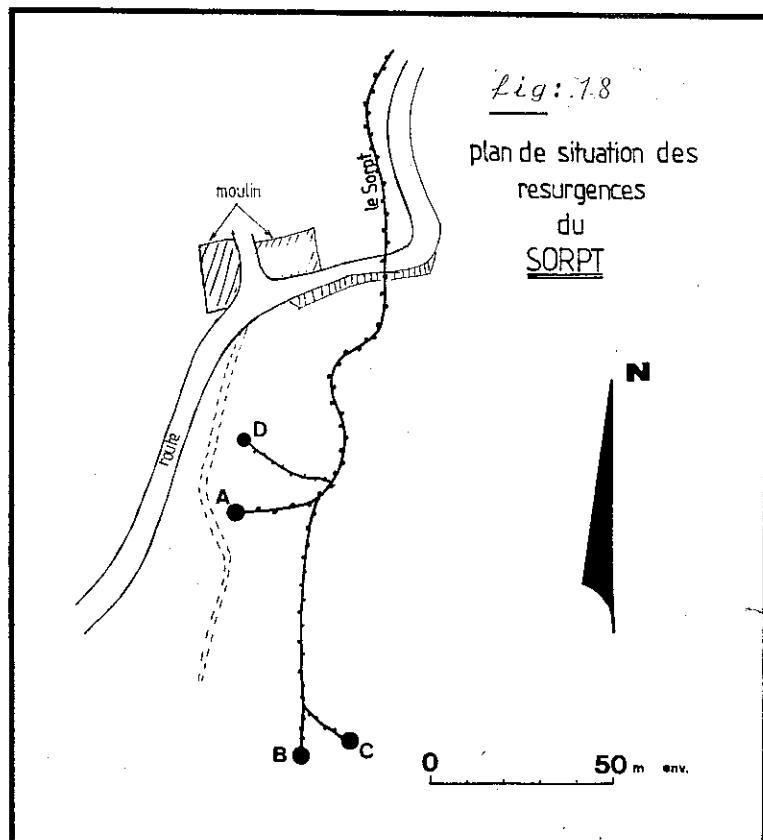
d) L'Event d'Entrecors: n°6

C'est une source temporaire qui est située 180m en amont de la source de Fontille. Le niveau de l'eau, dont l'altitude était de 144,27m le 6.09.81, se situe quatre mètres environ sous le niveau du sol, dans le fond d'un entonnoir de 2m de diamètre. Ce niveau est sujet à de brusques variations, en relation avec les pluies. Lorsque l'amplitude de cette variation dépasse quatre mètres l'eau s'écoule dans la vallée d'Entrecors.

e) La source du Sorpt: n°2

La source du ruisseau du Sorpt est située dans l'étang artificiel du moulin du Sorpt. Lors d'une vidange de cet étang, nous avons pu observer quatre sorties d'eau (cf. fig: 18). La source A, appelée la "Fontaine noire", est constituée d'un

entonnoir ensablé. La sortie d'eau s'effectue avec bouillonnement de sable. Des phénomènes de décolmatages temporaires se produisent un peu comme au Blagour de Souillac (Muet, ph:1980). Le mécanisme est certainement le même que celui proposé par J.P Fabre (1983). Les sources BetC, sont situées à l'extrémité amont de l'étang. L'eau sort à travers des blocs calcaires et du sable fin. En étiage les sources BetC (cf. fig:18) assurent l'essentiel du



débit du ruisseau du Sorpt; en hautes eaux c'est la Fontaine Noire (A, cf. fig: 18), qui, après décolmatage, possède le plus fort débit. La source D, (cf. fig: 18) dont le débit est faible, ne semble pas directement liée aux trois autres sources. Elles nous paraît comparable aux griffons de la Cressonnière du Blagour (n°4)

f) Les petites sources du plateau

Elles sont très rares. On peut les classer en trois catégories.

1° Les sources "épikarstiques"

Ce sont de petites sources, au débit faible, que l'on trouve sur les flancs des dolines ou des vallons secs. Cette eau, issue des calcaires, provient, d'une part, de la zone d'al-

tération superficielle ("épikarst" proprement dit: A.Mangin, 1975), d'autre part, de bancs calcaires fracturés, isolés par des intercalations marneuses et recoupés par la topographie (hétérogénéité) du Bathonien cf. para.II.1.1.4.2)

2° Les sources associées aux dépôts détritiques du Tertiaire. Ce sont, également, des sources à faible débit qui sont rarement pérennes. Elles sont souvent associées à des ponors.

3° Les sources liées à la "structure géologique"

Ces sources, au débit plus important, se situent à proximité des accidents tectoniques majeurs. Elles sont toujours associées à un contexte structural particulier, isolant de petites surfaces calcaires du reste de l'aquifère. (Source de Lacoste n°17, source du Suspens n°18).

2.2.2.7. *Les pertes*

Elles se divisent en deux ensembles :

a) Les pertes du plateau

Nous avons vu, au paragraphe 2.2.2.1, qu'elles s'apparentent à des ponors (pertes ponctuelles et importantes; non pérennes)

b) Les pertes de rivières

Ce sont les pertes de la Couze (N°7) et de l'Esparce (n°8).

Ces deux pertes se présentent sous la forme d'un porche de plusieurs mètres de diamètre dans lequel se jette le cours d'eau. A proximité, il existe des paléo-pertes.

2.3. Essai de reconstitution de paléo-surfaces topographiques

Nous avons vu qu'il existait, dans le paysage, les traces d'au moins trois paléo-surfaces, témoins de trois phases d'érosions importantes. Nous allons tenter à partir de ces surfaces, de reconstituer l'évolution du paysage de ce secteur.

2.3.1. Surface complexe sur laquelle se sont déposées les formations détritiques tertiaires*

* Remarque: La plus ancienne surface d'érosion ayant affecté le Quercy est à rattacher au Crétacé inférieur. Cette surface ne se retrouve que cartographiquement, grâce à la discordance des dépôts du Crétacé supérieur sur le Dogger, à l'ouest du Quercy (cf.I 2.1).

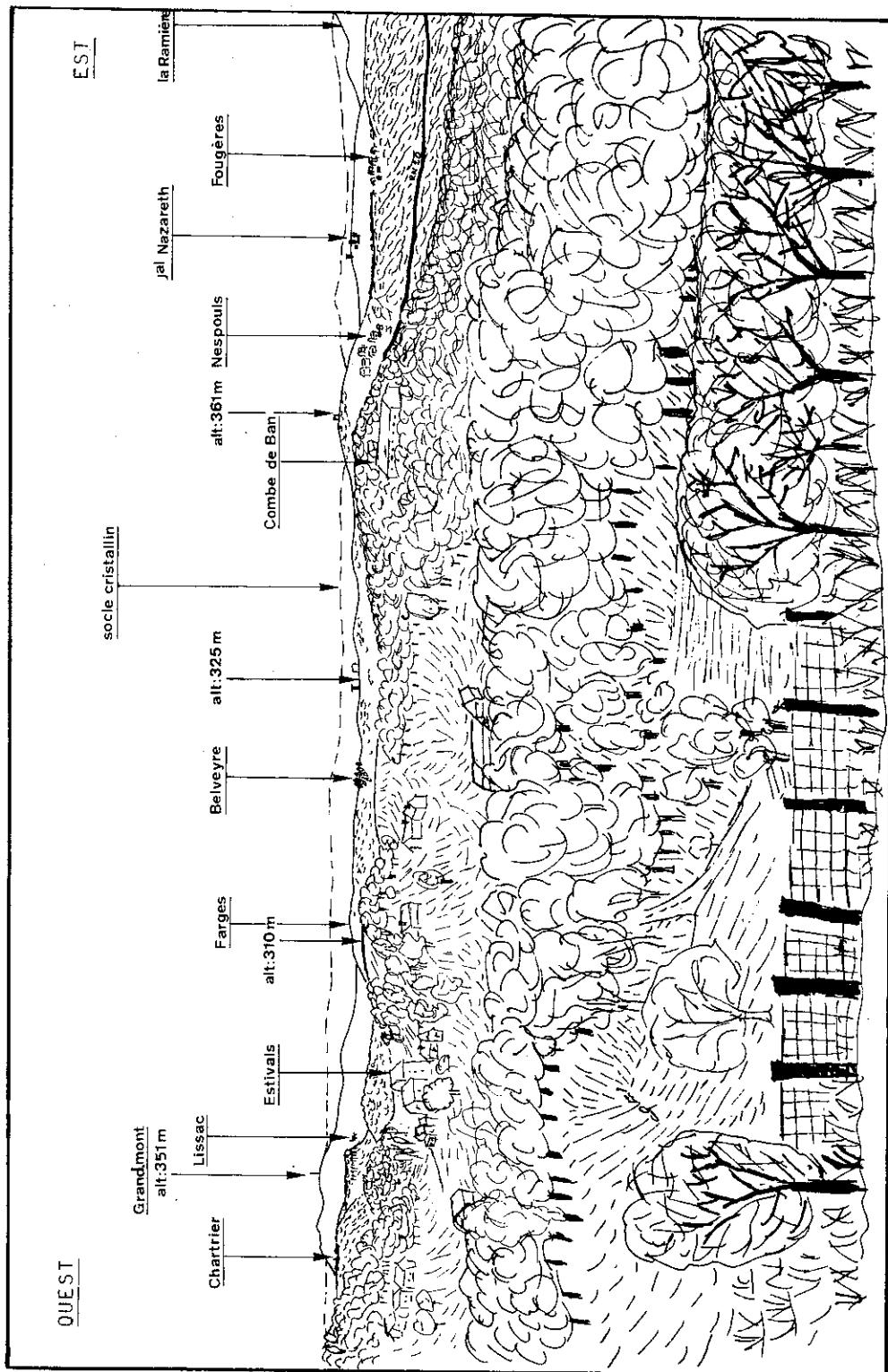


Fig: 19 *Le secteur étudié vu depuis le moulin de Gignac (Lot). Dessin F. Briant et Ph. Muet*

Nous avons déjà dit (*cf. para: 1.1.5.3.*) qu'il était impossible, sur le secteur que nous avons étudié, de définir avec précision cette surface. Cependant, nous avons remarqué la position perchée ou au contraire affaissée des sables tertiaires, faisant penser qu'ils colmataient un relief karstique très tourmenté.

Nous pouvons ajouter que ce karst devait être très développé avec de nombreux gouffres de grandes dimensions. C'est ainsi que nous interprétons les résultats du forage effectué dans la dépression d'Estivals qui a traversé plus de 25mètres de dépôts argileux et sableux, puis des calcaires altérés (Ph.Muet; 1980). Il faut donc s'imaginer une surface avec des structures exokarstiques très développées. B.Gèze (1937) a souligné le caractère "tropical" du karst tertiaire en Quercy. Une chose est certaine, il s'est développé à la faveur des grands accidents tectoniques (Faille de Chasteaux, Faille de Russac-Farges) affectant les calcaires du Dogger. De ce fait, les vestiges de ce karst ne sont pas répartis uniformément à la surface du Causse. Les vestiges les plus manifestes de cette érosion karstique se trouvent dans la région d'Estivals, de Russac, de la Forêt de Turenne, de Chartrier-Ferrière.

2.3.2. Pénéplaine dont l'altitude aux environs de Noailles se situait de 290 à 310m

Après le colmatage de ce karst un système fluviatile s'est mis en place, formant de larges plaines dont témoignent les zones à faible pente, aux altitudes de 290 à 310m de la *fig.* 17.

On peut également rapporter à cette surface les points hauts du Causse de Martel, mais également ceux de la Ramière (situés au nord-est du secteur étudié). La *fig. 19* représente le secteur étudié vu depuis le moulin de Gignac au sud d'Estivals. Le paléorelief dont nous parlons peut être reconstitué en joignant les points hauts de la Ramière, Jugeal- Nazareth, "alt 361" au nord de Nespouls, Belveyre, Grandmont et Chartrier-Ferrière (*cf. fig: 19*). Cette pénéplaine se retrouve sur le socle cristallin à l'horizon. Les écoulements se faisaient d'est en ouest. Il existait, au nord, une large plaine vers laquelle étaient drainées les eaux. On peut, semble-t-il, définir deux paléo-vallées:



Photo: 1

Vue d'avion de la faille de Chasteaux limitant les calcaires du Dogger à l'est et les formations marneuses du Lias à l'ouest (Photo réalisée grâce à l'amabilité de R. Michaud; altitude 500m)

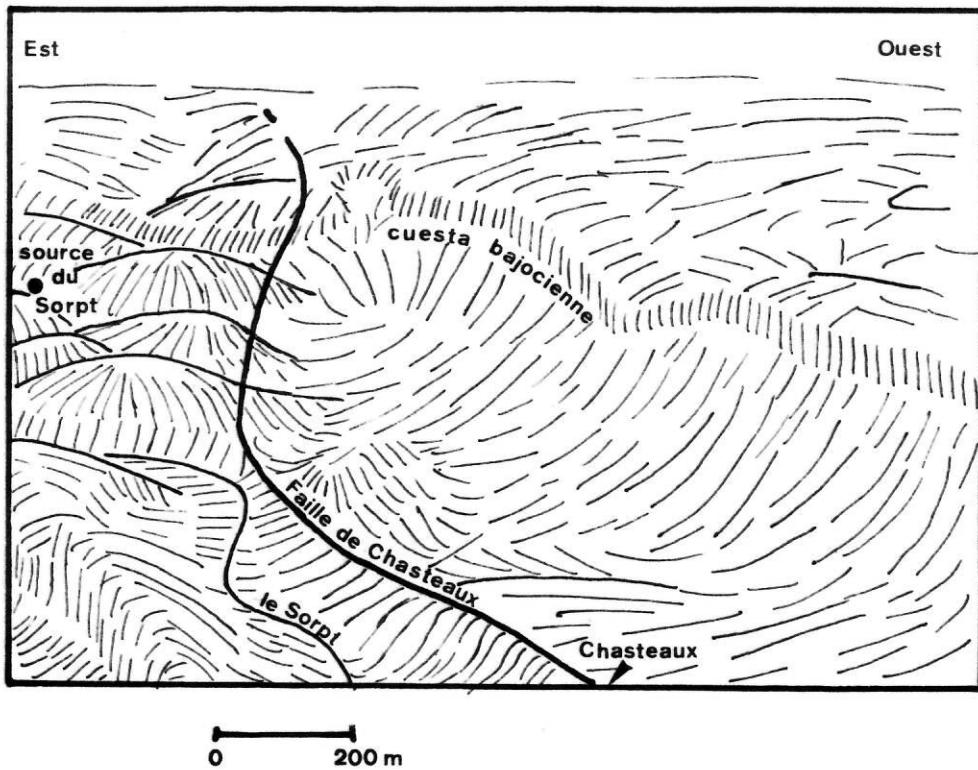
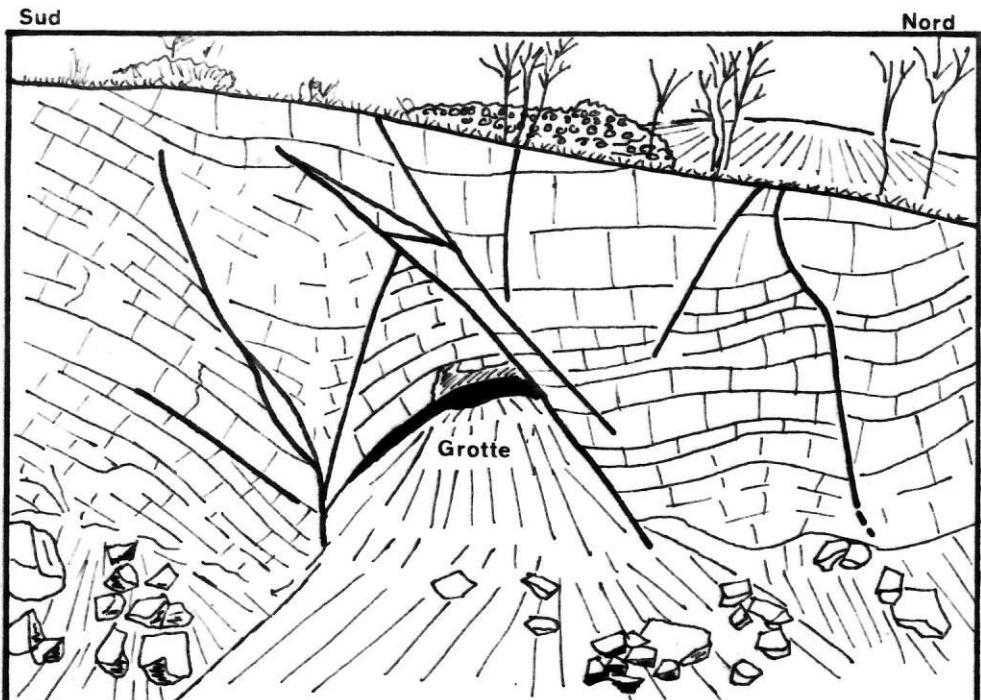




Photo: 2

Grotte du Coustal. Cette Grotte a été découverte lors de l'ouverture de la Carrière du Coustal. Elle se situe à proximité de la Fissure de Meyssac dans une zone fortement tectonisée.



0 5 m

- La première, de direction est-ouest, descendait des monts de la Ramière et longeait le nord de la faille de Meyssac pour aller se jeter dans la paléo Vézère au nord de Lissac.

- La seconde, de direction nord-sud, affluent de la première, au nord de Lissac, suivait la faille de Chasteaux. Son tracé se trouvait plus à l'ouest que l'actuelle vallée du Sorpt. Son talweg devait se situer entre la vallée du Sorpt et l'actuelle Cuesta bajocienne. D'ailleurs, la partie en aval de cette vallée s'est transformée par la suite en une reculée qui a mis à jour des formations liasiques sous-jacentes, comme le prouve cette zone décapée de tout dépôt du Dogger, à l'ouest de la faille de Chasteaux (*cf. carte n°1, chapitre I et photo n°1*).

2.3.3. Relief d'érosion fluviatile auquel se rapportent les vallées sèches suspendues

Comme nous l'avons remarqué au paragraphe II 2.2.2.3.b la morphologie des vallées sèches suspendues montre une évolution complexe. Cette phase d'évolution fluviatile, au moins au sud de la faille de Russac-Farges, n'a été reprise ensuite que par un cycle d'érosion karstique. Ainsi, en faisant abstraction des dolines, nous avons pu reconstituer ce paléo-réseau fluviatile et déterminer les limites de son bassin versant topographique. La *fig. 20* présente ce travail. On remarque qu'il existait deux rivières principales. La première coulait d'Estivals vers l'actuelle source du Sorpt et recevait de nombreux affluents; la seconde s'écoulait de Russac vers Lafage et recevait, comme principal affluent, un cours d'eau provenant de la région de Nespouls (actuellement la RN20 emprunte la vallée sèche construite par cet affluent). Il devait déjà exister une paléo-vallée de la Couze, à l'emplacement de l'actuelle, dans laquelle se jetaient les deux rivières dont nous venons de parler. Dans le paysage, les traces de ce paléo-bassin versant, ne sont pas immédiatement évidentes, mais un certain nombre de point hauts, séparées par des lignes de crête, soulignent les limites de cet ancien système d'écoulement fluviatile. Par exemple, sur la *fig. 19*, les limites du paléo-bassin versant suivent la ligne de crête entre Nespouls, puis celle cachée entre Nespouls et la Combe de Ban, pour ensuite venir, par l'est, englober le point d'observation.

RESEAU HYDROGRAPHIQUE ACTUEL ET ANCIEN

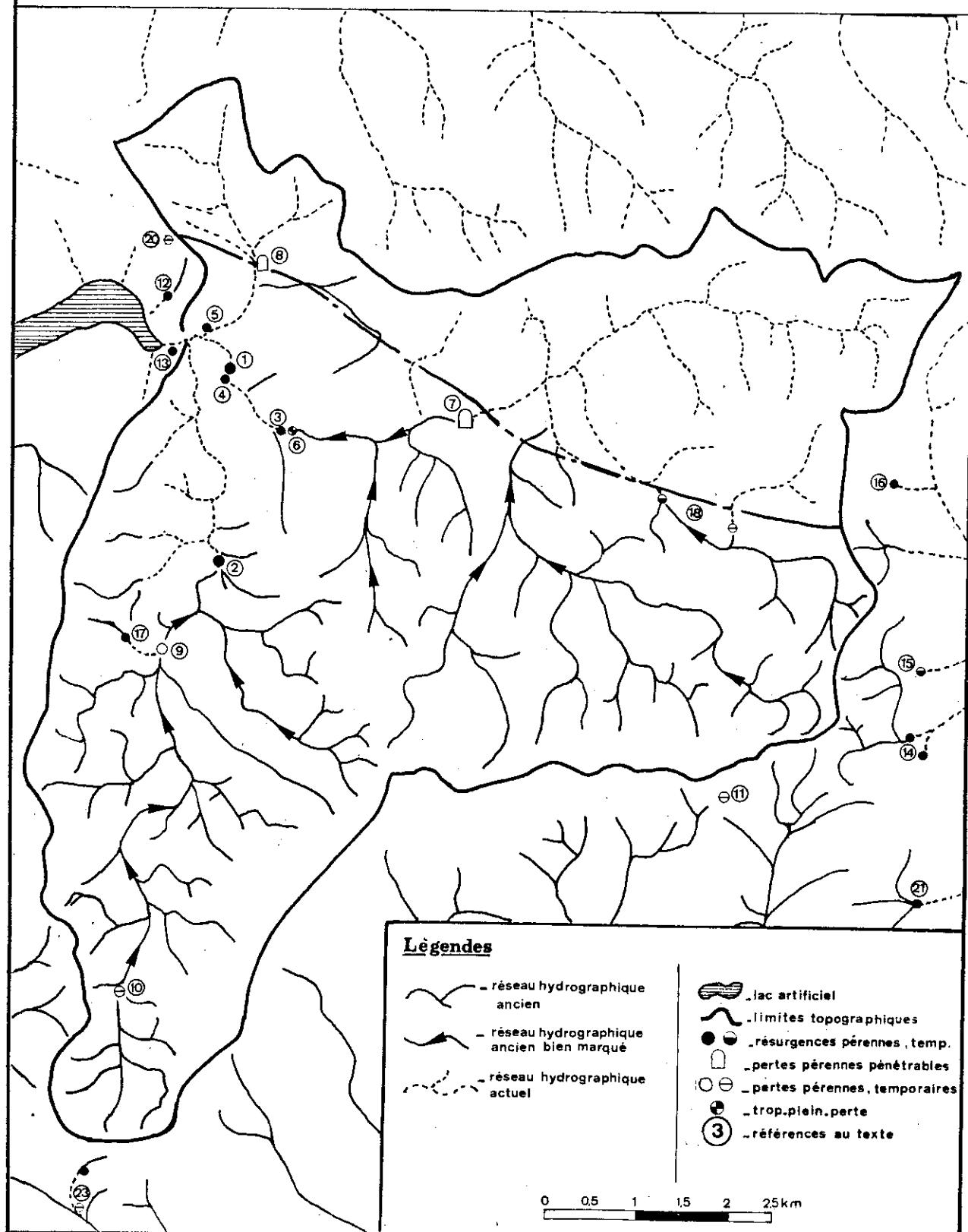


fig: 20 Carte du réseau hydrographique actuel et ancien.

2.4. Synthèse, discussion et conclusion

2.4.1. Synthèse

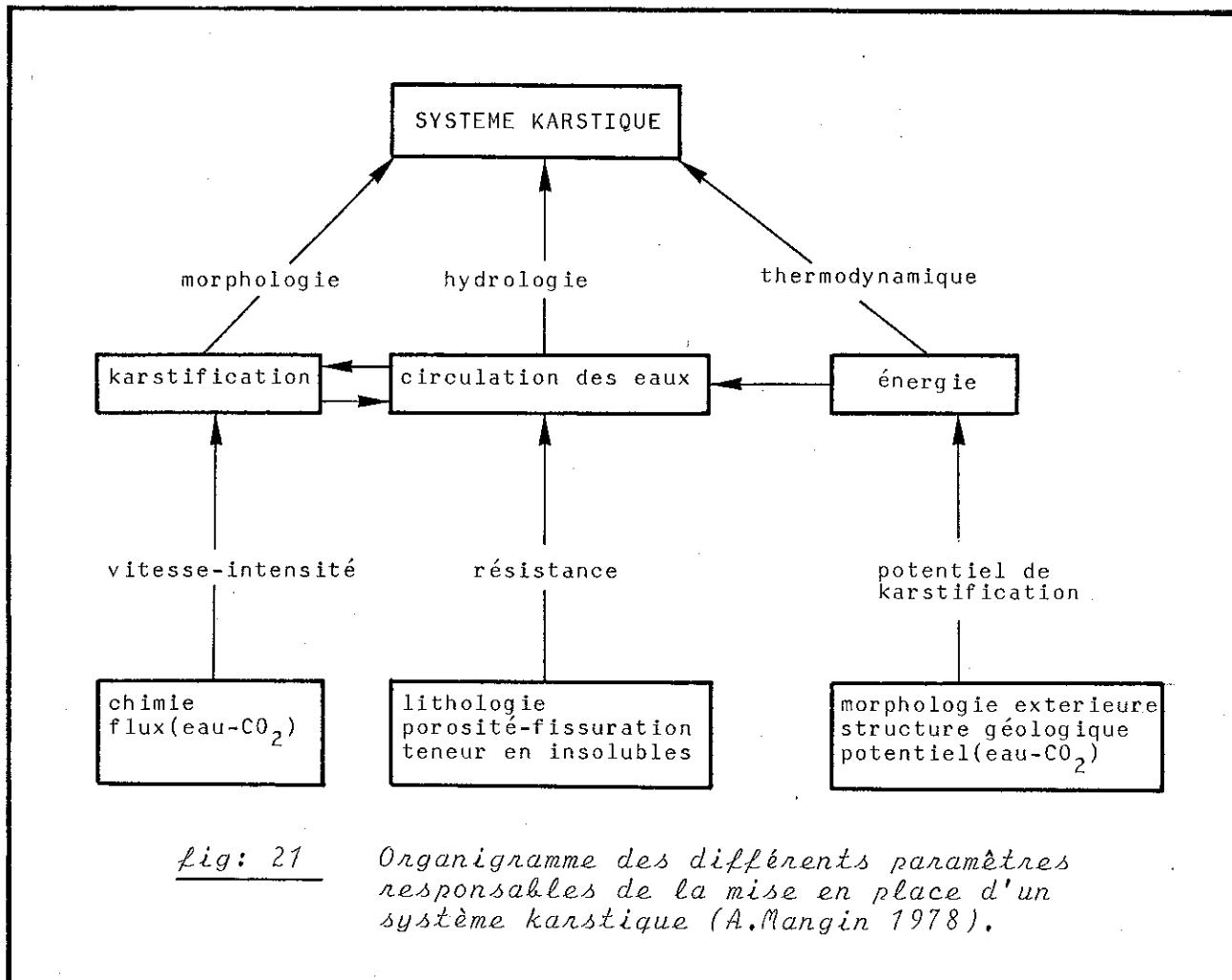
Avant de résumer l'évolution morphologique du secteur étudié, nous pensons qu'il est bon de rappeler brièvement ce qu'est un karst, quelles sont les conditions de sa mise en place et de son évolution.

Nous avons vu au paragraphe II 1.1.7.3. 2^e. que la karstification était un processus physico-chimique qui, par l'organisation des vides, aboutissait à la réalisation d'un système karstique (défini au paragraphe I. 3.1.1, b). Cette organisation des vides, drainant les eaux vers un nombre réduit de sources, détermine un type morphologique particulier appelé karst. Pour qu'il y ait karstification, un certain nombre de conditions doivent être réunies :

1^o Il faut une production de CO₂ suffisante pour permettre la dissolution du calcaire. Le CO₂ est produit, principalement au niveau du sol, par l'activité végétale et biologique (M. Bakałowicz, 1979).

2^o Il est nécessaire que le CO₂ dissous dans l'eau soit transporté en profondeur. Cela ne pourra se faire que s'il existe une fracturation de la roche et un potentiel hydraulique suffisant. Ce seront les conditions aux limites du système intégrant les conditions géologiques, géomorphologiques, et climatiques (A. Mangin, 1983).

On peut alors caractériser un système karstique par sa structure (point de vue morphologique), son fonctionnement (aspect hydrologique) et son évolution (aspect énergétique; A. Mangin, 1983). La *fig. 21* explicite les relations et le rôle des différentes variables. Pour tout système karstique, un état stationnaire d'organisation des écoulements (A. Mangin, 1983) va être atteint. Le degré d'organisation sera plus ou moins important selon les conditions de son établissement (potentiel hydrodynamique, potentiel eau-CO₂, nature de la roche, etc.). Les formes profondes ou de surface, manifestations morphologiques de la karstification, seront bien évidemment liées aux processus thermodynamiques et donc au degré d'organisation des écoulements.



M.Bakalowicz (1979) et A.Mangin (1983) ont montré, en suivant des raisonnements différents, que le temps nécessaire pour atteindre un état stationnaire d'organisation des écoulements, était de l'ordre de 10 000 à 15 000 ans, alors qu'il faut 200 000 à 300 000 ans pour former un réseau de drainage fluviatile.

Lorsque la structure d'un système karstique n'est plus en harmonie avec son fonctionnement (variations climatiques, variations du niveau de base, etc). Deux cas vont se présenter :

1° Les nouvelles conditions aux limites permettent l'établissement d'une nouvelle organisation des écoulements. Les anciennes structures seront délaissées (colmatage possible) ou réutilisées dans le cadre d'une nouvelle structure.

2° Les conditions aux limites ne permettent plus la mise

en place d'un système karstique. Les structures fonctionneront mal, ce qui pourra conduire, surtout s'il existe des apports détritiques extérieurs, au colmatage des vides et à une désorganisation des écoulements souterrain (A.Mangin 1982).

Enfin, ajoutons qu'il est rare qu'un karst colmaté soit entièrement décolmaté par une phase de karstification ultérieure. En revanche, certaines parties d'un paléo-karst pourront être réutilisées par une nouvelle structure. Le polyphasage des structures karstiques complique donc l'interprétation géomorphologique. Dans ces conditions, il convient d'être prudent lors de l'interprétation paléogéographique des formes karstiques.

Compte-tenu de la morphologie actuelle et à la lumière des remarques que nous venons de formuler, nous pouvons esquisser les grandes lignes de l'évolution morphologique du secteur étudié.

La surface d'érosion la plus ancienne que l'on puisse retrouver dans le paysage est celle sur laquelle se sont déposées les formations continentales à faciès sidérolitiques. Cette surface témoigne de la présence d'un relief karstique tourmenté à exokarst très développé rappelant des karsts formés sous climat tropical.

Après l'ennoyage de ce karst par les formations continentales à faciès sidérolithiques une phase de pénéplénation s'est développée sur le Causse de Martel. Il existait d'amples vallées, qui drainaient les eaux vers le nord. L'altitude actuelle des surfaces héritées de cette pénéplaine s'étage entre 290 et 360m.

A cause du manque de critère de datation relative aux différentes phases de karstification, deux hypothèses s'imposent pour expliquer la suite de l'évolution morphologique de cette partie de Causse de Martel:

a) *Les galeries situées à l'altitude 225 - 250m sont les vestiges du système de drainage d'un karst postérieur au karst fossilisé par les dépôts à faciès sidérolithiques.* Dans ce cas, il faut supposer que ces dépôts ont été suffisamment érodés pour que les conditions hydrodynamiques nécessaires à l'établissement d'un karst soient réunies. Ce karst est de toute manière postérieur à la tectonique pyrénéenne puisqu'il s'adapte aux structures de

la Faille de Meyssac. (La grotte du Coustal* se développe le long d'un crochon anticinal de la Faille de Meyssac: cf. photo n° 2)

Ce karst est devenu non fonctionnel, sans qu'un nouveau système de drainage souterrain s'installe, puisque l'érosion fluviatile redevenue dominante érodera plusieurs dizaines de mètres de calcaires (80 mètres aux environs de Lafage). Nous avons remarqué (cf para. II 2.2.2.4. 2°) que le système de drainage karstique existant précédemment est recoupé par ce réseau de vallées (grotte de Lafage, grotte de Murel, grotte de Jaurens). De plus le paléo-niveau de base karstique et le paléo-niveau de base fluviatile sont sensiblement les mêmes. Ce sont les limites des bassins versants de ce drainage fluviatile que nous avons reconstituées au paragraphe II. 2.3.3.

b) *Les galeries situées à l'altitude 225 - 250m sont les vestiges du système de drainage du karst fossilisé par les dépôts à faciès sidérolithiques.* Dans ce cas, le réseau fluviatile de la pénéplaine va s'enfoncer pratiquement sur place. Les ruisseaux en s'individualisant vont constituer un réseau fluviatile dont les vestiges sont les vallées sèches suspendues. Dans ces conditions les bassins versants de ces vallées (reconstitués au para. II.2.3.3.) seront sensiblement les mêmes que ceux de la pénéplaine préexistante.

Dans les deux cas, un brusque abaissement du niveau de base régional, prouvé par les profils en travers de la vallée d'Entrecors, va permettre l'établissement d'un nouveau système de drainage souterrain. Toutefois, dans le second cas (hypothèse b) on peut penser que le décapage des dépôts continentaux a favorisé, conjointement à l'abaissement du niveau de base, l'établissement des circulations souterraines. Ce karst préfigure l'organisation actuelle des écoulements sous le nord du Causse de Martel. D'après l'agencement des galeries du réseau spéléologique de la Couze, mais également d'après les replats trouvés sur le profil en long de la vallée de la Couze, on peut dire que ce karst s'est mis en place en plusieurs étapes, dans le sens d'un enfoncement progressif. A la faveur d'une de ces étapes, la Couze qui à

* L'entrée de cette grotte est située à proximité de la perte de la Couze dans la carrière n°1 de l'étude microtectonique.

cause de son caractère allochtone, continuait à creuser la vallée d'Entrecors, va totalement se perdre dès son contact avec les calcaires (Perte de la Couze n°7 sur les cartes). Durant l'histoire récente de ce karst on remarque une remontée du fond des vallées par alluvionnement. Ceci provoque régionalement une remontée du niveau de base karstique.

Il nous paraît évident que le karst actuel réemploie un certain nombre de paléo-structures karstiques. La présence d'un grand nombre de dolines, de ponors associés à des dépôts à faciès sidérolithiques et la profondeur de ces dolines nous semblent dûs à la réutilisation d'anciennes structures karstiques. En revanche, à l'aval, des paléostructures karstiques sont indépendantes du drainage actuel.

2.4.2. Discussion

Cette discussion portera sur la chronologie absolue des différents évènements morphologiques qui ont marqué cette région. Dans cette partie de Quercy, nous avons peu de repères chronologiques. Ils sont de trois types:

- Les dépôts détritiques à faciès sidérolithiques (datés de manière imprécise).
- Les vestiges paléontologiques du Pléistocène moyen et supérieur, retrouvés dans les comblements de cavités karstiques
- Les mouvements tectoniques liés à l'orogénèse pyrénéenne et alpine (Eocène - Oligocène).

Dans ces conditions, on peut dater le karst ancien d'une période antérieure à l'Eocène puisqu'il est fossilisé par les dépôts à faciès sidérolithique datés, pour les plus anciens, de l'Eocène. Les galeries situées à l'altitude 225 - 250m sont les vestiges d'un drainage karstique postérieur à la tectonique pyrénéenne (*cf. II 2.4.1. a*) et antérieur au Pléistocène moyen puisque à cette période certaines portions de galeries ont été colmatées par des dépôts datés du Pléistocène moyen (Lafage; M. Philippe et al, 1980). Nous avons remarqué au paragraphe II 2.4.1 que le temps nécessaire à l'établissement d'un drainage karstique était estimé à 10 000 ou 15 000 ans. Cette durée est très

courte par rapport aux temps géologiques et donc par rapport à l"intervalle de datation" que nous proposons pour cette phase de karstification. Dans ces conditions les deux hypothèses formulées au paragraphe II 2.4.1 sont aussi plausibles l'une que l'autre. En effet, on peut très bien imaginer que cette phase de karstification s'est développée pendant l'orogenèse pyrénéenne et juste avant les épandages des dépôts à faciès sidérolithiques. De la même manière, on peut penser que le décapage de ces dépôts a été suffisant dès le Pléistocène inférieur pour permettre l'établissement d'un karst. Dans ce cas, le karst aurait pu devenir non fonctionnel, par suite d'une variations climatiques telle qu'une glaciation.

De toute façon, il a donc existé sur le Causse de Martel une longue période pendant laquelle seule une érosion de type fluviatile s'est développée. R.Clozier (1940) date le début de cette érosion au Miocène. Il parle pour cette période de l'établissement de larges "couloirs d'érosion", préfigurant les grands cours d'eaux actuels. Pour B.Gèze (1937), le décapage des dépôts à faciès sidérolithiques ne se serait produit qu'au Pliocène final (Pénéplaine dont nous avons parlé au paragraphe II 2.3. 2°). L'enfoncement et le développement du réseau fluviatile auraient commencé au Pléistocène inférieur et se seraient poursuivis jusqu'au Pléistocène moyen. Dans tous les cas les auteurs s'accordent pour situer le début de l'érosion karstique actuelle au Pléistocène récent (Würm et post-Würm).

2.4.3. Conclusion

La géomorphologie du nord-est du Causse de Martel est donc complexe et polyphasée. La morphologie actuelle porte les traces de ces différentes phases. C'est pourquoi, on rencontre à la fois des dolines et des grottes témoins d'érosions karstiques et des vallons secs témoins d'érosions fluviatiles.

De cette étude géomorphologique, il faut retenir sept conclusions importantes pour l'étude hydrogéologique qui nous intéresse :

1° La structure géologique a toujours joué un rôle prépondérant dans l'établissement des écoulements aussi bien aériens

que souterrains. Ceci est prouvé par la localisation des phénomènes morphologiques observables actuellement.

2° Il existe un ou deux (selon les hypothèses formulées au paragraphe II 2.4.1) paléo-aquifères karstiques partiellement ou entièrement colmatés. On peut estimer que ces vides karstiques colmatés peuvent se rencontrer au-dessus de l'altitude 180-190m. En dessous, il s'agit du karst actuel dont les niveaux supérieurs peuvent également être, en partie, colmatés.

3° Les dépôts à faciès sidérolithiques ont, pendant une longue période, empêché l'établissement d'écoulements karstiques.

4° Les systèmes karstiques actuels, qui se sont mis en place au Quaternaire récent, ont dans le sud du secteur, réactivé des formes et des structures karstiques plus anciennes, qui avaient été ébauchées dès l'ère Tertiaire (Eocène).

5° Depuis le Pliocène les différents réseaux fluviatiles se sont surimposés. Ce phénomène est encore plus marqué pour l'érosion récente - ce qui a conduit B. Gèze (1937) à parler "d'encanyonnement" des cours d'eau principaux - Les limites de ces bassins d'érosion fluviatile semblent être sensiblement les mêmes depuis le Pliocène.

6° Au Quaternaire récent, un colmatage des vallées semble avoir légèrement fait remonter le niveau de base du karst.

7° On remarque que les différentes phases de karstification ont affecté, d'une manière aussi efficace, les calcaires oolithiques du bajocien que les calcaires micritiques du Bathonien.

3. CONCLUSION DU CHAPITRE

Dans le secteur que nous avons étudié, il existe trois grandes unités lithologiques potentiellement aquifères: les grès du Trias, les calcaires et les dolomies de l'Hettangien-sinémurien, les calcaires du Dogger. Le réservoir principal est formé par les calcaires du Dogger. Le mur de cet aquifère est constitué par les marnes du Toarcien. Au nord et à l'ouest, il est limité par des bordures latérales, pratiquement imperméables, liées au rejet des failles de Meyssac et de Chasteaux. Localement, il peut être faiblement alimenté par les autres unités aquifères, ou, comme au nord-est, cette alimentation peut s'inverser.

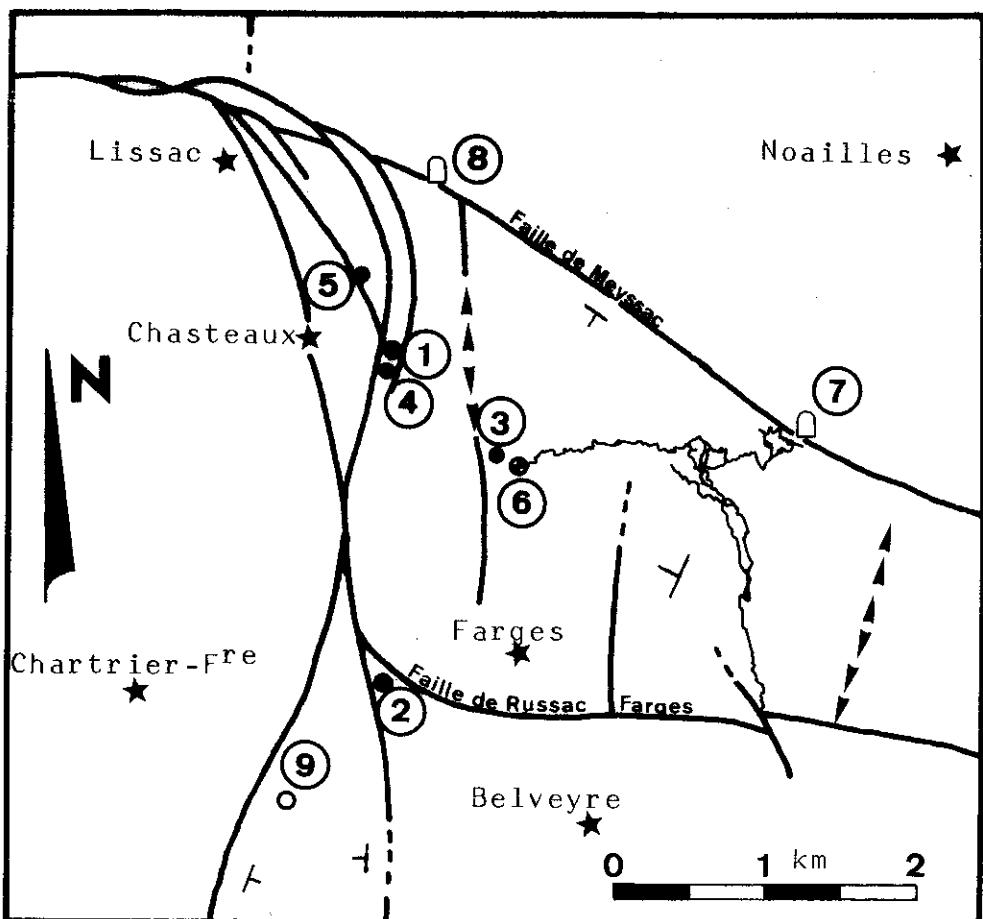
En revanche, le ruissellement sur les formations semi-perméables du bassin de Brive alimente l'aquifère du Dogger par l'intermédiaire de plusieurs pertes (perte de la Couze n°7, perte de l'Esparce n°8). Le réservoir du Dogger peut apparaître relativement hétérogène puisqu'il est formé:

- à la base, de calcaires oolithiques (Bajocien) à porosité et perméabilité de matrice faible, avec une fracturation peu dense, mais continue d'un banc à l'autre.
- au sommet, par des calcaires micritiques à intercalations marneuses ou à passées oolithiques (Bathonien), possédant une porosité et une perméabilité de matrice très faibles. Ces calcaires sont très fissurés mais la fissuration s'interrompt fréquemment au niveau des joints de stratification et des horizons marneux.

Cependant, l'étude géomorphologique a montré que le drainage karstique actuel ou ancien affectait aussi bien les calcaires bajociens que bathoniens. Ceci est dû à l'originalité des aquifères karstiques dont les propriétés réservoirs proviennent de la dissolution du calcaire, par l'eau chargée de CO₂, le long des discontinuités de la roche. Parmi celles-ci, les fractures jouent un rôle prépondérant en permettant à l'eau de dissoudre le calcaire en profondeur (M.Bakalowicz, 1979). Si le potentiel de karstification est suffisant, les écoulements souterrains s'organiseront en "systèmes karstiques", drainant les eaux vers un nombre restreint d'exutoires.

Dans le secteur étudié, comme d'ailleurs dans l'ensemble du Quercy, nous avons dénombré trois familles principales de fracture dont les directions moyennes sont N20°, N110° et N120° - N150°. Cette dernière direction, la moins fréquente, s'est formée lors de la phase orogénique pyrénéenne. Les deux autres, réutilisées par la tectonique pyrénéenne, existaient antérieurement. Ce phénomène se reproduit à l'échelle régionale. En effet, la plupart des grands accidents ont été réutilisés par la tectonique pyrénéenne. De plus, les déformations que l'on peut observer, même si elles sont fortement disharmoniques entre le Bajocien et le Bathonien, sont caractéristiques du niveau

structural supérieur. Enfin, nous avons mis en évidence un certain nombre de blocs peu déformés, séparés par de petites failles, le long desquelles se sont produits des déplacements peu importants. En conséquence, on peut schématiser la structure du secteur étudié par un ensemble de blocs indépendants les uns des autres. Ceux-ci sont coincés au nord et à l'ouest par les Failles de Meyssac et de Chasteaux et leur agencement a été guidé par les différentes phases de raccourcissement de la tectonique pyrénéenne. Nous n'avons pu détailler cette structure qu'aux endroits où existait la limite Bajocien-Bathonien, (assez bon repère stratigraphique) c'est-à-dire au nord du secteur étudié. Ainsi nous avons mis en évidence deux zones faiblement affaissées en forme de gouttière ou de demi-gouttière peu marquées (*cf. fig: 12 et 13.*). Ces structures ont guidé les écoulements anciens et actuels. La *fig: 22* montre la relation entre le schéma structural (partie nord de la *fig: 12* simplifié) et les points d'émergence de l'aquifère karstique ainsi que la partie actuellement topographiée du réseau spéléologique de la Couze. La source du Sorpt (n°2) est située à l'extrême nord de la "gouttière" longeant la Faille de Chasteaux. La source du Blagour se situe à l'extrême ouest d'un bloc affaissé (demi-gouttière) à la limite de la zone complexe engendrée par l'intersection des Failles de Meyssac et de Chasteaux. Les autres sources et pertes, se trouvent toutes à proximité de failles ou de flexures. Enfin, le réseau spéléologique de la Couze, par sa morphologie, montre que la Faille de Russac-Farges a joué le rôle de barrage, formant par rapport aux eaux provenant du sud un niveau de base local fixe. Cette faille joue depuis longtemps ce rôle, puisq'au sud de cette ligne, d'anciennes structures karstiques ont été réemployées par le karst récent. Cette constatation montre l'importance de l'évolution morphologique de ce secteur pour l'étude de l'hydrogéologie actuelle. Cette évolution morphologique a surtout été marquée par le colmatage d'un karst très développé, allant jusqu'à l'ennoyage des calcaires du Dogger sous des dépôts détritiques à faciès sidérolithiques. Ensuite, le Causse de Martel a vu se superposer plusieurs phases d'érosion fluviatiles, sûrement assez longues, dont les bassins versants de la phase la plus récente ont pu être reconstitués. Du fait de cette érosion



- failles
- flexures
- réseau spéléologique
- ● source perenne, trop-plein-perte
- ○ perte pénétrable, impénétrable
- (2) référence au texte

fig: 22: Relation entre le schéma structural, les points d'émergence de l'aquifère karstique et la partie actuellement topographiée du réseau spéléologique de la Couze.

fluviatile et de la reprise au Quaternaire récent de l'érosion karstique, les dépôts détritiques tertiaires ne subsistent qu'en placage ou dans les dolines (souvent des paléo-reliefs karstiques) où ils sont associés à des ponors collectant des eaux ruissellant sur ces formations semi-perméables.

Actuellement on assiste semble-t-il, à une remontée du niveau de base, se traduisant par un empâtement des vallées actives: vallée de la Couze, vallée du Sorpt.

CHAPITRE III

HYDROGEOLOGIE

1. CLIMATOLOGIE

2. HYDROMETRIE

3. DELIMITATION DES DIFFERENTS SYSTEMES KARSTIQUES

4. HYDRODYNAMIQUE

5. HYDROGEOCHIMIE

6. FONCTIONNEMENT ET STRUCTURE DE L'AQUIFERE KARSTIQUE

1 CLIMATOLOGIE

Dans cette région, il n'existe pas de station climatologique. Toutefois, la température est mesurée à Brive et l'insolation à Malemort (*cf. fig. 23*). Les valeurs des précipitations sont fournies par les stations de Brive, Ligneyrac, Coudonnet (Chartrier-Ferrière) et Nespouls. Toutes les autres données climatiques sont celles des stations météorologiques de Limoges (100 km au nord) ou de Gourdon (80 km au sud-ouest).

D'une manière générale, le climat de cette région, tempéré et humide, est de type océanique.

1.1 Les précipitations

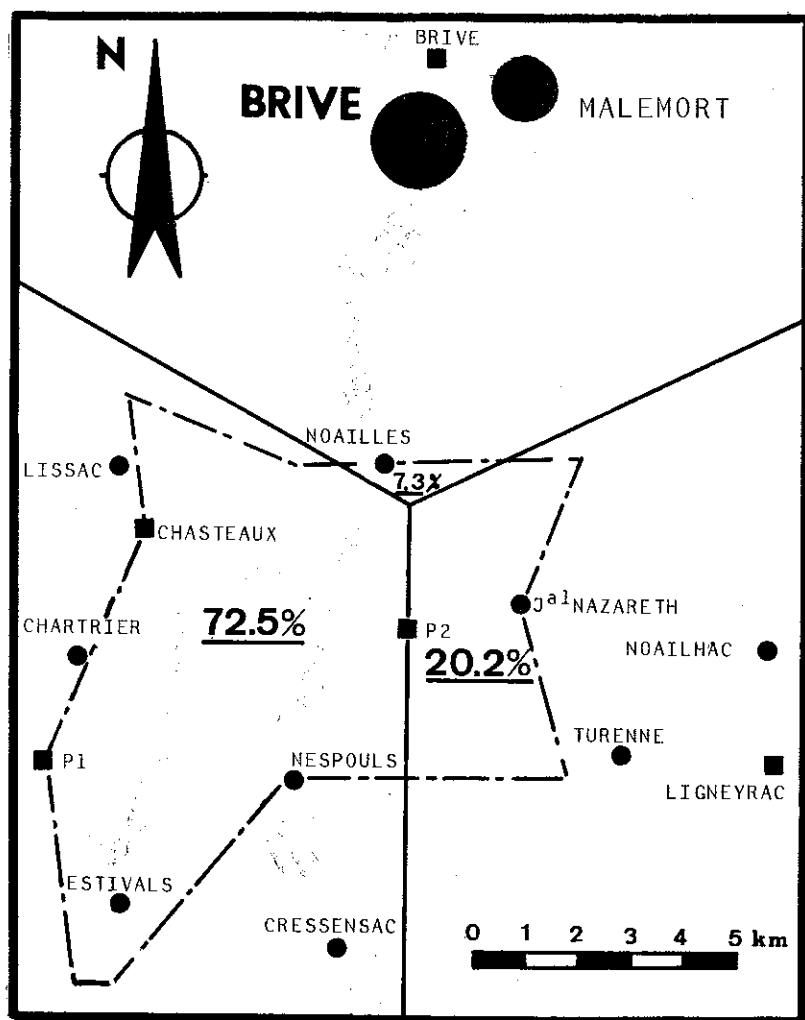
Dans le cadre de ce travail nous utiliserons les données pluviométriques à deux fins:

- 1° Pour estimer la superficie du bassin d'alimentation par calcul du bilan hydrique; dans ce cas, nous emploierons le module pluviométrique interannuel calculé sur une longue période. Ce module devra représenter la pluie moyenne annuelle tombant réellement sur cette région.
- 2° Nous avons vu au chapitre I (*cf. paragraphe I. 3.1*) que nous allions aborder l'étude hydrogéologique du karst à l'aide d'une approche systémique. Dans ces conditions, la pluie journalière sur un cycle ou un ensemble de cycles constitue la fonction d'entrée du système.

1.1.1 Les stations pluviométriques: caractéristiques et situation géographique

Trois organismes possèdent des stations pluviométriques; La Météorologie Nationale, le Service Régional de l'Aménagement des Eaux du Limousin (SRAE Limousin) et le Service Hydrologique Centralisateur. Les stations de ce dernier organisme n'étant pas implantées de manière satisfaisante (en ville le plus souvent) nous ne les avons pas utilisées.

Le calcul de la lame d'eau moyenne annuelle précipitée a été effectué à partir des résultats de trois stations: Brive, Ligneyrac, Coudonnet (Chartrier-Ferrière, Pl).



- Localités
- Stations pluviométriques
- Limites du secteur étudié
- Limites des polygones de Thiessen
- 20,2 %** Poids affectés aux différentes stations

Fig: 23 Localisation des différentes stations pluviométriques et tracé des polygones de Thiessen.

* Station de Brive (gérée par la Météorologie Nationale)

Situation: elle est implantée au nord de l'agglomération de Brive

Altitude: 111m.

Date de mise en service: 1959

Appareillage: pluviographe hebdomadaire à entonnoir de 400cm^2 .

* Station de Ligneyrac (gérée par la Météorologie Nationale)

Situation: dans le bourg de Ligneyrac.

Altitude : 220m

Date de mise en service: 1959

Appareillage: pluviomètre journalier à entonnoir de 400cm^2

* Station de Coudonnet (Pl, Chartrier-Ferrière gérée par le SRAE du Limousin).

Situation: au lieu dit "Coudonnet", au sud du bourg de Chartrier-Ferrière.

Altitude: 295m.

Date de mise en service: 1968

Appareillage: pluviographe hebdomadaire à entonnoir de 2000cm^2

Remarque: Entre 1959 et 1976 la Météorologie Nationale a géré une station située dans le bourg de Chasteaux. Cette station a été supprimée. Les valeurs obtenues étaient nettement plus fortes que celles des stations environnantes (communication orale du Chef du Service de la Météorologie Nationale de Limoges).

Pour mieux apprécier les valeurs journalières des précipitations sur le secteur étudié nous avons installé à partir d'avril 1981 une station pluviographique au lieu dit "Lagleygeolles", commune de Nespouls. Cette station possède les mêmes caractéristiques que celle de Chartrier (P2 sur le *fig.23*).

1.1.2 Résultats des mesures de pluie

Pour le calcul du module pluviométrique interannuels des stations de Brive, Ligneyrac et Coudonnet (P1) ces valeurs sont reportées sur le tableau 5.

BRIVE	LIGNEYRAC	CHARTRIER
896.0 mm	936.1 mm	889.3 mm

Tableau: 5 *Modules pluviométriques brutes pour les stations de Brive, Lignérac et Chartrier; moyennes calculées sur 10 ans.*

Ces modules ont été calculés sur la période allant de 1970 à 1980.

Pour le cycle 1982, la lame d'eau précipitée à Coudonnet (Pl. Chartrier-Ferrière) est de 814,6mm et à Nespouls (P2. Lagleygeolles) de 738,7mm.

La figure 24 présente la répartition mensuelle des précipitations à Nespouls (P2) et à Coudonnet (Pl. Chartrier-Ferrière) pour le cycle 1982, ainsi que les moyennes mensuelles calculées sur la période allant de 1969 à 1982. Cette figure présente également la pluviométrie des années 1970 à 1981.

Enfin, les hauteurs de pluies journalières des stations de Nespouls et de Coudonnet se trouvent en annexe n°III.

1.1.3 Critique des données et calcul de la lame d'eau moyenne précipitée sur le secteur étudié.

Les modules pluviométriques regroupés dans le tableau 5 ne sont pas directement comparables. En effet, la quantité d'eau recueillie par un appareil à entonnoir de 400cm^2 est en moyenne 1,034 fois plus faible que celle recueillie par un appareil à entonnoir de 2000cm^2 (M.Bakalowicz communication orale).

De plus, les valeurs enregistrées par le SRAE du Limousin à Coudonnet doivent être affectées d'un coefficient multiplicateur de 1,03. Cette correction moyenne compense un défaut de tarage de l'appareil. (A.Chinn communication orale).

Les modules pluviométriques obtenus après correction sont rassemblés dans le tableau 6.

BRIVE	LIGNEYRAC	CHARTRIER
926.5 mm	962.7 mm	915 mm

Tableau: 6 *Modules pluviométriques après correction pour ramener la surface de l'entonnoir à 2000cm^2*

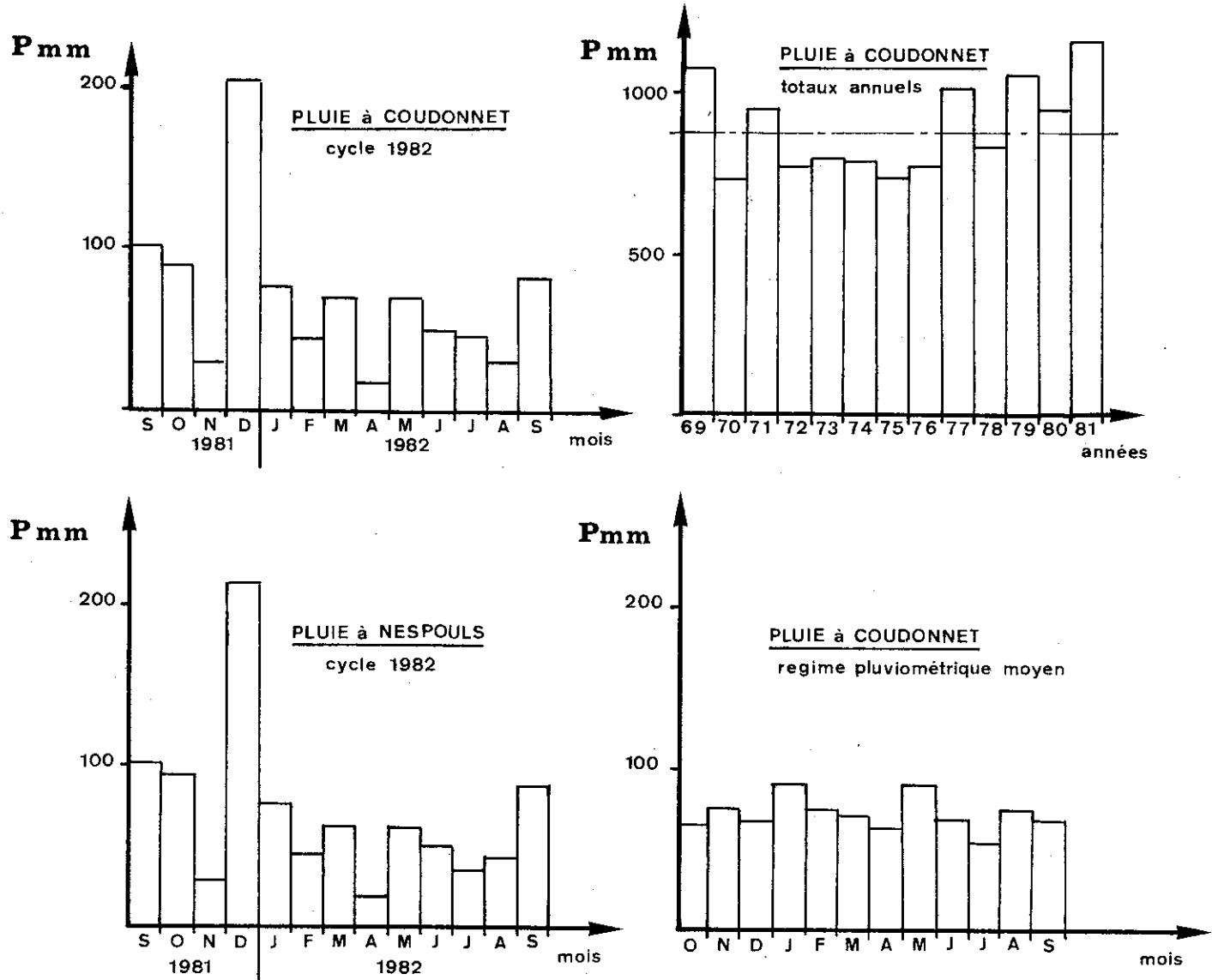


fig: 24

Pluie à Coudonnet (Chartrier) et à Nespouls.
Régime pluviométrique moyen et totaux annuels
de 1969 à 1981.

Ces valeurs représentent la pluie à 1m de sol. La pluie au sol est plus abondante. La valeur du coefficient multiplicateur dépend du type de pluie (pluie fine, averses, averses orageuses, etc...), mais en moyenne, on estime que ce coefficient est de 1,03 (M.Balkalowicz communication orale). Le tableau 7 pré-

BRIVE	LIGNEYRAC	CHARTRIER
953.8 mm	990.8 mm	942.5 mm

Tableau:7

Modules pluviométriques annuels pour les stations de Brive, Lignérac et Chartrier.

sente les modules pluviométriques (pluie au niveau du sol) inter-annuels pour les trois stations considérées.

Pour estimer la lame d'eau précipitée sur le secteur étudié, il faut faire la moyenne pondérée des modules pluviométriques interannuels de Brive, Ligneyrac et Coudonnet. Deux méthodes permettent de calculer le poids à affecter à chaque station :

- La méthode des isohyètes. (Réménieras, 1976). Cette méthode est inapplicable sur le secteur étudié compte tenu du peu de stations dont nous disposons.
- La méthode de Thiessen (Réménieras, 1976). C'est la méthode que nous avons employée. La figure 23 présente les trois zones d'influence des stations et leurs poids respectifs.

Ainsi, on obtient une lame d'eau moyenne interannuelle de 953mm par an.

Remarque: Nous avons vérifié que les variations pluviométriques, sur le cycle 1982, des stations de Coudonnet et de Nespouls étaient bien corrélées. (Coefficient de corrélation =0,938 pour 51 valeurs). Une étude de type "double masse" nous a permis de montrer qu'aucune grosse erreur n'entachait les résultats de ces deux stations.

1.2 Température et ensoleillement

Les températures sous abri normalisé sont mesurées au nord de l'agglomération de Brive à l'altitude de 111m. La température moyenne annuelle est de 11°5. L'insolation en heures et dixièmes est mesurée à Malemort (Corrèze).

Les valeurs de températures et d'insolation relatives au cycle 1982 sont fournies en annexe n°III.

1.3 Evaluation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Pour calculer ce paramètre, nous emploierons deux types de formules. L'ETR journalière relative au cycle 1982 sera obtenue à partir du bilan énergétique alors que l'ETR moyenne interannuelle, servant à l'établissement du bilan hydrique, sera calculée à partir de formules empiriques comme celle de L.Turc.

Deux raisons motivent ce choix:

- 1° La formule appliquée pour le calcul de l'ETR journalière n'est pas adaptée au calcul de l'ETR moyenne interannuelle. En effet, cette méthode nécessite de nombreux paramètres difficiles à rassembler sur de longues périodes. De plus, pour obtenir des résultats corrects, il est nécessaire d'ajuster certaines constantes au lieu étudié (M.Bakalowicz; 1974).
- 2° L'ETR moyenne interannuelle est une grandeur régionale présentant peu de variations (H.Schoeller; 1962). Les formules, telle que celle de L.Turc, en donnent, dans la plupart des cas, une approximation largement suffisante.

1.3.1 ETR journalière sur le cycle 1982

1.3.1.1 Méthode utilisée

Nous avons employé la méthode proposée par R.Hlavek et al (1974) basée sur le calcul du bilan énergétique. Le calcul de l'ETR à partir de l'équation simplifiée du bilan énergétique s'écrit:

$$\boxed{\text{ETR} = \text{RN} - Q}$$

où RN est le rayonnement net et
Q les énergies de convection

Sur un bassin homogène soumis à un climat uniforme, on peut estimer que le terme Q est nul. Le calcul de RN s'effectue à partir de l'équation donnée par Brunt(1939):

$$RN = (1-a)Rg - \sigma T^4 (A - B\sqrt{e}) (0.1 + 0.9 \cdot S/S_0)$$

où * Rg est l'énergie due au rayonnement solaire de courte longueur d'onde.

* a est le rapport de l'énergie réémise à l'énergie reçue de Rg (albédo).

* σT^4 est la radiation théorique du corps noir à la température T en $^{\circ}\text{K}$ (σ =constante de Stéphan-Boltzmann= $1.19 \cdot 10^{-7}$ cal. $\text{cm}^2 \cdot \text{j}^{-1}$).

* e est la tension moyenne de vapeur d'eau dans l'air à la température t en $^{\circ}\text{C}$: $e=U \cdot ew$

où U est l'humidité relative moyenne sous abri, et ew est la tension de vapeur saturante.

* S est l'insolation effective en heures et dixièmes

* S_0 est l'insolation théorique en heures et dixièmes

* A et B sont des constantes qu'il faut réajuster suivant la région étudiée. Nous avons employé $A=0.05$ et $B=0.042$ (M.Bakalowicz;1974).

Rg s'obtient par la formule:

$$Rg = (0.18 + 0.62 \cdot S/S_0) \cdot RgA$$

où RgA est le rayonnement global théorique ("valeur d'Angot")

Comme albédo nous avons employé les valeurs proposées par M.Bakalowicz (1974) pour le bassin de la Diège (Corrèze).

Le Tableau 8 reproduit ces valeurs. Enfin RN est exprimé en $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$. Pour obtenir l'ETR en mm, il faut diviser RN par L , la chaleur latente d'évaporation de l'eau ($L=59 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$).

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0.15	0.15	0.20	0.25	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.20	0.15	0.15

Tableau: 8 Valeurs d'alkédo pour le bassin de la Diège en Corrèze (M.Bakalowicz;1974).

1.3.1.2 Résultats

Nous avons vu que les paramètres nécessaires au calcul de l'ETR journalière par la méthode du bilan énergétique (température moyenne, insolation, humidité relative) ne sont pas mesurées sur le Causse de Martel, mais à sa périphérie. ainsi, dans le calcul, nous avons employé la température mesurée à Brive, l'insolation à Malemort et l'humidité relative à Gourdon (Lot). Dans ces conditions, les valeurs d'ETR journalière obtenues ne pourront être qu'indicatives. Le tableau 9 présente les résultats obtenus pour le cycle 1982. L'ETR annuelle relative à ce cycle est de 574mm.

1.3.2 ETR moyenne interannuelle

1.3.2.1 Méthode utilisée

Parmi les différentes formules empiriques, donnant l'ETR à partir de bilans hydriques menés sur un grand nombre de bassins versants, nous avons employé celle de L.Turc, qui, dans nos régions, donne les meilleurs résultats (G.Castany;1968).

Selon L.Turc:

$$\text{ETR} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

où * P est le module pluviométrique en mm

$$* L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$$

avec T la température moyenne du lieu en °C

JOUR	JANU.	FEVR.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCTO.	NOV.	DEC.
1	.2	0.0	.7	1.4	1.5	3.4	4.3	2.0	2.3	.9	.1	0.0
2	.2	0.0	.7	1.2	2.1	2.4	3.1	2.1	2.4	.9	0.0	0.0
3	.2	.4	.8	1.2	1.5	1.6	2.8	4.1	2.0	.9	0.0	0.0
4	.2	.5	.8	2.5	2.0	3.4	2.3	3.8	2.1	.9	.2	.2
5	0.0	.4	.8	2.6	1.7	3.9	3.0	3.5	2.0	1.0	.5	0.0
6	.2	.4	.8	1.9	2.9	3.3	3.2	2.0	2.1	.9	0.0	.2
7	0.0	.4	.9	2.0	2.6	3.7	4.3	2.1	1.5	.9	0.0	.2
8	0.0	0.0	.6	2.7	2.6	3.7	2.4	1.7	1.2	.8	0.0	.2
9	0.0	.5	.9	2.3	2.5	1.7	1.8	2.4	1.2	.8	0.0	0.0
10	.2	.1	.9	1.7	2.2	3.2	1.8	2.9	1.9	.8	0.0	.2
11	0.0	0.0	.8	1.9	1.5	4.0	1.8	2.8	1.6	.6	0.0	.2
12	.2	0.0	1.0	2.5	1.6	4.1	2.2	3.0	1.1	.8	.4	.2
13	0.0	0.0	1.1	2.6	1.8	4.1	2.0	3.4	1.4	.7	.4	.2
14	.3	0.0	1.0	2.4	0.1	4.0	3.6	3.5	1.2	.7	0.0	.1
15	.3	0.0	1.4	2.9	3.6	4.0	2.3	3.7	1.9	.7	0.0	.2
16	.3	.2	1.0	2.4	2.1	3.4	1.8	3.2	1.6	.5	0.0	.2
17	.1	.3	1.4	3.2	3.9	3.5	2.2	3.0	1.8	.2	0.0	.2
18	0.0	.3	1.0	3.2	3.8	3.1	3.3	3.1	1.0	.2	0.0	.1
19	.3	.6	1.6	3.3	3.3	3.4	3.2	3.1	1.1	.6	0.0	0.0
20	0.0	.5	1.5	2.2	2.5	2.3	2.3	2.6	1.4	.6	0.0	0.0
21	.3	.6	1.5	2.8	1.7	3.5	3.5	3.1	1.0	.3	0.0	.2
22	.3	.7	1.4	3.2	2.9	3.2	2.1	3.2	1.0	.5	0.0	.2
23	0.0	.7	1.1	3.0	0.1	2.2	3.6	2.2	1.4	.5	0.0	.2
24	0.2	.7	1.4	3.6	2.5	2.6	3.1	2.8	1.3	.4	.2	.2
25	.4	.7	1.6	1.6	2.1	1.7	2.9	2.9	1.0	.6	0.0	0.0
26	0.0	.7	1.9	2.4	2.1	2.2	2.9	2.7	.9	.6	0.0	0.0
27	0.0	.8	1.8	2.5	2.6	1.7	3.4	2.2	1.0	.5	0.0	.2
28	0.0	.9	1.1	3.5	1.7	1.8	4.2	2.8	.9	.4	.0	.2
29	0.0	0.0	1.4	3.3	3.3	2.6	3.9	2.9	1.1	.2	.2	0.0
30	0.0	0.0	2.2	1.6	4.8	3.6	3.7	2.5	1.0	.5	.3	.2
31	0.0	0.0	1.4	2.5	3.3	1.3	1.3	1.3	0.5	0.5	0.2	0.2

ETR

annee:1981

JOUR	JANU.	FEVR.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCTO.	NOV.	DEC.
1	0.0	0.0	.7	1.2	1.5	2.8	1.8	3.1	2.3			
2	.1	0.0	.7	1.7	2.3	3.5	3.0	1.5	1.3			
3	0.0	.1	.5	2.4	3.4	3.6	2.1	1.6	2.6			
4	.1	0.0	.9	2.2	1.6	2.0	4.5	1.6	2.3			
5	.2	0.0	.8	2.2	2.0	3.8	4.3	2.8	1.9			
6	.2	0.0	.8	1.5	2.5	3.6	4.4	2.6	1.6			
7	.2	0.0	.8	2.7	3.3	2.8	4.5	2.6	1.3			
8	0.0	.2	.9	1.6	2.5	3.9	4.1	2.4	1.7			
9	0.0	.1	.8	2.6	2.7	3.2	2.4	3.2	2.2			
10	.2	0.0	.9	2.9	3.6	2.7	4.4	3.0	1.8			
11	.1	.1	1.0	2.9	3.6	1.7	4.0	3.7	1.7			
12	0.0	0.0	.9	3.0	3.3	2.9	3.6	3.3	3.3			
13	0.0	.5	1.1	3.0	3.5	3.2	4.3	1.6	1.3			
14	0.0	.4	1.4	3.0	3.3	2.1	2.5	3.4	1.7			
15	0.0	.2	1.2	2.9	3.4	2.7	3.2	1.9	1.4			
16	0.0	.5	1.0	2.3	2.1	3.6	3.3	2.1	1.4			
17	0.0	.6	1.1	3.0	3.7	3.5	2.2	2.2	1.4			
18	0.0	.6	1.3	2.9	1.8	2.5	4.0	3.0	1.4			
19	0.0	.7	1.0	3.1	3.5	3.8	3.6	2.1	1.4			
20	.3	.5	1.0	3.5	1.9	3.2	3.1	1.5	1.4			
21	.2	.5	1.0	3.4	3.8	2.6	3.2	2.8	1.3			
22	.3	.7	1.1	3.5	2.1	3.4	2.4	2.8	1.2			
23	0.0	.6	1.3	3.4	1.7	3.8	2.8	2.2	1.0			
24	0.0	.7	1.5	3.4	3.1	3.7	3.4	2.8	1.0			
25	0.0	.7	1.9	2.8	4.1	1.9	3.6	3.0	.9			
26	.4	.8	1.8	3.4	3.4	3.0	3.8	1.5	1.0			
27	.4	.8	1.3	3.2	1.7	2.8	3.3	2.0	1.0			
28	0.0	.8	1.2	3.5	2.5	1.8	3.3	2.5	.9			
29	.4	2.3	3.4	3.5	3.6	3.6	1.7	2.8	.9			
30	.4	1.5	3.3	3.2	3.9	2.9	2.6	2.4	1.0			
31	.4	1.2		3.4		2.3		1.8				

ETR

annee:1992

Tableau : 9

Valeurs d'ETR journalières pour les années
1981 et 1982 (cycle 1982)

1.3.2.2 Résultats

Pour estimer l'ETR moyenne annuelle, nous avons pris comme module pluviométrique annuel 953mm et comme température moyenne 10,5°C. Cette valeur est celle de Brive minorée de 1°C pour tenir compte de la différence d'altitude entre la station et la surface du plateau calcaire.

Dans ces conditions:

$$\boxed{\text{ETR moyenne annuelle} = 527\text{mm}}$$

Il est bien évident que cette valeur n'est qu'une bonne approximation de l'ETR annuel moyen. A titre indicatif L. Turc estime que l'écart relatif est inférieur à 10% dans 43% des cas et à 20% dans 65,5% (in G. Remenieras; 1976)

1.4 Synthèse climatique

La lame d'eau moyenne précipitée sur le secteur pour le cycle 1982 est de l'ordre de 870mm (en tenant compte des différentes corrections). Cette valeur est légèrement en dessous de la moyenne interannuelle.

La répartition des précipitations au cours du cycle 1982 est très irrégulière (*cf. fig. 24*). Après de fortes précipitations en automne (septembre-octobre) et un mois de décembre exceptionnellement pluvieux, le printemps et l'été ont été très secs.

La température moyenne à Brive, pour le cycle 1982, est de 12°C. Elle est de l'ordre de grandeur de la température moyenne annuelle: 11,5°C.

Le temps d'insolation en heures pour le cycle 1982 est de 1909 heures. Il est nettement plus important que la moyenne interannuelle (1814 heures: J. Pinaud 1979)

L'ETR pour le cycle 1982 semble un peu plus forte que la moyenne. Cependant, ce résultat doit être utilisé avec prudence puisque l'ETR relative au cycle 1982 et l'ETR interannuelle n'ont pas été calculées avec la même méthode.

En conclusion, le cycle 1982 est caractérisé par un contraste pluviométrique important entre l'hiver et l'été. Cependant les différents paramètres sont proches des moyennes interannuelles.

2. HYDROMÉTRIE

2.1. Estimation des débits

2.1.1. Généralités

Les chroniques de débits d'un cours d'eau ($Q=f(t)$) sont déduites de l'observation ou de l'enregistrement des fluctuations du niveau d'un plan d'eau ($H=f(t)$) à une station de jaugeage. La relation entre le débit, Q , et la hauteur du plan d'eau, H , est la courbe de tarage $Q=f(H)$ (ou $H=f(Q)$), elle doit être biunivoque ($Q_1 \rightarrow H_1$, $H_1 \rightarrow Q_1$). Cette relation, établie pour une longue période, est construite expérimentalement par jaugeages des débits pour des hauteurs limnimétriques différentes.

La hauteur relative du plan d'eau est évaluée grâce à une échelle limnimétrique et ses variations sont enregistrées en continu par un limnigraphé ou un capteur de pression.

Différentes techniques permettent de jauger les cours d'eau. Parmi elles, deux sont plus couramment employées; les jaugeages au moulinet, les jaugeages chimiques par dilution.

Pour obtenir une courbe de tarage biunivoque, durable et précise, il est nécessaire de choisir avec soin la station de jaugeage.

Trois conditions doivent être respectées:

- 1^o Il doit exister en aval de la station un ou plusieurs ressauts hydrauliques garantissant la dépendance des variations limnimétriques aux seules variations du débit.
- 2^o La géométrie du ou des ressauts ne doit pas varier dans le temps (détarage de la station).
- 3^o Il doit exister à proximité de la station une section de ruisseau où l'on puisse effectuer des jaugeages pour toutes les hauteurs limnimétriques (section de jaugeage).

Dans le secteur que nous avons étudié, ces trois conditions sont difficiles à respecter. En effet, à cause de l'empâtement des vallées, signalé au *paragraphe II.2.2.3*, les cours d'eau présentent peu de ressauts hydrauliques. De ce fait, les courbes de tarage sont influencées par des phénomènes parasites (éclusage aval sur des bassin de piscicultures ou prises d'eau diverse). De plus, en crue l'ensemble de la vallée est souvent inon-

dé, interdisant tout jaugeage. Enfin, la prolifération d'herbes aquatiques modifie sensiblement la géométrie du seuil (ressaut hydraulique) pendant la période estivale.

Malgré ces difficultés, nous avons installé ou réutilisé quatre stations limnigraphiques et six stations limnimétriques.

2.1.2 Méthodes de jaugeages

Nous avons employé les jaugeages au moulinet et les jaugeages chimiques par dilution (méthode globale).

Les jaugeages au moulinet exigent l'existence d'une section de cours d'eau où l'écoulement est laminaire, à filets d'eau parallèles. Les jaugeages en hautes eaux nécessitent la construction d'une passerelle.

Les jaugeages chimiques par dilution (méthode globale) impliquent un bon brassage entre les points d'injection et de prélèvement. Les fuites ou les dérivation, avant que le mélange soit effectif, limitent l'emploi de cette méthode. De plus, en hautes eaux, les quantités à injecter sont importantes.

2.1.2.1 Les jaugeages au moulinet

Nous avons employé la méthode classique qui consiste à mesurer la vitesse des filets d'eau à différentes profondeur, le long de profils verticaux, eux-même répartis le long d'un profil en travers du ruisseau. Les différentes verticales sont repérées par rapport à l'une des berges.

Par intégrations successives, on obtient le débit du ruisseau avec une précision moyenne de l'ordre de $\pm 10\%$. Les valeurs de débit en basses et en hautes eaux sont, le plus souvent, les moins précises. Le dépouillement des jaugeages a été, soit mécanique, pour les jaugeages effectués par le SRAE du Limousin, soit manuel, pour les jaugeages effectués par nous même (emploi d'un planimètre). Le matériel de terrain utilisé dans les deux cas est de même type.

2.1.2.2. Jaugeages chimiques par dilution (méthode globale)

Nous avons employé la méthode globale par intégration présentée dans le cahier du CETEGREF n°28 (1977).

La théorie de cette méthode est basée sur la conservation de la masse de colorant. Ainsi, si on injecte en un point I d'un ruisseau, une masse M de colorant ($M = V \cdot C$ où V est le volume injecté et C la concentration en colorant du liquide injecté), en un point P situé à l'aval, on doit retrouver la même masse de colorant. De plus, il faut qu'il y ait un bon mélange entre la point d'injection et le point de prélèvement. (absence d'eaux mortes - un essai fluo. pourra être fait). Au point, P, la masse M , a pour expression (fig. 25):

$$M = \int_0^{\infty} Q \cdot C(t) dt$$

Le débit Q de la rivière étant considéré comme constant pendant la durée du jaugeage, on obtient:

$$M = Q \cdot \int_0^{\infty} C(t) dt$$

$$Q = \frac{M}{\int_0^{\infty} C(t) dt} = \frac{C \cdot V}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$$

où *V est le volume de colorant injecté
*C est la concentration en colorant du liquide injecté au point I.
*C(t) est la concentration en colorant au temps t, de la rivière au point P

Une simplification à cette formule peut être apportée en échantillonnant un même volume d'eau à un pas de temps régulier Δt , en P. De cette manière en estimant le temps T de passage du colorant et c représentant la concentration moyenne de ces différents échantillons, on obtient:

$$Q = \frac{V \cdot C}{T \cdot c} = \frac{V}{T} \cdot \frac{1}{c}$$

La figure 25 synthétise la signification des différents paramètres.

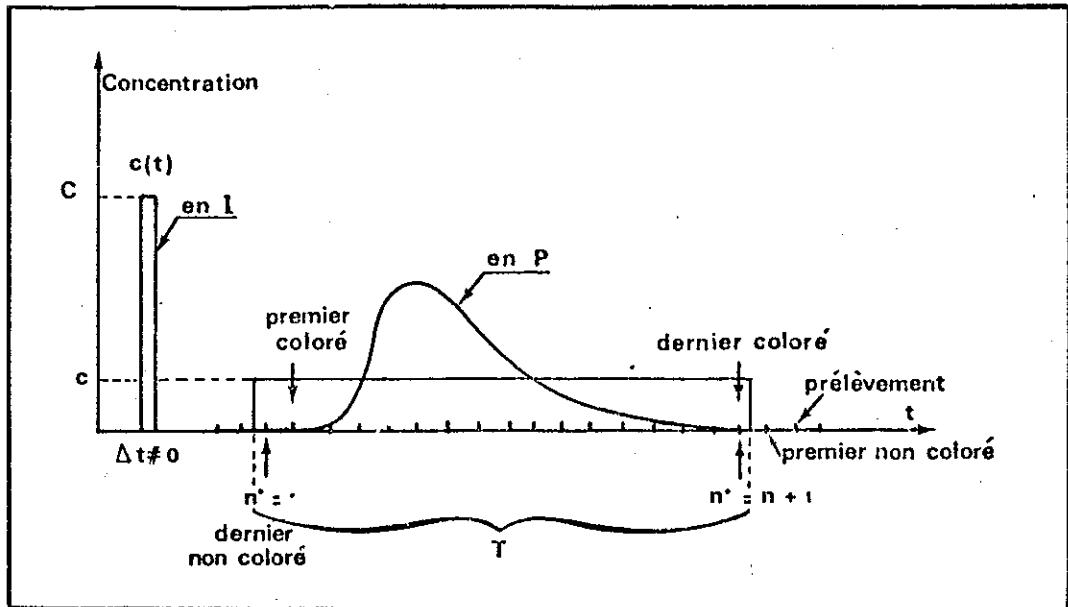


fig: 25 Schéma permettant de déterminer les différents paramètres du calcul de débit par jaugeage chimique (in cahier du C.E.T.E.G.R.E.F n° 28-1977)

Dans ces conditions $\frac{c}{C}$ est la concentration relative moyenne, dans la rivière, du colorant injecté. Ainsi, le dépouillement pourra être effectué à l'aide de dilutions préparées à partir de la solution mère.

Le terme T est estimé par la formule:

$$T = (n + 1) \cdot pt$$

où * n est le nombre d'échantillons colorés recueillis;

* pt (secondes) est l'intervalle de temps constant séparant deux prélèvements consécutifs.

Comme colorant nous avons utilisé la Tartrazine (colorant alimentaire E 102) qui est directement détectable au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 430nm.

La précision de cette méthode, facile de mise en œuvre, est du même ordre de grandeur que pour les jaugeages au moulinet (dans les conditions où nous les avons effectués). Toutefois, elle est inutilisable en hautes eaux. De plus, il est important de s'assurer qu'il n'existe aucune fuite ou dérivation entre le point d'injection et de prélèvement.

2.1.3 Présentation et critique des stations limnigraphiques et limnimétriques

2.1.3.1. Les stations équipées d'un limnigraph

a) La Couze au Soulier (station C sur la figure 26).

Cette station gérée par le SRAE Limousin depuis 1970 est équipée d'un limnigraph hebdomadaire. Elle est implantée sur le ruisseau "la Couze" immédiatement après la confluence des ruisseaux du Blagour et du Sorpt (cf. photo 3). De ce fait, à partir des données de cette station, on peut connaître la somme des débits de toute les sources de l'aquifère karstique (cf. paragraphe II 2.2.2.6). L'impluvium de cette station comprend donc plusieurs bassins :

- Le bassin d'alimentation sur les calcaires du Dogger;
- Les bassins versants des ruisseaux se perdant le long de la faille de Meyssac (perte de la Couze n°7, perte de l'esparce n°8 cf. Annexe 1)
- Les petits bassins versants des rus coulant sur les formations liasiques à l'ouest de la faille de Chasteaux (cf. carte n°1).

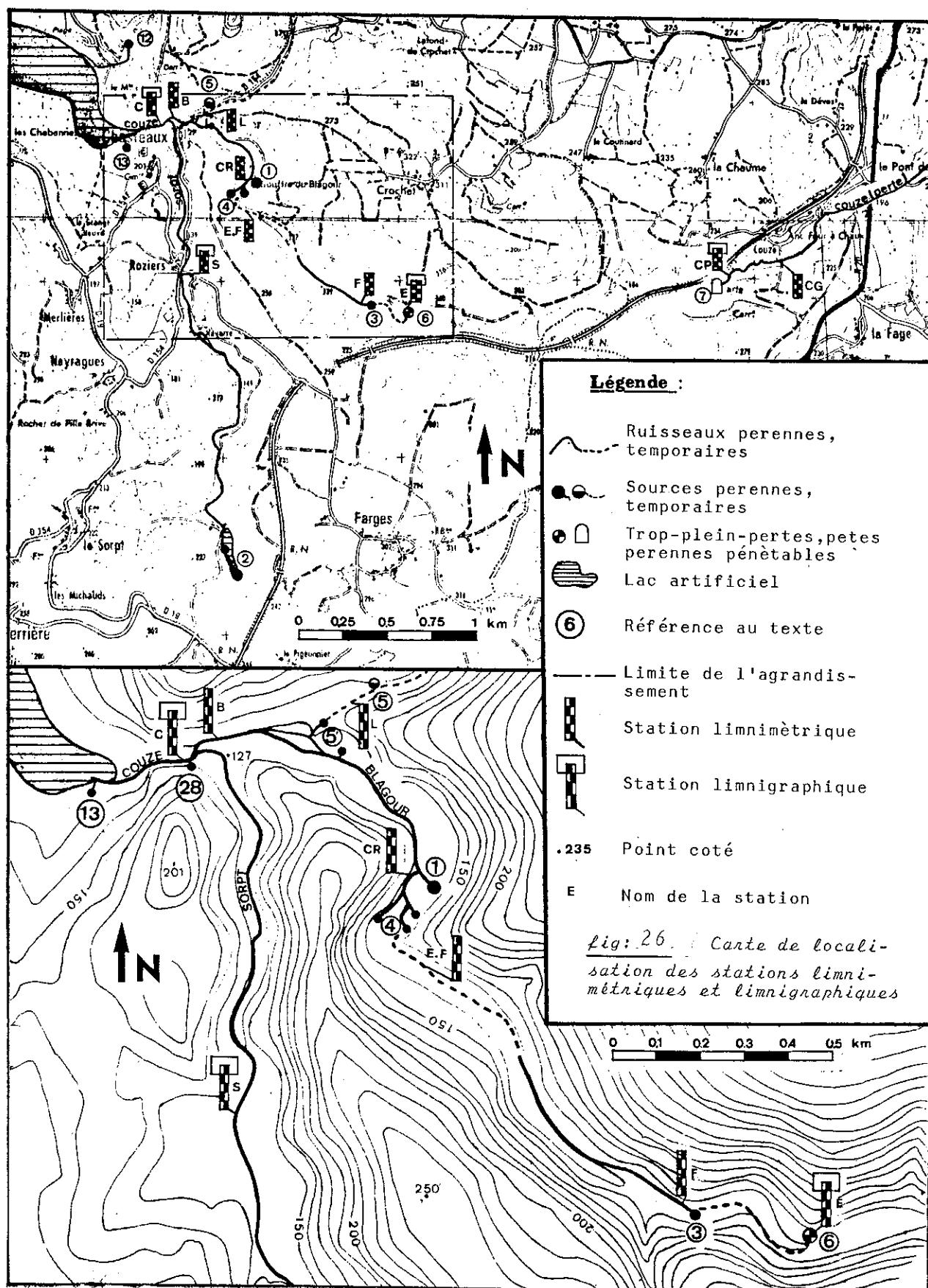
La section de contrôle est naturelle. La fig 27 présente la courbe de tarage obtenue pour le cycle 1982. Les valeurs numériques sont regroupées dans le tableau 10. Nous venons

N°	Hauteur	Débit	N°	Hauteur	Débit
1	0.46	0.630	9	0.50	0.565
2	0.55	1.170	10	1.045	6.900
3	0.47	0.615	11	1.39	12.800
4	1.345	12.400	12	0.52	0.905
5	0.955	5.650	13	0.575	1.270
6	1.01	6.700	(14)	0.73	2.670
7	0.44	0.354	(15)	0.65	1.989
8	0.43	0.262			

Tableau:10. Valeurs numériques de la courbe de tarage de la station limnigraphique du Soulier (Couze).

() Jaugeages effectués en 1980 par le SRAE
Débits en m^3/s

de voir que la précision des débits obtenus par jaugeage est de l'ordre de $\pm 10\%$. De ce fait, lors de la construction de la



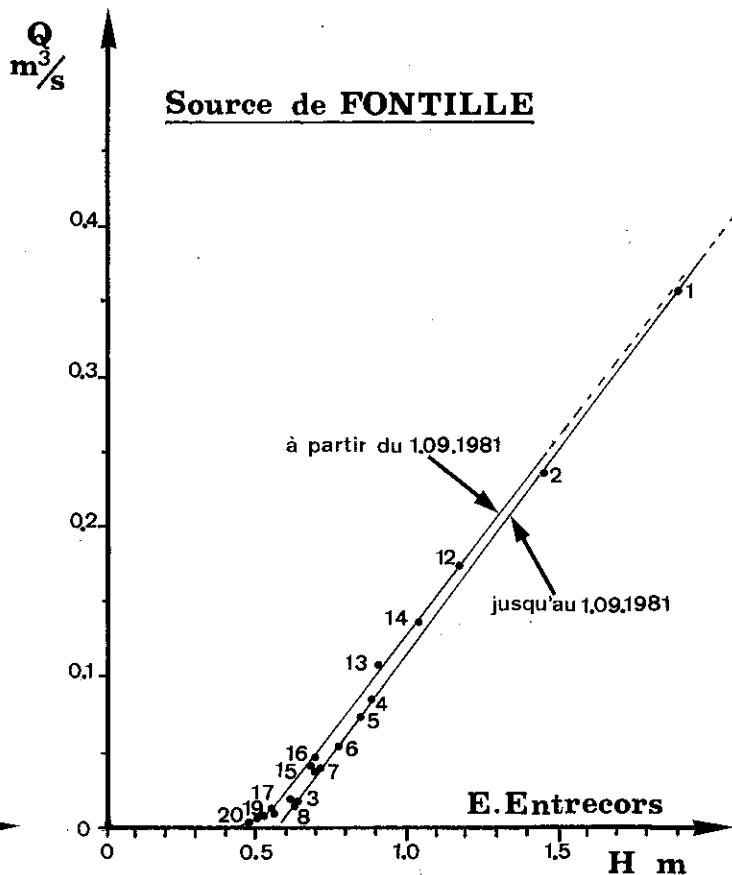
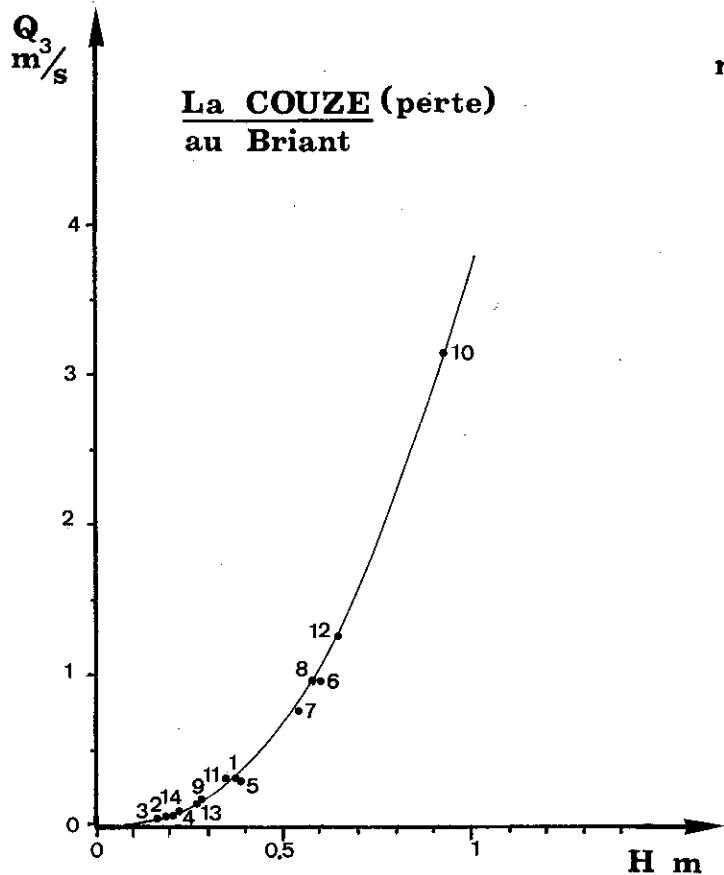
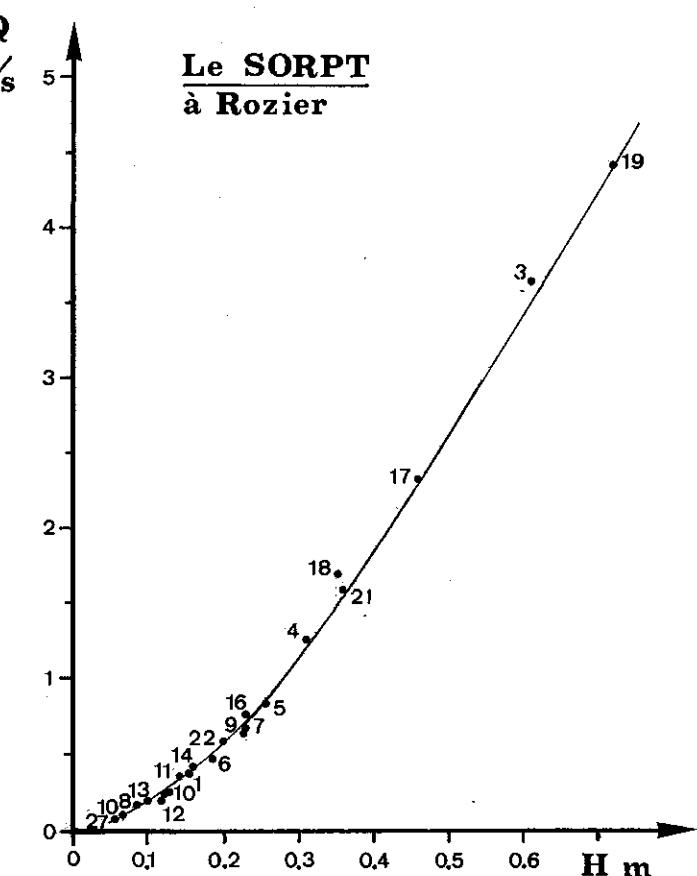
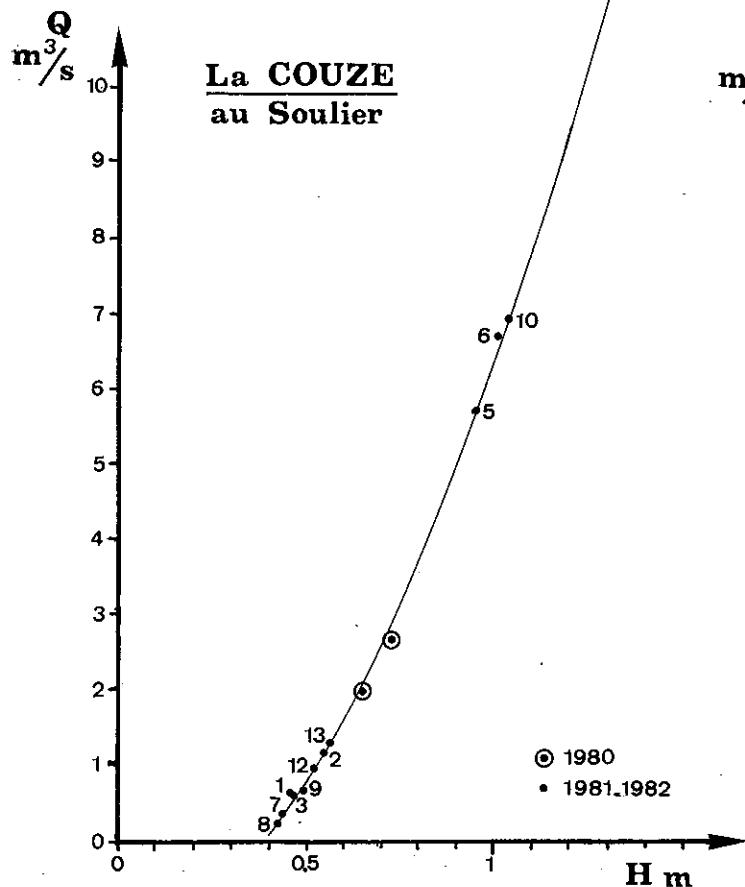


fig: 27

Courbes de tarage des stations limnigraphiques du Soulier, de Rozier, du Briant, de Fontille.

courbe de tarage les différents points présentent une certaine dispersion. On suppose que l'erreur est aléatoire (répartition normale). Lors de la construction du graphique on cherche à minimiser cette erreur en ajustant au mieux la courbe de tarage au nuage de points. En plus de cette erreur chaque station possède une certaine sensibilité aux variations du niveau de la ligne d'eau ($\pm 1\text{cm}$ sur les limnigraphes utilisés).

Graphiquement, on peut estimer la précision relative des débits obtenus à partir de cette courbe, à 7% en basses eaux et à 5% en hautes eaux.

En étiage, de nombreux fauquardages ont été nécessaires pour obtenir une courbe de tarage biunivoque.

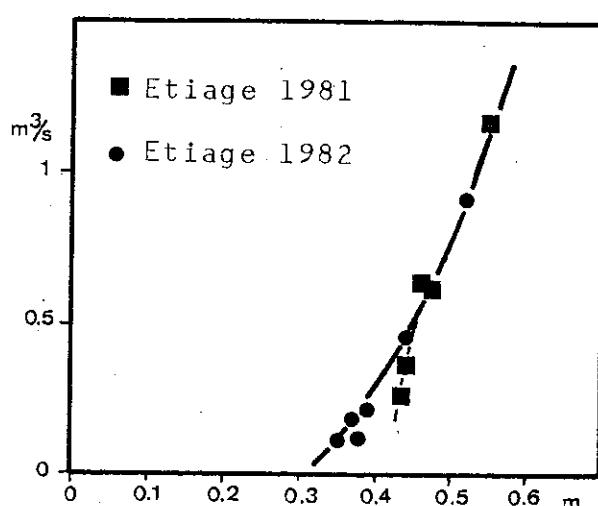


fig: 28 Courbes de tarage de la Couze au Soulier, sans fauquardage en 1981, avec fauquardage en 1982

La *fig.28* présente les courbes de tarage obtenues en 1981 sans fauquardage et en 1982 avec fauquardage pour les débits d'étiage.

Les vannages des différentes retenues situées à l'amont de la station perturbent le régime de la Couze. Le procédé de dépouillement employé par le SRAE du Limousin (programme ARHMA3) semble ne pas tenir compte de ces vannages. De ce fait, un bruit de fond est introduit aussi bien en hautes eaux qu'en étiage, sur les débits moyens journaliers de la Couze au Soulier, pour les 10 années de données disponibles. Sur le cycle 1982 nous avons "lissé" graphiquement les limnigrammes de manière à éliminer ce bruit de fond. Ce problème a également été rencontré à la

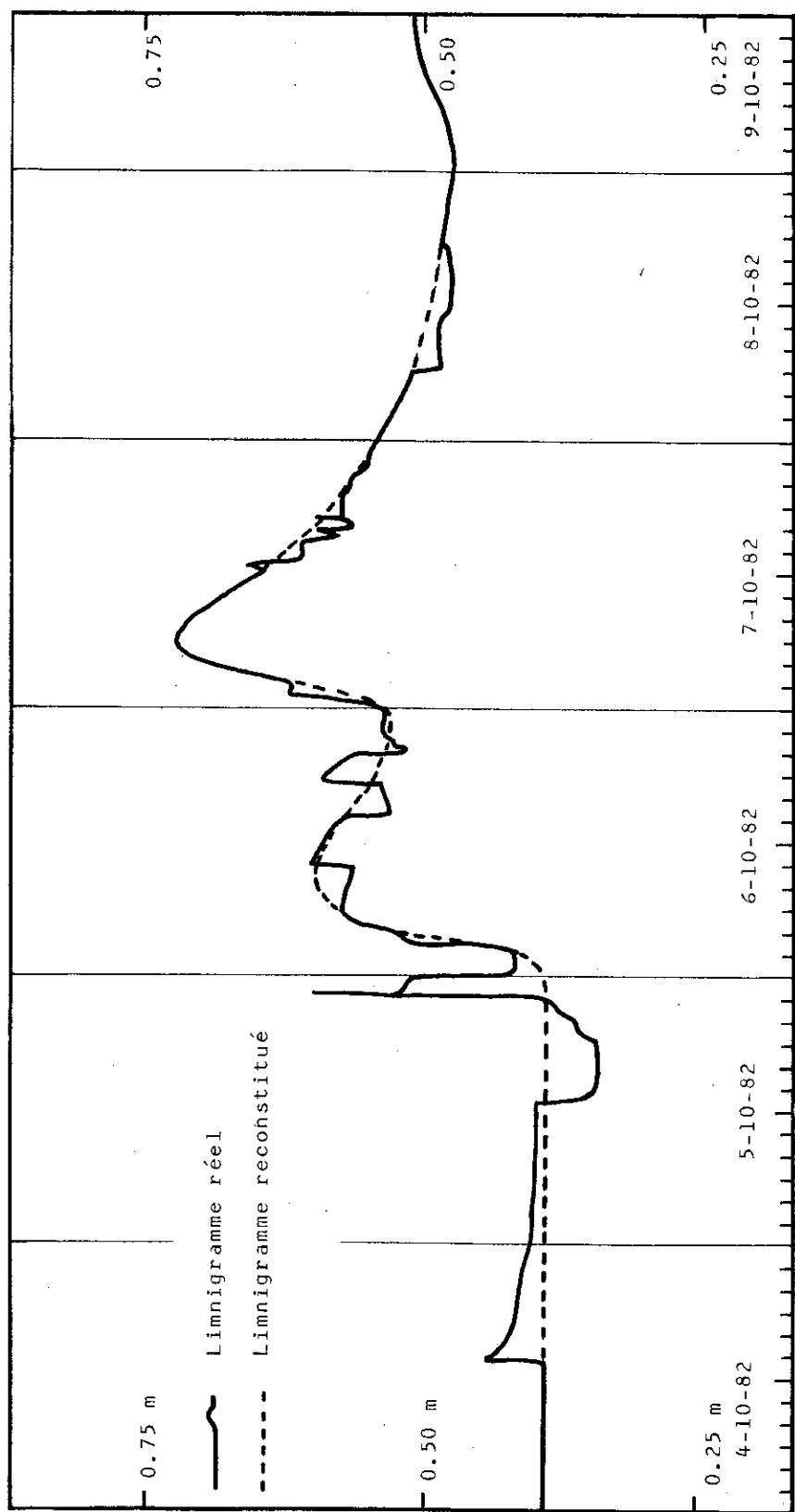


fig: 29 Exemple de limnigramme reconstitué; Le lac de Rozier (Crue du 6-10-1982)

station du Sorpt à Rozier. La *fig. 29* présente un limnigramme perturbé par des vannages et le lissage effectué.

b) Le Sorpt à Rozier (station S sur la *fig. 26*)

Nous avons réutilisé les équipements d'une ancienne station limnigraphique gérée pendant quelques années par la DDA de la Corrèze (cf. photo 4). Cette station est équipée d'un limnigraphhe hebdomadaire identique à celui utilisé à la station C. Pour l'étude hydrogéologique que nous avons menée, il aurait été préférable de mesurer les débits plus près de la source, mais aucun site entre la source et le village de Rozier ne permettait de mesurer avec une bonne précision à la fois les débit d'étiage et de hautes eaux.

De ce fait, l'impluvium correspondant aux débits mesurés à cette station représente plusieurs bassins :

- le bassin d'alimentation de la source du Sorpt;
- les bassins versants des petits rus coulant sur les formations liasiques à l'ouest de la faille de chasteaux;

Une petite digue forme la section de contrôle de cette section. A proximité, il n'existe pas de bonne section de jaugeage au moulinet, surtout en crue et en étiage. De ce fait, les débits de crue ont été jaugés 1km en amont de la station. Les débits d'étiage ont été obtenus par jaugeages chimiques. La *fig. 27* présente la courbe de tarage construite pour le cycle 1982. Le tableau 11 fournit les valeurs numériques.

N°	Hauteur	Débit	N°	Hauteur	Débit
1	0.155	0.380	13	0.100	0.192
2	0.12	0.168	14	0.160	0.414
3	0.61	3.640	15	0.130	0.247
4	0.31	1.206	16	0.230	0.782
5	0.255	0.845	17	0.460	2.340
6	0.185	0.469	18	0.350	1.568
7	0.2325	0.694	19	0.720	4.440
8	0.09	0.151	20	0.160	0.436
9	0.23	0.654	21	0.360	1.600
10	0.07	0.095	22	0.200	0.580
11	0.145	0.360	23*	0.095	0.178
12	0.125	0.233	24*	0.085	0.120

Tableau: 11

Valeurs numériques de la courbe de tarage de la station limnigraphique de Rozier (Sorpt)

* jaugeages chimiques par dilution
Débits en m^3/s

Durant la période estivale, un nettoyage répété du seuil a été nécessaire pour obtenir une courbe biunivoque. En effet, le ruisseau du Sorpt peut, à cet endroit, précipiter de 2 à 3cm de "tufs calcaires" par mois. Pour le cycle 1982, on peut estimer la précision relative des débits obtenus à cette station entre 15% en étiage et 7% en hautes eaux.

Comme nous l'avons remarqué précédemment, nous avons été obligés de reconstituer une partie du limnigramme à cause des vannages d'une pisciculture située à l'amont.

c) La Couze-Perte au Briant (station CP sur la *fig. 26*)

Cette station mise en service le 1^{er} octobre 1981 est située immédiatement à l'amont de la Perte de la Couze (n°7). Les débits mesurés au Briant représentent donc le ruissellement sur les formations triasiques situées au nord-est de la faille de Meyssac. Il faut y ajouter le petit bassin d'alimentation de la source du Suspens (n°18 cf. *Annexe I*).

La courbe de tarage est présentée sur la *fig. 27* et le tableau 12 fournit les valeurs numériques.

N°	Hauteur	Débit	N°	Hauteur	Débit
1	0.375	0.307	11	0.35	0.315
2	0.21	0.060	12	0.65	1.260
3	0.17	0.037	13	0.28	0.152
4	0.20	0.055	14	0.235	0.102
5	0.395	0.281	15*	0.135	0.007
6	0.605	0.964	16*	0.12	0.028
7	0.545	0.763	17*	0.12	0.014
8	0.585	0.973	18*	0.04	0.0023
9	0.285	0.158	19*	0.025	0.0018
10	0.93	3.150			

Tableau: 12 Valeurs numériques de la courbe de tarage de la station limnigraphique du Briant (Couze-Perte)
* Jaugeages chimiques par dilution
Débits en m³/s

La précision relative peut être estimée à 10% pour les débits d'étiage et à 4% pour les débits de hautes eaux.

Le caractère boisé des rives de ce ruisseau favorise le colmatage du seuil (naturel) par les feuilles mortes et les branchages.



Photo: 3

Station limnigraphique
du Soulier (La Couze;
Station C)

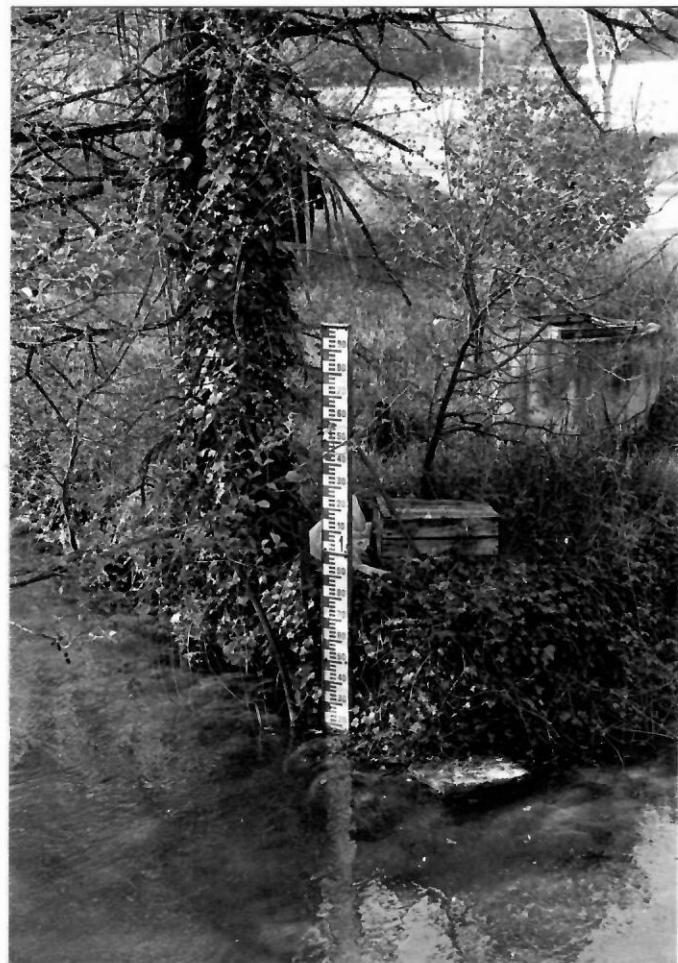


Photo: 4

Station limnigraphique de
Rozier (Le Sorpt; Station S)



Photo: 5 Source du Blagour de Chasteaux (N° 1)

Photo: 6 Event d'Entrecors (n° 6). Équipement limnimétrique.



d) Event d'Entrecors-Fontille (station E et F sur la *fig. 26*)

Dans un premier temps, nous avions équipé l'Event d'Entrecors (n°6) d'une échelle limnimétrique de 5 m (*cf. photo 6*). Une autre échelle avait été installée à proximité de la source de Fontille (n°3). La bonne relation entre les débits du ruisseau de Fontille et le niveau de l'eau dans l'Event d'Entrecors, nous a incité à équiper cette station d'un appareil enregistreur (*cf. fig. 27*). Techniquement, le seul type d'appareil adaptable à la morphologie de l'Event d'Entrecors était un capteur de pression. Pour des raisons financières, nous avons installé un barographe dont la sensibilité n'était que de $\pm 5\text{cm}$. De ce fait, la précision relative des débits du ruisseau de Fontille sera comprise entre 30% pour les basses eaux et 7% pour les hautes eaux. De plus, la courbe a été extrapolée pour les très hautes valeurs ($>0,350\text{m}^3/\text{s}$) car l'inondation de la vallée d'Entrecors rend impossible les mesures de débits du ruisseau de Fontille.

L'extraction de sable dans la vasque de la source de Fontille, en modifiant la géométrie des écoulements, a provoqué un abaissement de plusieurs centimètres du niveau de l'eau dans l'Event d'Entrecors. A partir de cette date une nouvelle relation a du être construite (*cf. fig. 27*). Le *tableau 13* fournit les valeurs numériques.

N°	Hauteur	Débit	N°	Hauteur	Débit
1	1.905	0.359	5	0.84	0.073
2	1.45	0.236	6	0.77	0.054
3	0.64	0.016	7	0.71	0.039
4	0.88	0.084	8	0.64	0.014

N°	Hauteur	Débit	N°	Hauteur	Débit
9	0.56	0.0056	15	0.68	0.042
10	0.63	0.018	16	0.695	0.045
11	0.70	0.0335	17	0.55	0.012
12	1.17	0.174	18	0.535	0.009
13	0.91	0.108	19	0.515	0.0067
14	1.04	0.144	20	0.485	0.0042

Tableau: 13

Valeurs numériques de la relation entre l'Event d'Entrecors et la source de Fontille. Les valeurs numérotées de 1 à 8 représentent la relation valable jusqu'au 1-09-81. Les valeurs numérotées de 9 à 20 représentent la relation valable à partir du 1-09-81. Débits en m^3/s

2.1.3.2 Les stations limnimétriques

a) Le Blagour au Soulier (station B:fig. 26)

Cette échelle a été installée en 1970 par le SRAE du Limousin pour estimer la proportion du débit de la Couze provenant du Blagour (n°1). Compte tenu de sa situation (cf. fig. 26) cette station permet d'estimer le débit de la source du Blagour augmenté de celui des sources de la Cressonnière du Blagour (n°4) et du moulin de Laguenay (n°5), ainsi que les eaux ruissellant sur les formations permo-triasiques situées à l'amont de la perte de Lesparce (n°8 annexe n°I cf. fig. 14, 20)

A partir des jaugeages effectués à cette station, il n'a pas été possible d'établir une relation biunivoque entre les débits et la hauteur limnimétrique, et cela pour deux raisons essentielles:

- 1° La section de contrôle est constituée par un plan incliné se transformant en herbier pendant la période estivale. Malgré de nombreux fau cardages, la dispersion des points bas rend inutilisable cette station en étiage.
- 2° L'échelle est installée dans un remous créé par un ressaut situé à l'amont. De ce fait et selon la forme de ce remous, des valeurs de débit croissantes ne correspondent pas nécessairement à des hauteurs limnimétriques croissantes.

Enfin, l'absence de passerelle interdit les mesures de débit en crue.

b) Ruisseau du Moulin de Laguenay (station L sur la fig. 26)

Cette échelle installée à l'entrée du village du Soulier permet d'estimer les débits de trop plein de la source du moulin de Laguenay (la source pérenne 5' étant située plus à l'aval. cf. fig. 26) ainsi que le débit des eaux de ruissellement ne se perdant pas à la perte de l'Esparce (n°8).

Malgré la nécessité de fau carder en été, cette station nous a permis de construire une bonne courbe de tarage.

c) Cressonnière du Blagour (station Cr sur la fig. 26)

Cette station a été implantée pour estimer le

débit provenant des différents griffons constituant la Cressonnière du Blagour.

De nombreux détarages se sont produits à cause de la faible pente du ruisseau. L'influence du niveau du Blagour sur les hauteurs limnimétriques n'a pas permis la construction d'une courbe de tarage en hautes eaux.

C'est donc avec une précision médiocre que l'on connaît les débits de cet ensemble de griffons.

d) Fontille (station F sur la *fig. 26*)

Cette station a rapidement été abandonnée puisque les débits de la source de Fontille pouvaient être obtenus à partir des enregistrements des fluctuations du niveau de l'eau dans l'Event d'Entrecors.

De plus, à cause de la faible pente du ruisseau, aucune section de contrôle correcte n'existe. De ce fait de nombreux détarages ont été observés.

e) Couze-perte au "gué" (station CG sur la *fig. 26*)

Cette station a été abandonnée au profit de la station du Briant. Pour obtenir une courbe de tarage correcte, nous avions construit un seuil. Cependant, nous avons observé de nombreux détarages en hautes eaux dûs au colmatage du cours d'eau à l'aval de la station par des branchages.

2.1.4 Débits moyens journaliers

Une étude hydrogéologique doit être menée sur des cycles hydrologiques et non sur des années civiles. Nous définirons le cycle hydrologique comme la période s'étendant de la fin d'un étiage à la fin de l'étiage suivant. Le début du cycle 1982 peut être estimé au 22-09-81 et la fin au 29-09-82, soit 372 jours.

2.1.4.1 La Couze au Soulier

Les débits moyens journaliers des cycles 1971 à 1980, ainsi que ceux du cycle 1982 sont fournis en annexe III. La *fig. 31* présente les débits moyens mensuels du cycle 1982 ainsi que le cycle moyen calculé à partir des 9 cycles disponibles.

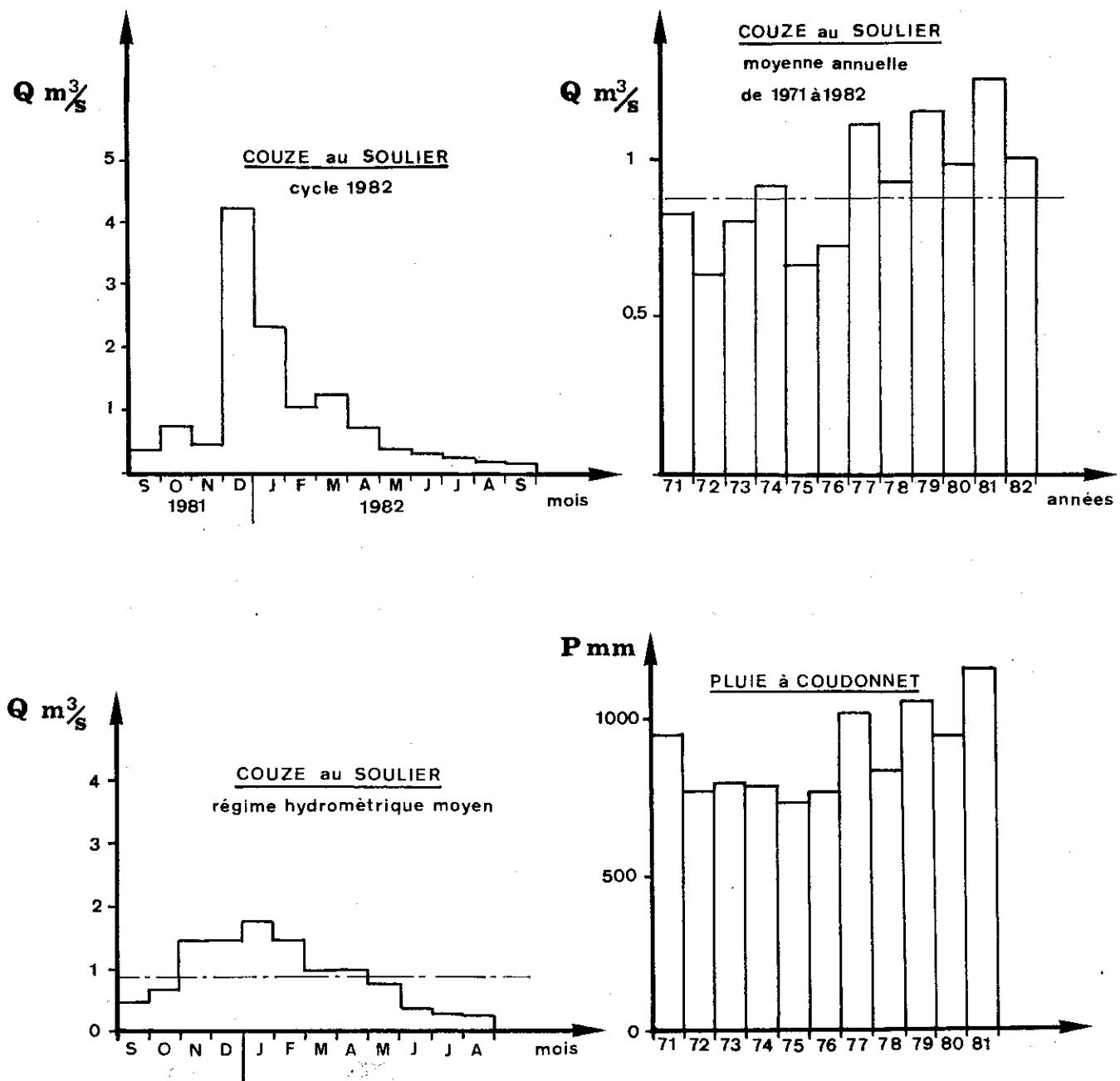


fig: 31

Débits de la Couze au Soulier (cycle 1982)
Régime hydrométrique moyen de la Couze au Soulier. Débits moyens des cycles 1971 à 1982. Pluie à Coudonnet pour les cycles 1971 à 1981.

Il est intéressant de remarquer que le cycle 1982 présente des variations saisonnières très marquées. En effet, la période de hautes eaux est courte (quatre mois au lieu de six en moyenne), mais les débits sont nettement plus importants que ceux habituellement observés à cette saison (cf. fig. 31). Ceci est à mettre en relation avec les précipitations exceptionnelles du mois de décembre 1982. Ensuite, après une légère remontée printanière des débits qui sont conformes au régime hydrométrique moyen, l'étiage est précoce et très prononcé.

La fig. 31 présente également les débits moyens annuels des cycles 1971 à 1982, ainsi que les totaux annuels de pluie à Coudonnet. On remarque que certaines années à pluviométrie faible ne correspondent pas à des débits moyens annuels plus faibles de la Couze du Soulier. C'est le cas en particulier de l'année 1974.

2.1.4.2 Le Sorpt à Rozier

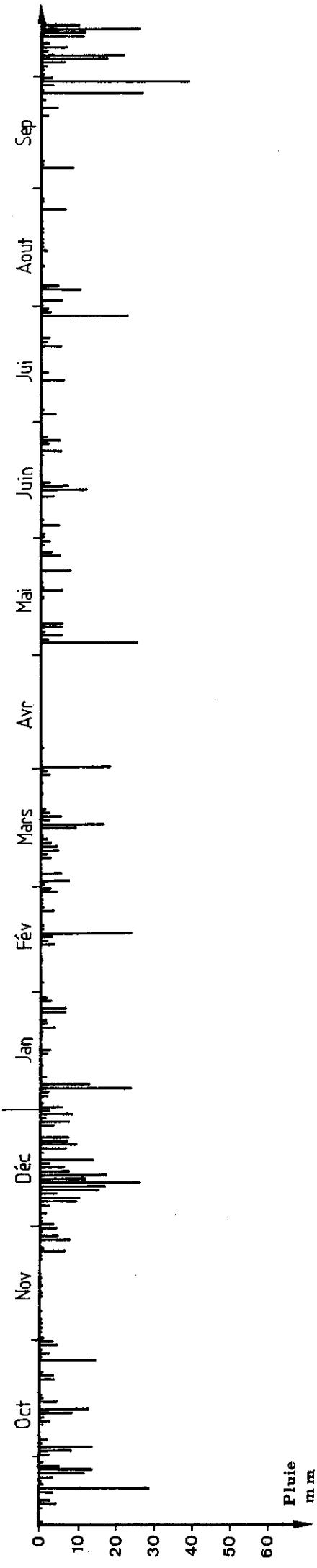
L'hydrogramme du Sorpt à Rozier et le pluviogramme de la station de Coudonnet pour le cycle 1982 sont présentés sur la fig. 32. Toutes les valeurs numériques sont fournies en annexe n° III.

L'hydrogramme présente une série de crues importantes en décembre et janvier dont les débits moyens journaliers maximaux sont 5,77 et $3,77\text{m}^3/\text{s}$. Sur cette période le débit instantané maximal observé est de $6,490\text{m}^3/\text{s}$.

Comme nous l'avions remarqué pour la Couze au Soulier, l'étiage 1982 fut précoce et prononcé. Le débit minimal enregistré est de $0,030\text{m}^3/\text{s}$ le 29-09-82. Il est rare d'observer une période de très basses eaux aussi longue dans cette région. Souvent, les débits d'été sont affectés par des pluies d'orage provoquant des crues parfois importantes. C'est le cas de l'étiage 1981, dont l'hydrogramme est fourni en annexe III.

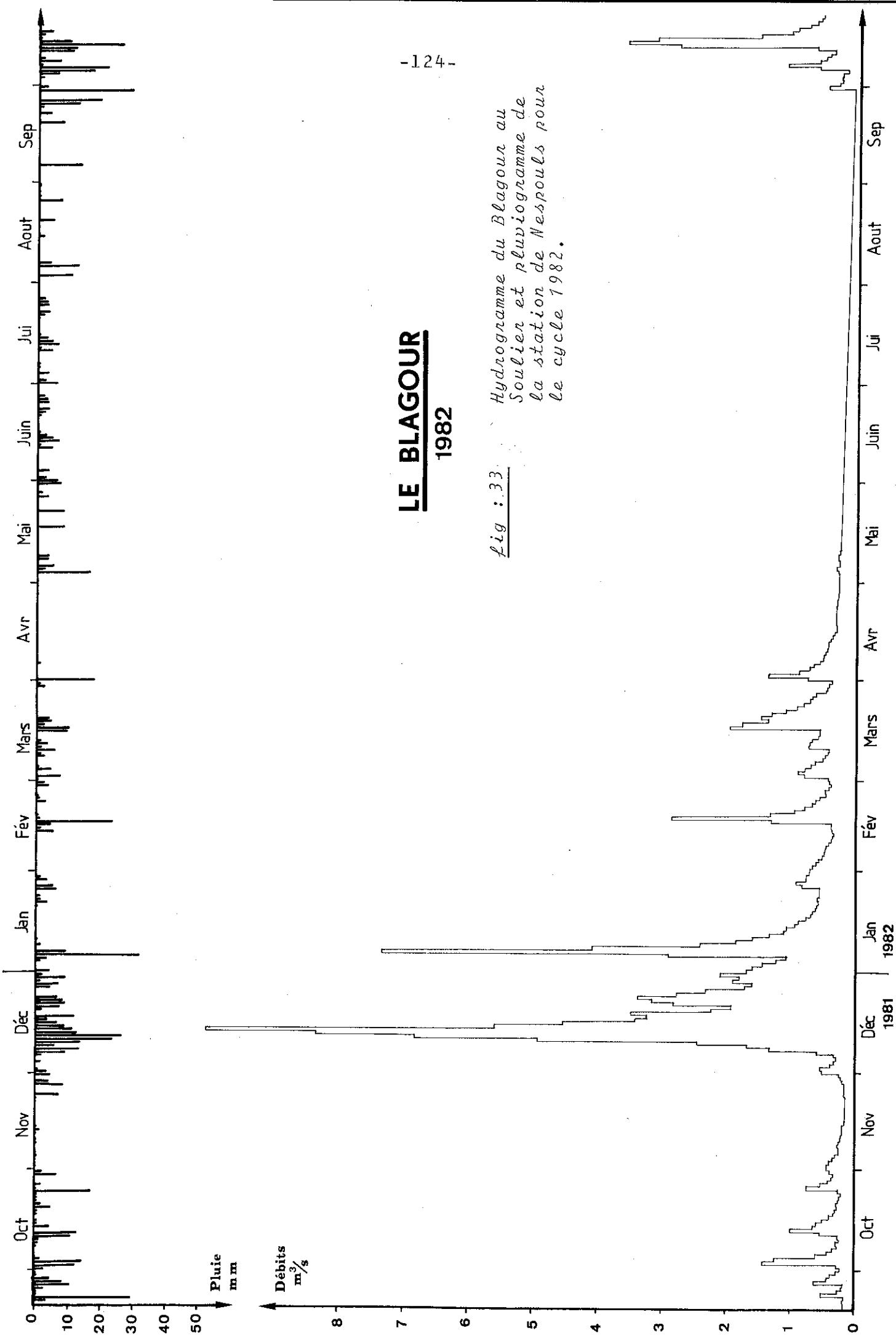
2.1.4.3 Le Blagour au Soulier

L'hydrogramme du blagour au Soulier ainsi que le pluviogramme de la station de Nespouls sont présentés sur la fig. 33. Toutes les valeurs numériques sont fournies en annexes III. Ces débits moyens journaliers ont été obtenus par différence entre



LE SORPT
1982

Fig: 3.2 Hydrogramme du Sorpt
à Rozien et pluviogramme
de la station de Coudon-
net pour le cycle 1982



les débits instantanés de la Couze au Soulier et les débits instantanés du Sorpt à Rozier. Les valeurs ainsi obtenues sont, bien entendu, entachées d'une erreur relativement importante, surtout en étiage.

Il faut noter que ces débits correspondent à l'im-pluvium contrôlé par la station limnimétrique B (Blagour au Soulier) décrite au paragraphe 2.1.3.2 a.

2.1.4.4 La Couze - Perte au Briant

L'hydrogramme de la Couze-Perte au Briant, ainsi que le pluviogramme de la station de Nespouls sont présentés en annexe III avec toutes les valeurs numériques. Comme pour les autres stations les hautes eaux sont situées en décembre et janvier avec, comme débits moyens journaliers maximaux, $2,815\text{m}^3/\text{s}$ et $2,120\text{m}^3/\text{s}$. Le débit instantané maximal enregistré est de $7,442\text{m}^3/\text{s}$. A partir du 1^{er} juillet et jusqu'au 29 septembre, le ruisseau de la Couze-perte possède un débit nul (ou très faibles $0,001\text{m}^3/\text{s}$)

On remarque que la forme de l'hydrogramme est plus pointue à cette station qu'aux stations du Sorpt ou du Blagour. De plus, l'alimentation du Karst par la Couze-Perte s'interrompt durant les mois d'été. Ainsi, contrairement à ce que pouvait laisser croire une simple description des écoulements superficiels, la source du Blagour (n°1) draine une surface beaucoup plus importante de celle située à l'amont de la Perte de la Couze (n°7)

2.1.4.5 Le ruisseau de Fontille

L'hydrogramme du ruisseau de Fontille obtenu à partir du limnigramme de l'Event d'Entrecors est fourni en annexe III avec toutes les valeurs numériques. Le débit moyen journalier maximal est estimé à $1,080\text{m}^3/\text{s}$ et le débit minimal à $0,004\text{m}^3/\text{s}$. On remarque sur l'hydrogramme une disproportion marquée entre les débits de crue et les débits de période non influencée.

2.2 Caractéristiques hydrométriques des différents cours d'eau

Pour les ruisseaux du Blagour, du Sorpt, de la

Couze-Perte, de Fontille et de la Couze, nous avons calculé le débit moyen relatif au cycle 1982. Nous avons également calculé le module interannuel de la Couze à la station du Soulier à partir des 9 cycles disponibles (cf. tableau 14).

Stations	Débits moyens cycle 1982	Débits maxi. instantanés	Débits mini. instantané	Débits moyens sur 9 cycles
La Couze	0.978 m^3/s	18.980 m^3/s	0.125 m^3/s	0.875 m^3/s
Le Blagour	0.633 m^3/s	12.495 m^3/s	0.095 m^3/s	0.565 m^3/s
Le Sorpt	0.333 m^3/s	6.485 m^3/s	0.030 m^3/s	0.300 m^3/s
La Couze-perte	0.121 m^3/s	7.440 m^3/s	0.000 m^3/s	0.110 m^3/s
Fontille	0.050 m^3/s	1.090 m^3/s	0.004 m^3/s	0.045 m^3/s

Tableau: 14

Caractéristiques hydrométriques des différentes stations.
Débits en m^3/s

La variabilité du régime d'un cours d'eau est définie par le rapport:

$$IV = \frac{\text{Débit maximal}}{\text{Débit minimal}}$$

Pour le cycle 1982, il est de:

- 152 pour la Couze
- 131 pour le Blagour
- 216 pour le Sorpt
- 273 pour Fontille

L'hydraulique du cycle 1982, définie comme le rapport du débit moyen annuel au débit moyen interannuel, est de 1.12 pour la Couze au Soulier. A partir de ce rapport, nous avons estimé le module interannuel des sources de Fontille, du Blagour et du Sorpt ainsi que celui de la Couze-perte (cf. tableau 14). Cette approximation est possible à cause du caractère homogène du climat pour un cycle, sur le secteur étudié. De plus, on peut supposer que les fonctionnements hydrodynamiques des différentes sources ou ruisseaux sont proches.

En conclusion, les débits relatifs au cycle 1982 sont légèrement plus importants que les modules interannuels (1,12 fois plus grand). Les indices de variabilité des différentes sources restent proches. Toutefois, les sources de Fontille et du Sorpt possèdent des régimes plus variables que celui de la source du Blagour.

3 DELIMITATION DES DIFFERENTS SYSTEMES KARSTIQUES

Le massif karstique, ensemble géologiquement et morphologiquement défini (*cf. chapitre II*) peut être subdivisé en sous-ensembles appelés systèmes karstiques; l'ensemble des systèmes karstiques constituant une partition de ce massif.

Un système karstique est défini comme "l'impluvium au niveau duquel les écoulements s'organisent pour constituer une unité de drainage" (A. Mangin, 1975). L'ensemble ainsi décrit est donc parfaitement défini hydrodynamiquement. De plus il est en tout point comparable à un bassin versant d'écoulement de surface. Toutefois, contrairement à ce dernier, il n'est pas directement observable puisque contenu dans la masse de l'aquifère.

Le système karstique sera donc l'ensemble élémentaire que nous allons essayer de définir par son fonctionnement, sa structure et, le cas échéant, son évolution (A. Mangin, 1982).

Avant de mener une telle étude, il est nécessaire de limiter dans l'espace le ou, les impluvium correspondant aux différentes sources de cette région.

Les colorations (expériences de traçages à la fluorescéine) vont nous permettre, ponctuellement, de préciser les limites de ces unités de drainage.

A partir du bilan hydrique, nous estimerons la superficie globale du bassin d'alimentation de la Couze au Soulier. Puis, nous présenterons les limites de la partie de l'aquifère karstique du Causse de Martel que nous avons étudié.

3.1 Les traçages

3.1.1 Généralité

Les traçages fournissent deux types d'information:

1° Ils permettent de montrer une relation entre un point de l'aquifère et un exutoire. Le plus souvent l'injection est faite au niveau d'une perte perenne ou temporaire mais on peut aussi la réaliser à partir du réseau spéléologique. Au niveau d'un exutoire, l'information sera soit positive, soit négative; positive, si le colorant y est détecté, négative dans le cas contraire. Toutefois, pour s'assurer que la totalité du colorant injecté est réapparue nous établirons un bilan de restitution.

2° A partir de la forme de la courbe de restitution de colorant et de la vitesse apparente de transit, il sera possible, dans certaines conditions, de caractériser hydrodynamiquement la portion d'aquifère mise en jeu par le traçage. Ce type d'information sera exploité au paragraphe 4.

Pour limiter les différents systèmes nous n'utiliserons que le premier type d'information.

Le colorant employé est la fluorécéine. La détection a été effectuée à l'aide d'analyses fluorimétriques d'échantillons prélevés au niveau des sources.

3.1.2 Résultats

Le tableau 15 et la carte n°2 présentent les résultats des différents traçages effectués sur cette partie du Causse de Martel. Un certain nombre de ces traçages avaient été réalisés par les spéléologues avant le début de notre étude.

On peut distinguer trois types de traçages:

3.1.2.1. Les traçages de perte pérennes.

Ce sont les traçages des pertes de la Couze (n°7), de Lésparce (n°8) et de Lacoste (n°9).

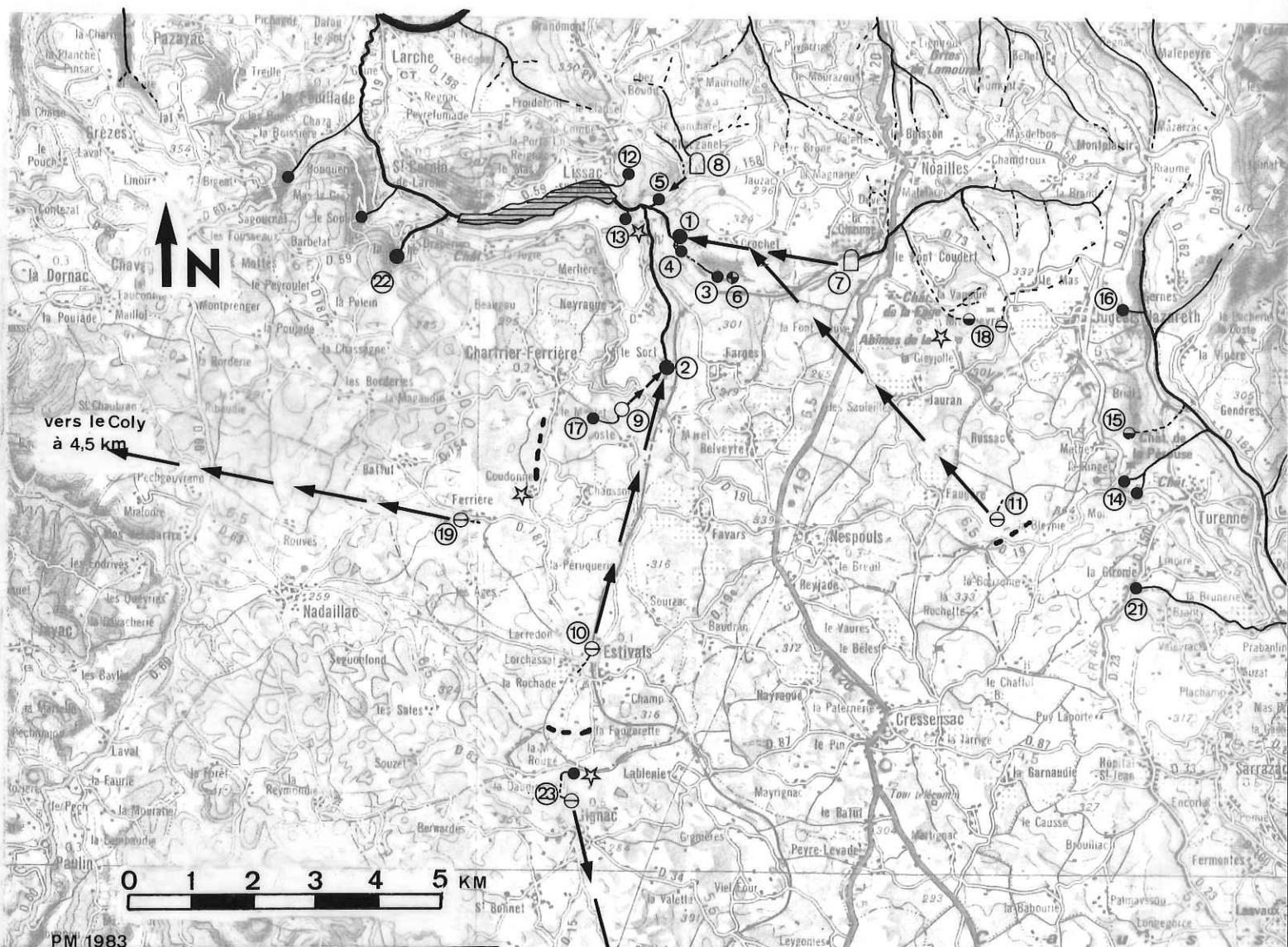
La perte de la Couze est en relation avec la source du Blagour (n°1). Cette relation a été vérifiée en crue, en eau moyenne et en étiage. Dans tous les cas seule la source du Blagour (n°1) a été colorée.

Point d'injection et débits	N°	N° des points de prélèvement	Point de réapparition	N°	Vitesse apparente	Poids injecté	Bilan	Remarques
Perte de Lesparce	8		Moulin de Laguenay	5	≈ 175 m/h			Détection à l'œil (Tracage spéléo.)
Perte de la Couze $Q=230$ l/s	7		Blagour	1	≈ 545 m/h	1.5 kg		Détection à l'œil (Spéléo- h. eaux)
Perte de la Couze	7	1-3-6-4	Blagour	1	43.5 m/h	150 g	95.9%	Basses eaux
Perte de Fontanille	11	1-3-6-4-26-21	Blagour	1	117 m/h	1.8 kg	66%	Perde ensablée.
Perte de Gignac	23	2-24-22	Blagour de Souillac	24				Tracage effectué avec J.P Fabre
Perte d'Estivals $Q=21$ l/s	10	2-24-22	Le Sorpt	2	≈ 128 m/h	1.5 kg		Tracage influencé par une crue
Perte de Ferrière	19	2-22-29	Le Coly	29	181 m/h	1.9 kg	90%	Hauts eaux
Perte de Lacoste	9	2	Le Sorpt	2	≈ 158 m/h			Détection à l'œil (Tracage spéléo.)
Perte de Lacoste $Q= 3$ l/s	9	2	Le Sorpt	2	50 m/h	150 g (60%)		Eaux moyennes
Perte de Lacoste	9	2	Le Sorpt	2	≈ 6.5 m/h	300 g (70%)		Basses eaux
Perte de la Couze $Q=95$ l/s	7	1-3-6-4	Blagour	1	262 m/h	450 g	85%	Hauts eaux

Tableau: 15 Résultats des tracages effectués sur le Causse de Mantel.

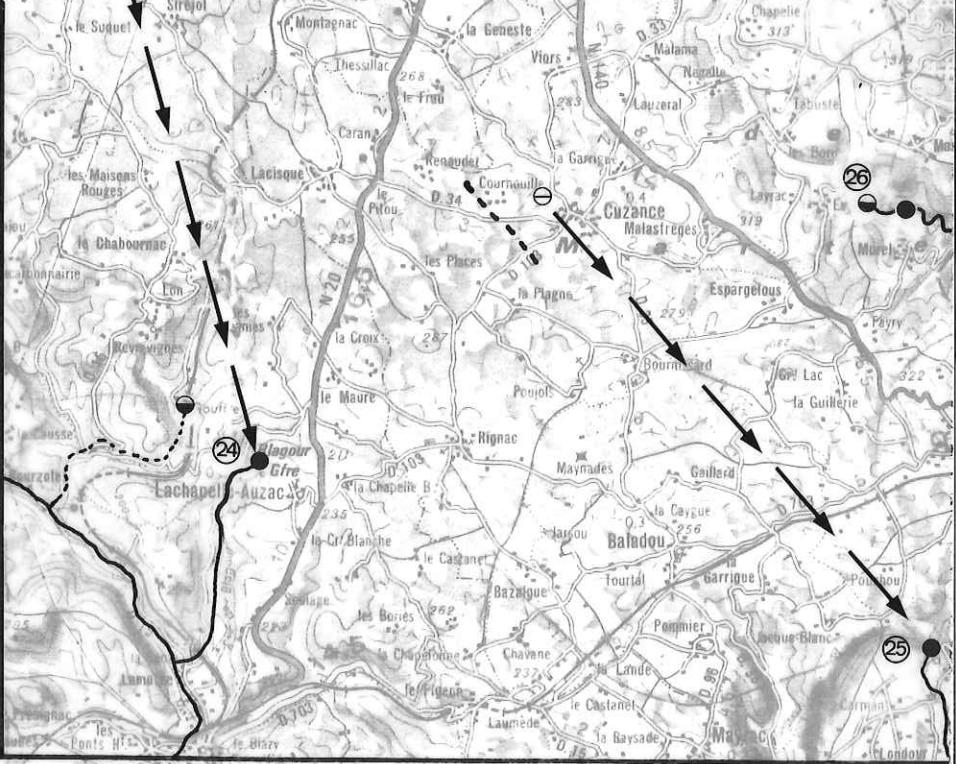
LOCALISATION DES TRACAGES EFFECTUÉS SUR LE CAUSSE DE MARTEL

CARTE N°2



Légendes :

- ~~~~ ruisseaux pérennes, temporaires
- ~~~~ lac artificiel
- tracages
- ● résurgences pérennes, temporaires
- pertes pénéttables
- ○ pertes pérennes,
- ④ trop. plein.perte: références au texte
- ★ stations pluviométriques
- ~~~~ limites précisées par les tracages



La Perte de Lésparce montre une relation avec la source du Moulin de Laguenay (n°5). Un seul traçage a été réalisé en début de hautes eaux.

La Perte de Lacoste est en relation avec la source du Sorpt (n°2). Plusieurs traçages ont vérifié cette relation aussi bien en crue, qu'en étiage. Dans tous les cas, seule la source du Sorpt a été colorée (sources A, B, C cf. fig. 18).

3.1.2.2 Les traçages de pertes temporaires

Les traçages à partir de pertes temporaires sont plus délicats à mettre en œuvre, pour deux raisons essentielles :

1° Les pertes temporaires ne constituent pas toutes des sites favorables à l'injection du traceur. En effet, les phénomènes de sorption seront importants si la perte est encombrée par du sable. Dans ce cas, on risque de ne pas pouvoir détecter le colorant à l'exutoire à cause d'une trop grande dilution.

2° Le caractère temporaire limite dans le temps les périodes propices à l'injection. Dans le cas du cycle 1982, l'étiage précoce nous a obligé à réduire notre campagne de traçages.

Quatre pertes temporaires ont été tracées; la Perte d'Estivals (n°10), la Perte de Gignac (n°23), la Perte de Fontanille (n°11) et la Perte de Ferrière (n°19).

La Perte d'Estivals est en relation avec la Source du Sorpt (n°2), alors que la Perte de Gignac située 2,5km plus au sud-est en relation avec le Blagour de Souillac (n°24). Ces deux traçages ont été effectués en collaboration avec J.P Fabre (1983)

La Perte de Fontanille (n°11) située dans le forêt de Turenne est en relation avec la Source du Blagour (n°1). Le tableau 15 montre un mauvais bilan de restitution. Nous l'attribuons à des phénomènes de sorption dû à l'ensablage de la perte et non à des sorties multiples ou à un piègeage temporaire du colorant.

La Perte de Ferrière (n°19) est en relation avec Ladoux de Coly (n°29).

3.1.2.3 Les traçages effectués à partir du réseau spéléologique

Trois traçages de ce type ont été effectués. Ils ne figurent pas dans le tableau 15.

Deux traçages ont été réalisés à partir du réseau de la Couze. La rivière de l'Event des jonquilles (rivière souterraine située à l'extrême sud du réseau spéléologique) est en relation avec la source du Blagour (n°1 ; traçage réalisé par les spéléologues en 1977). La "Galerie Métrique", paléo-drain situé sous la vallée d'Entrecors (cf. fig. 22), est en relation avec l'Event d'Entrecors (n°6). Les mauvaises conditions de réapparition ne nous permettent pas d'affirmer que d'autres sources ne sont pas en relation avec cette galerie.

A partir d'un petit ruisseau souterrain situé à proximité de la source du Moulin de Laguenay (n°5); les spéléologues ont montré la relation entre les sources n°5 et 5' (cf. fig. 26).

3.1.3 Synthèse des résultats et discussion

Il faut remarquer que seules trois sources pérennes ont montré des relations directes avec des pertes. Ce sont les sources du Blagour (n°1), du Sorpt (n°2) et du Moulin de Laguenay (n°5). Il semble donc que ces trois sources soient, chacune, l'aboutissement d'une unité de drainage souterrain.

L'impluvium correspondant à la source du Blagour est composé d'une partie non-karstique, le bassin versant de la Couze-Perte, et d'un bassin d'alimentation karstique. A partir du traçage de la perte de Fontanille (n°11) il est possible d'avoir une idée de l'extension du bassin karstique. Dans la forêt de Turenne il aurait été intéressant de tracer des pertes situées plus au sud, de manière à préciser la limite de l'impluvium dans cette zone. L'étiage précoce du cycle 1982 ne nous en a pas laissé le temps.

L'impluvium correspondant à la source du Sorpt, semble s'allonger le long de la faille de Chasteaux. La limite ouest passe entre la Perte de Lacoste (n°9) et celle de Ferrière (n°19). La limite sud est située entre les Pertes d'Estivals (n°10) et de Gignac (n°23). Aucune perte traçable n'a permis de déterminer la limite entre les systèmes du Sorpt et du Blagour.

L'impluvium relatif à la source du Moulin de Ma-guenay (n°5) comprend une partie non-karstique, le bassin versant du ruisseau de Rugeat se perdant à la perte de Lesparce (n°8) et un bassin d'alimentation karstique dont la limite nord est constituée par la faille de Meyssac.

3.2 Paléotopographie et bassins d'alimentation

lorsque l'on compare les limites topographiques des paléo-bassins versants fluviatiles décrit au paragraphe II. 2.3.3 (cf. fig 30) et les limites précisées par les traçages, on s'aperçoit qu'elles se superposent presque parfaitement. Ce résultat est à mettre en relation avec l'évolution morphologique du Causse de Martel durant le Quaternaire (cf. chapitre II).

J.P Fabre (1983) avait déjà mis en évidence cette particularité des systèmes karstiques de cette région.

3.3 Evaluation de la superficie de l'impluvium de la Couze au Soulier par établissement du bilan hydrique

3.3.1 Expression du bilan et généralité

Le bilan hydrique relatif à un cycle s'écrit:

$$L = P - ETR \pm Vr + g - p,$$

où * L est la lame d'eau écoulée en mm

* P est la lame d'eau précipitée en mm

* ETR est l'évapotranspiration réelle

* Vr sont les variations de réserve de l'aquifère

* g est l'apport extérieur temporaire (gain)

* p sont les fuites temporaires vers l'extérieur (pertes)

Le terme Vr peut être rendu négligeable par l'établissement du bilan sur une période de longue durée (10 ans environ). Ainsi, nous n'établirons ce bilan que pour la lame d'eau écoulée à la station du Soulier, où nous possédons 9 cycles de données (cycle 1971 à 1980).

Les termes g et p du bilan sont difficiles à évaluer. Il est cependant possible de déceler l'existence de fuites ou d'apports en traçant la courbe des pourcentages cumulés des

débits classés. A. Mangin (1975) a montré, en traçant sur un papier fonctionnel où l'échelle des ordonnées est graduée selon une loi de probabilité proche de celle de Laplace*, et celle des abscisses en coordonnées logarithmiques, que la courbe des pourcentages cumulés des débits classés devait être linéaire et monotone s'il n'existe pas de fuites ou d'apports importants de longue durée. Dans le cas contraire, tout changement de régime du cours d'eau est marqué par une rupture de pente. La fig. 34 présente la courbe des pourcentages cumulés des débits classés de la Couze au Soulier sur 9 cycles. Il existe une rupture de pente à $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$, pouvant être interprétée comme une fuite vers l'extérieur du système. Cette fuite est très faible puisqu'elle ne représente que 4% du volume de transit global, soit 30 l/s sur le débit moyen interannuel. Compte tenu de la faible précision des autres paramètres du bilan (pluie, ETR) nous négligerons cette discontinuité, qui peut aussi bien correspondre à une réalité hydrogéologique qu'à un défaut de tarage de l'échelle limnigraphique du Soulier.

g et p étant estimés nuls, l'ETR sera assimilé au déficit d'écoulement:

Le bilan devient alors:

$$L = P - ETR$$

On en déduit simplement la surface S de l'impluvium:

$$S = \frac{Q \times 365 \times 86400 \times 10^{-3}}{P - ETR}$$

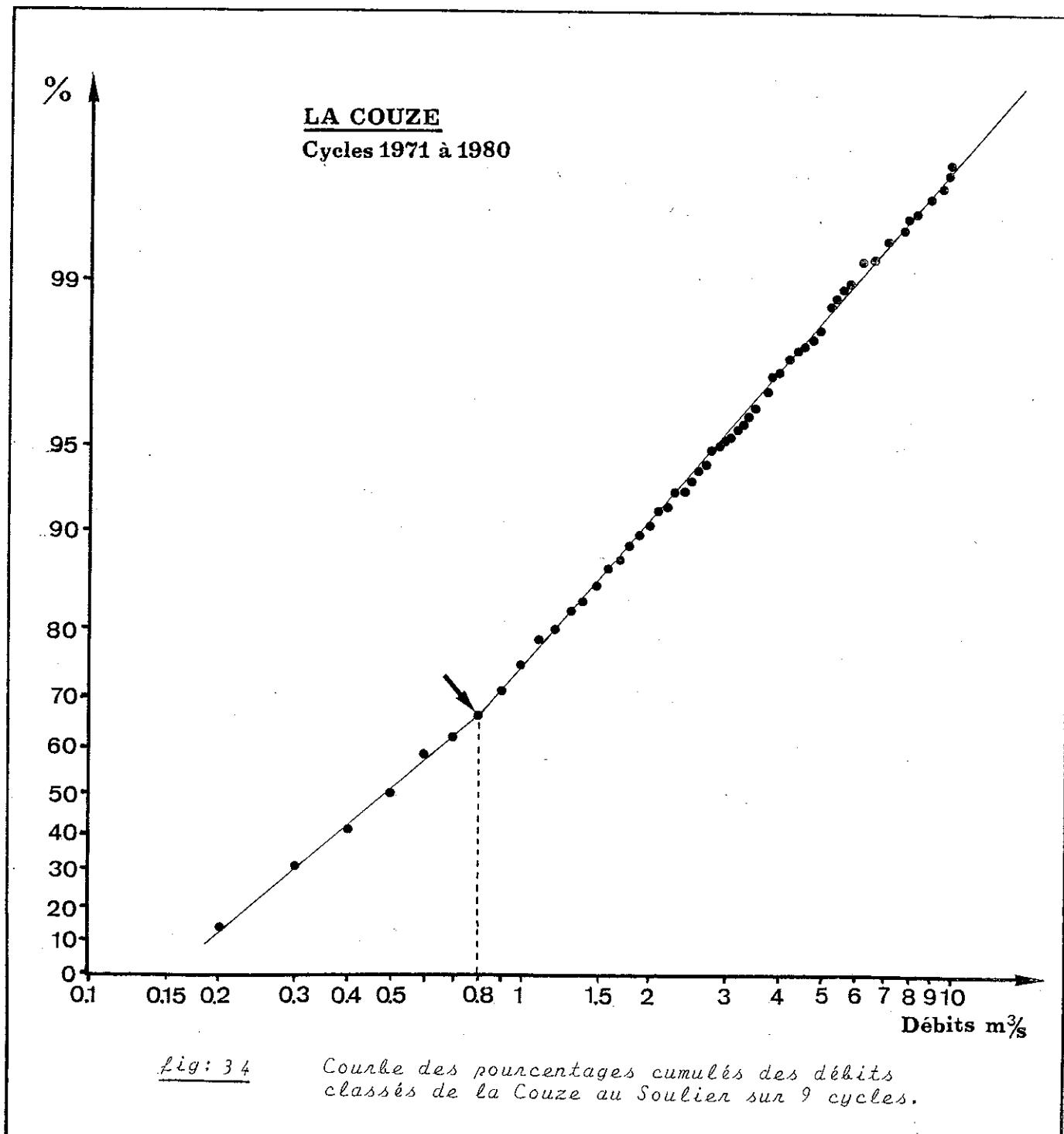
où * S est la surface en km^2

* Q est le module interannuel en m^3/s

* P est le module pluviométrique interannuel en mm

* ETR est l'évaporation réelle en mm

* La méthode des pourcentages cumulés des débits classés sera présentée en détail au paragraphe 4.



3.3.2 Résultats

Les paramètres nécessaires au calcul de S sont:

$Q = 0.875 \text{ m}^3/\text{s}$: valeur mesurée (module interannuel)

$P = 953 \text{ mm}$: valeur mesurée (module interannuel)

$ETR = 527 \text{ mm}$: valeur calculée (formule de Turc)

Dans ces conditions la surface de l'impluvium de la Couze au Soulier est:

$$S = 65 \text{ km}^2$$

On peut estimer que cette surface représente bien l'impluvium de la Couze dans la fourchette suivante:

$$58 < S < 72 \text{ km}^2$$

Le débit moyen spécifique, caractéristique régionale, se situerait donc entre 15 l/s/km^2 et 12 l/s/km^2 ; la valeur correspondant à 65 km^2 étant $Q_s = 13.46 \text{ l/s/km}^2$

3.3.3 Discussion

Cette surface de 65 km^2 correspond à l'impluvium de la totalité des sources du secteur étudié du fait même des paramètres que nous avons utilisés pour établir le bilan.

La Sourdoire et la Borrèze, deux bassins versants de surfaces voisins de celui de la Couze, ont respectivement un débit moyen spécifique de 13.31 l/s/km^2 et 13.90 l/s/km^2 . Le bassin de la Sourdoire, plus élevé, est légèrement plus arrosé que le Causse de Martel. En revanche, celui de la Borrèze, proche du Causse de Martel, possède des caractéristiques climatologiques comparables. Dans ces conditions, un débit moyen spécifique de 13.46 l/s/km^2 est proche de la valeur régionale.

De plus, B.Lafosse dans la synthèse hydrologique du Limousin, publiée en 1982, donne, pour le bassin de la Côte un débit spécifique de l'ordre de 13.21 l/s/km^2 . Cette valeur n'est qu'un bon ordre de grandeur puisqu'il ne résulte pas d'une étude spécifique sur la région de Brive, mais sur l'ensemble du Limousin.

A partir de l'établissement du bilan, on peut donc retenir comme *surface totale des différents systèmes karstiques* composant le secteur étudié la valeur de 65 km²

3.4 Tracé des limites de l'impluvium de la Couze au Soulier

3.4.1 Présentation des limites

La carte couleur n°3 présente les limites de l'impluvium de la Couze au Soulier. On peut distinguer deux parties:

1° Les zones non karstiques

Pour ces zones les limites de l'impluvium correspondent aux limites topographiques des bassins versants de surface, dont les eaux se perdent au contact des calcaires.

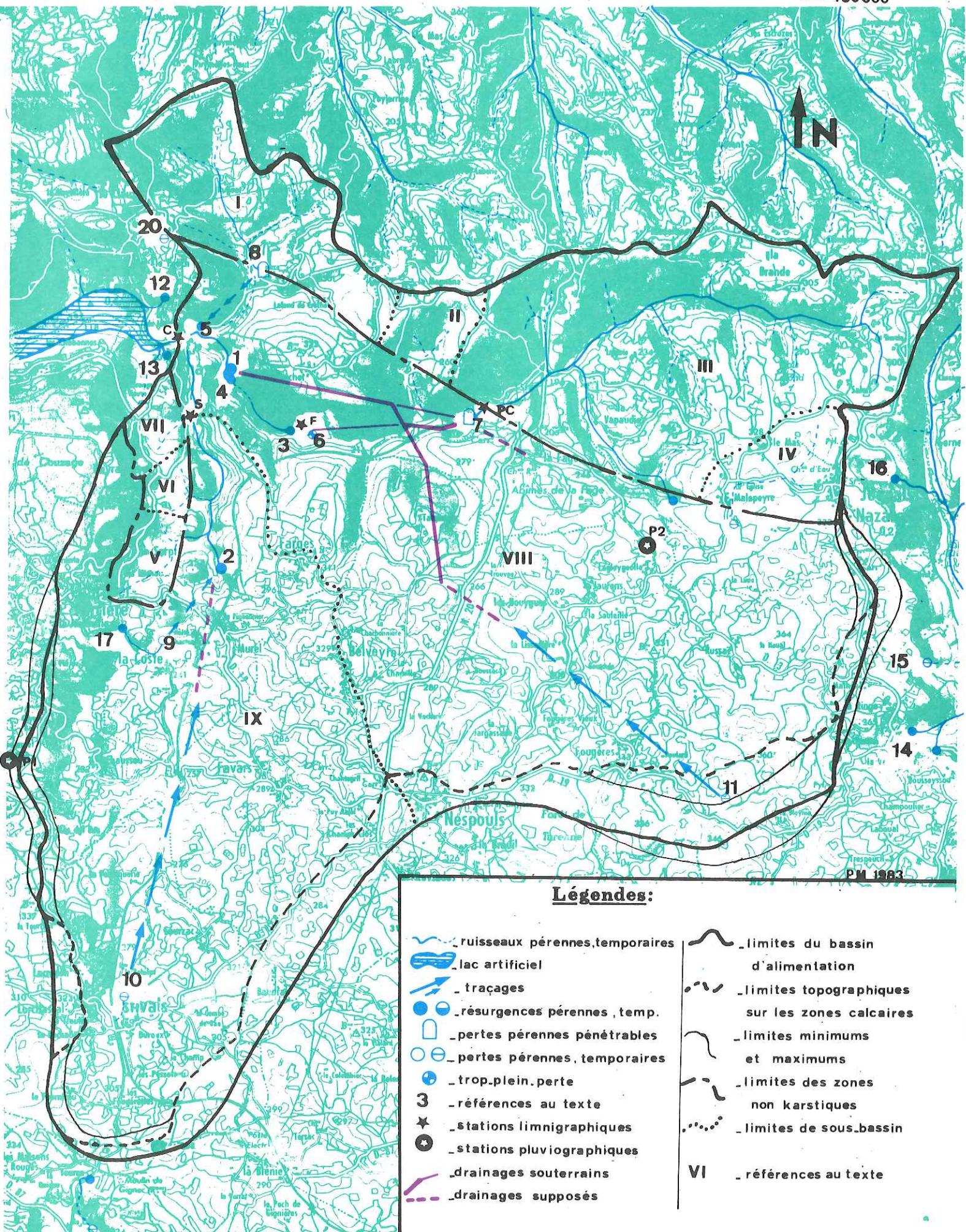
Désignation des bassins	N°	Nature géologique	Surface	% zones non karstiques	% bassin total
Bassin du ruisseau de Rugeat	I	Grés permien, Trias marnes du Lias	3.5 km ²	20 %	5.4 %
Bassin du ruisseau de Coutinard	II	Dolomies et cagneules du Lias	1 km ²	5.7 %	1.5 %
Bassin de la Couze-Perte	III	Dolomies, cagneule et marnes du Lias Grés du Trias	10 km ²	57.1 %	15.6 %
Bassin du ruisseau de Malpeyre	IV	Calcaires, dolomies cagneules, marnes, grés du Lias	1.5 km ²	8.6 %	2.3 %
Bassin du ruisseau des Michauds	V	Calcaires et marnes du Lias	0.75 km ²	4.2 %	1.3 %
	VI	Calcaires et marnes du Lias	0.30 km ²	1.7 %	0.5 %
Bassin du ruisseau de Neyrague	VII	Calcaires et marnes du Lias	0.45 km ²	2.6 %	0.7 %
			17.5 km ²	100 %	27.3 %

Tableau: 16 Caractéristiques des bassins versants de la zone non-karstique.

CARTE DU BASSIN D'ALIMENTATION DE LA COUZE AU SOULIER

CARTE N°3

éch: 1/50000



Le tableau 16 présente les caractéristiques des 7 bassins versants de surface composant cette partie de l'impluvium de la Couze au Soulier. Ces bassins sont repérés sur la carte n°3 par les n°I à VII.

2° Les zones karstiques

A la suite des résultats des traçages, nous avons remarqué que les bassins d'alimentation des sources karstiques se superposaient presque parfaitement aux paléo-bassins versants de surface décrits au chapitre II. Nous avons donc estimé que les limites topographiques des paléo-bassins donnaient une bonne idée, bien qu'approximative, de la limite de partage des eaux souterraines. Dans le détail, nous avons tenu compte de certains traçages montrant des limites décalées par rapport à la paléo-topographie (perte de Fontanille n°11) ou de zones à morphologie tourmentée où les limites topographiques risquaient d'être erronées. Compte tenu de ces incertitudes, nous présentons une zone large de 0.5 à 1km constituant la zone de partage des eaux souterraines. Sur la carte n°3 le trait fort représente la limite la plus probable et les traits fins les limites maximales et minimales. Les traits interrompus courts représentent, pour leur part, les limites des paléo-bassins topographiques.

Le tableau 17 rassemble les caractéristiques de cette partie karstique de l'impluvium de la Couze au Soulier.

Désignation des bassins	N°	Nature géologique	Surface	% zones karsti.	% bassin total
Source du Blagour et du Moulin de Laguenay	VIII	Calcaires oolithiques et micritiques du Dogger	25.5 km ²	54.8 %	39.8 %
Source du Sorpt	IX	Calcaires oolithiques et micrites du Dogger	21 km ²	45.2 %	32.8 %
			46.5 km ²	100 %	72.6 %

Tableau: 17

Caractéristiques des bassins versants de la zone karstique.

Cartographiquement, la superficie du bassin d'alimentation de la Couze au Soulier est comprise entre 58 km^2 et 65 km^2 . La valeur la plus probable étant 64 km^2 .

Les zones non karstiques avec 17.5 km^2 représentent 27.3% de l'ensemble. Les zones karstiques totalisent 46.5 km^2 .

Le débit moyen spécifique est compris entre 15.08 l/s/km^2 et 13.46 l/s/km^2 , 13.67 l/s/km^2 étant la valeur la plus probable.

La superficie du paléo-bassin versant de surface est de 58 km^2 .

3.4.2. Discussion

La superficie calculée et la superficie déterminée par l'étude de terrain sont très proches. De plus, le débit moyen spécifique obtenu est comparable au débit moyen spécifique régional.

Nous avons vu que l'ensemble des systèmes karstiques constituait une partition du Causse de Martel. Il faut donc s'assurer que les limites de l'impluvium de la Couze au Soulier, telles que nous les avons définies, sont cohérentes avec celles des systèmes voisins.

Les systèmes ayant des limites communes avec celles du bassin de la Couze sont (cf. fig. 2):

- à l'ouest, le système de Ladoux de Coly (n°29);
- au sud, le système du Boulet-Blagour de Souillac (n°24);
- au sud-est, le système de l'Oeil de Ladoux (n°26);
- à l'est, les systèmes associés aux sources n° 14-15-16 et 21 (cf. carte n°3).

a) Le système de Ladoux de Coly (n°29) fait actuellement l'objet d'une étude hydrogéologique détaillée (P. Marchet, 1984). Un traçage effectué non loin de la perte de Gignac (n°23) confirme les limites que nous proposons dans ce secteur. De plus, en prenant comme module spécifique les 13.7 l/s/km^2 trouvés pour la Couze, la superficie du système du Coly serait de 75 ou 80 km^2 (P. Marchet; 1984). Compte tenu des limites actuellement connues de ce système, les limites communes avec le bassin de la Couze que nous proposons ménagent bien une superficie de 75 à 80 km^2 pour ce système.

b) Au sud le système du Boulet-Blagour a été étudié par J.P.Fabre (1983). Les limites qu'il propose s'accordent parfaitement avec celles présentées précédemment.

c) Le système de l'Oeil de Ladoux, situé au sud-est du Causse de Martel, est encore mal connu. Aucune donnée de débit n'existe pour cette source. Toutefois, grâce à des mesures ponctuelles de débits réalisées par J.P.Fabre (1983) on peut, par comparaison avec le débit des autres sources de la région à la même date, estimer la superficie de ce système à 40km^2 ($\pm 10\text{km}^2$). Le traçage à partir de la perte de Cuzance (J.P.Fabre;1983) montrant la source de Cacreys (n°25) comme point de résurgence, le bassin d'alimentation de l'Oeil de Ladoux ne peut donc se développer qu'en direction du nord. Les limites que nous proposons sont en accord avec cette constataion.

d) Les impluvium associés aux sources n° 14,15,16 et 21 sont très certainement de faible dimension. Les surfaces laissées à l'est du bassin de la Couze expliquent largement les faibles débits de ces sources.

P.Morin (rapport non publié) proposait d'inclure dans le bassin de la Couze une partie du Bassin versant de la Tourmente, ruisseau coulant à l'est de la Couze sur les grés du Trias au nord de la faille de Meyssac, (cf. fig: 2 et fig: 9) à cause de pertes se trouvant au contact de la faille. Cette hypothèse est géologiquement impossible puisque la Tourmente coule sur les formations imperméables du Toarcien 50m sous la base du Bajocien. Il est également peu probable que la faille de Meyssac joue le rôle d'un drain conduisant les eaux vers l'ouest. En effet, nous avons vu qu'il existait dans la vallée de la Tourmente un décrochement de direction N 150° (cf. fig. 9) le long duquel se trouve la source du Maurel (n°16).

Enfin, P.Morin émettait l'hypothèse d'une alimentation lointaine par les grés permo-triasiques. S'il est vrai que certains forages profonds ont rencontré de l'eau dans les grés du Permien, il n'en demeure pas moins que leur contact avec les calcaires du Dogger est pratiquement inexistant. Dans ces conditions seule la faille de Meyssac pourrait permettre cette alimentation.

De toute manière, la superficie trouvée par le calcul pour l'impluvium de la Couze et celle obtenue grâce à l'étude de terrain étant très proches, cette alimentation, si elle existe, est certainement négligeable.

3.4.3 Conclusion

La superposition presque parfaite entre un ancien réseau hydrographique superficiel et une organisation karstique des écoulements impose des conditions paléogéographiques particulières.

En effet, il est nécessaire que l'abaissement du niveau de base ait été à la fois régional et continu. De ce fait, les gradients hydrauliques auraient conservé la même direction durant le Quaternaire. De plus, la superposition observée n'a pu se produire que parce que la structure géologique était simple.

Des phénomènes secondaires ont pu également contribuer à cette superposition. L'amont des systèmes a longtemps été en partie rendu étanche par les dépôts à faciès sidérolithiques. Ces formations imperméables, propres à concentrer les eaux, ont fortement contribué à la construction des différents systèmes karstiques. Les limites de ces systèmes étaient alors les limites topographiques du ruissellement de surface sur les dépôts à faciès sidérolithique. Le décapage progressif de ces formations, avec la conservation des directions des gradients hydrauliques a dû aboutir à la superposition observée.

Enfin, bien que la structure géologique soit simple, on peut penser que, durant le Quaternaire, des mouvements tectoniques de faible amplitude aient orienté les écoulements des eaux. Ainsi, on peut penser qu'un affaissement progressif le long les failles de Meyssac et de Chasteaux, même très faible mais progressif, ait pu contribuer à l'établissement des bassins d'alimentation tels que nous venons de les décrire. Toutefois, aucun indice de terrain ne permet de confirmer cette hypothèse. De plus, le phénomène de superposition étant général sur le Causse de Martel, il faudrait trouver de tels mouvements tectoniques sur l'ensemble du Causse.

La superposition entre les bassins versants d'un ancien réseau hydrographique superficiel et les limites des systèmes karstiques permet donc très rapidement de connaître la superficie approximative d'un système karstique du Causse de Martel.

3.5 Les systèmes karstiques du secteur étudié

Les expériences de traçage ont montré trois sources pérennes constituant l'exutoire de trois systèmes de drainage karstiques. Ce sont: La source du Blagour (n°1), la source du Sorpt (n°2) et la source du Moulin de Laguenay (n°5, 5').

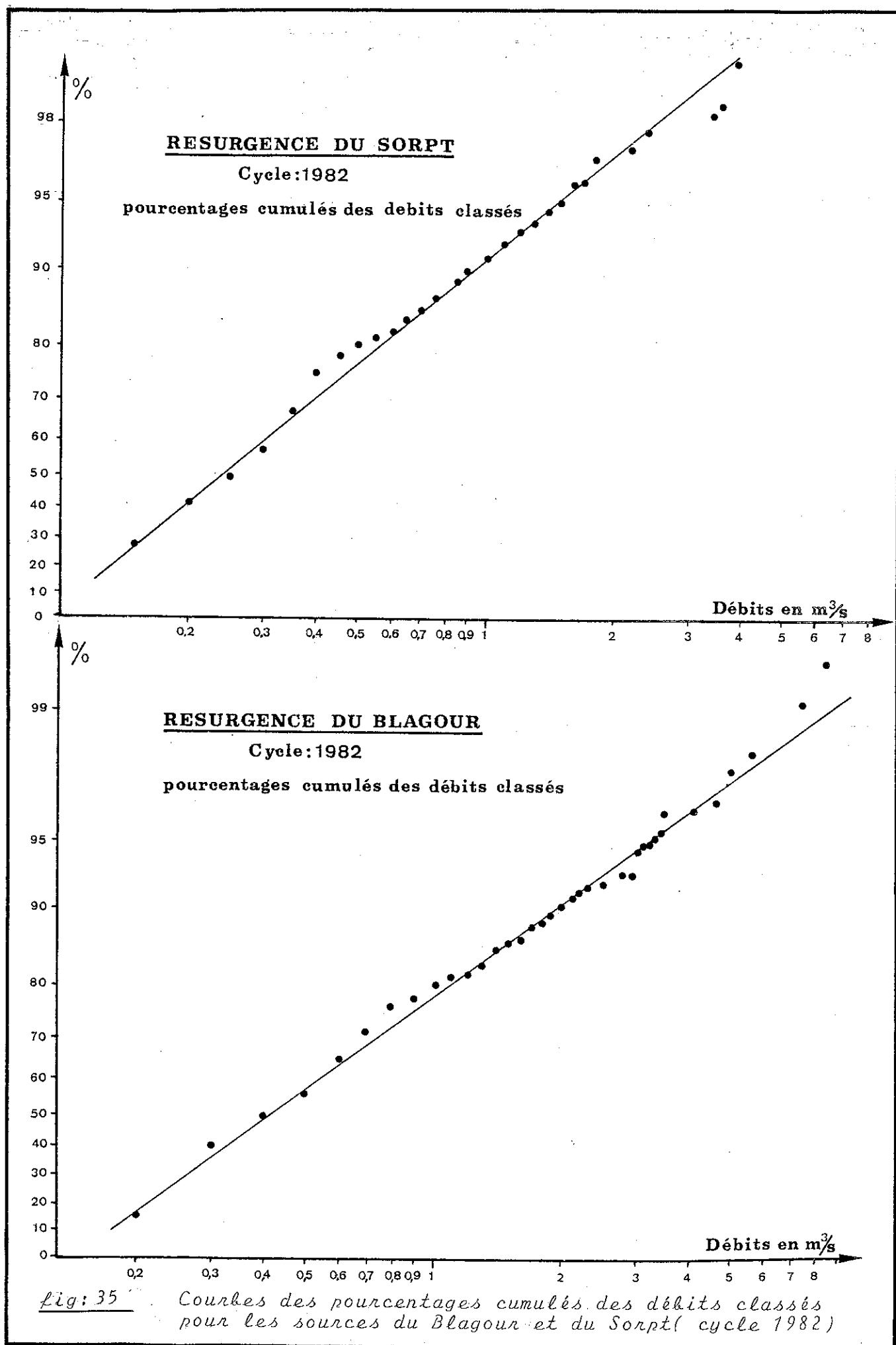
Ce résultat ne permet pourtant pas de conclure sur l'indépendance de ces différents systèmes.

Deux méthodes décrites par A. Mangin (1975) permettent de prouver la dépendance ou l'indépendance de deux systèmes: l'étude des débits classés* et l'étude des corrélations entre les débits instantanés des différentes sources. Cette dernière méthode n'a pas pu être employée à cause des nombreux vannages perturbant le régime des cours d'eau, mais également, à cause de l'absence de valeurs de bonne qualité pour la station "B" (cf. fig. 26).

La fig. 35 présente la courbe des pourcentages cumulés des débits classés pour les sources du Sorpt et du Blagour pour le cycle 1982. Aucune rupture de pente n'existe sur ces deux stations. Il semble donc qu'il n'y ait, ni pour l'une ni pour l'autre, de fuites vers l'extérieur du système, ni d'apports vers le système. En outre, ce résultat prouve qu'aucun changement durable de la répartition des débits de la source du Blagour n'est corrélé à un changement de la répartition des débits de la source du Sorpt. Ainsi, il n'existe pas d'interconnection temporaire importante entre ces deux systèmes. Cependant, il est délicat de conclure à l'indépendance de deux systèmes à partir de l'étude d'un seul cycle, qui peut être particulier.

De plus, cette méthode employée seule, ne permet pas de conclure à l'indépendance de deux systèmes. En effet, il pourrait exister une interconnection permanente de ces deux sys-

* La méthode des pourcentages cumulés des débits classés sera présentée en détail au paragraphe 4



tèmes sans pour cela que l'on puisse observer sur l'une ou l'autre source, de changement dans la répartition des débits classés.

Cependant, dans le cas qui nous intéresse, les traçages ont prouvé qu'il n'existe pas de relation de drainage entre ces deux systèmes. Il y a donc de fortes présomptions pour que les systèmes du Sorpt et du Blagour soient indépendants. Des arguments topographiques viennent conforter cette hypothèse, puisque ces deux sources sont situées à l'aval de deux grandes vallées sèches.

Aucune étude particulière n'a pu être menée sur la source du Moulin de Laguenay. Mais, compte tenu de sa position topographique et des résultats des traçages, il est probable que ce système soit indépendant de celui de Blagour.

Dans ces conditions, nous supposerons que le secteur étudié est drainé par trois systèmes karstiques. Ce sont :

1^o Le système du Blagour qui avec 37km^2 , est le système le plus important. 33.7% de sa superficie n'est pas karstique (bassin versant de la Couze-perte).

2^o Le système du Sorpt dont la superficie est de 21km^2 . La partie non karstique de ce système est uniquement constituée par les bassins versants endoreiques se développant sur les formations tertiaires à faciès sédolithique.

3^o Le système du Moulin de Laguenay, d'une superficie de 4.5km^2 , est constitué de 77.7% de zone non-karstique (bassin versant du ruisseau de Rugeat en amont de la perte de Lesparce n°8).

Remarques :

a) Les superficies des trois systèmes définis précédemment ont été planimétrées à partir des limites présentées sur la carte n°3. Les limites séparant les systèmes entre eux sont les limites des paléo-bassins de surface associés aux vallées sèches aboutissant aux trois exutoires.

b) Du fait de la position de la station "S" (cf. fig. 26) les débits obtenus englobent les eaux ruissellant sur les bassins V, VI, VII (cf. carte n°3). Ces trois bassins

ne font pas partie du système karstique du Sorpt. Ils représentent environ 7% de la superficie totale de ce système.

Les débits du Blagour sont obtenus par différence (cf. paragraphe III.2.1.4.3) entre les débit de la Couze et les débits du Sorpt. Ainsi, le système du Moulin de Laguenay sera confondu avec celui du Blagour dont il représente 12%.

c) En supposant que les fonctionnements du système du Blagour et de celui du Sorpt sont proches, on peut comparer le rapport de leurs débits et le rapport de leurs surfaces.

Pour les surfaces:

$$\frac{\text{Surface du Blagour}}{\text{Surface du Sorpt}} = \frac{37 + 4.5}{21.5 + 1.5} = 1.84$$

Pour les débits:

$$\frac{\text{Débit du Blagour}}{\text{Débit du Sorpt}} = \frac{.565}{.300} = 1.88$$

Bien que cette comparaison ne constitue pas une preuve, la proximité de ces deux résultats montre que les limites proposées ont une forte probabilité de correspondre aux limites réelles.

4 HYDRODYNAMIQUE

Les lois classiques régissant les écoulements en milieux poreux ou fissurés, et les méthodes qui s'y rattachent, impliquent une certaine homogénéité statistique des caractéristiques intrinsèques du milieu (porosité, perméabilité, emmagasinement...). De plus, il est nécessaire qu'elles varient de manière continue en tout point de l'aquifère.

Dans le cas du karst, ces deux conditions sont rarement satisfaites. En effet, la karstification, en hiérarchisant les écoulements, introduit une hétérogénéité à tous les niveaux l'observation (A.Mangin 1975, M.Bakalowicz, 1979). En outre, la présence de structures drainantes provoque des discontinuités hydrauliques importantes. Ainsi, dans la plupart des cas, l'emploi des méthodes adaptées aux milieux poreux ne fournira pas

pour les aquifères karstiques, de résultats compatibles avec la réalité (A.Mangin 1984).

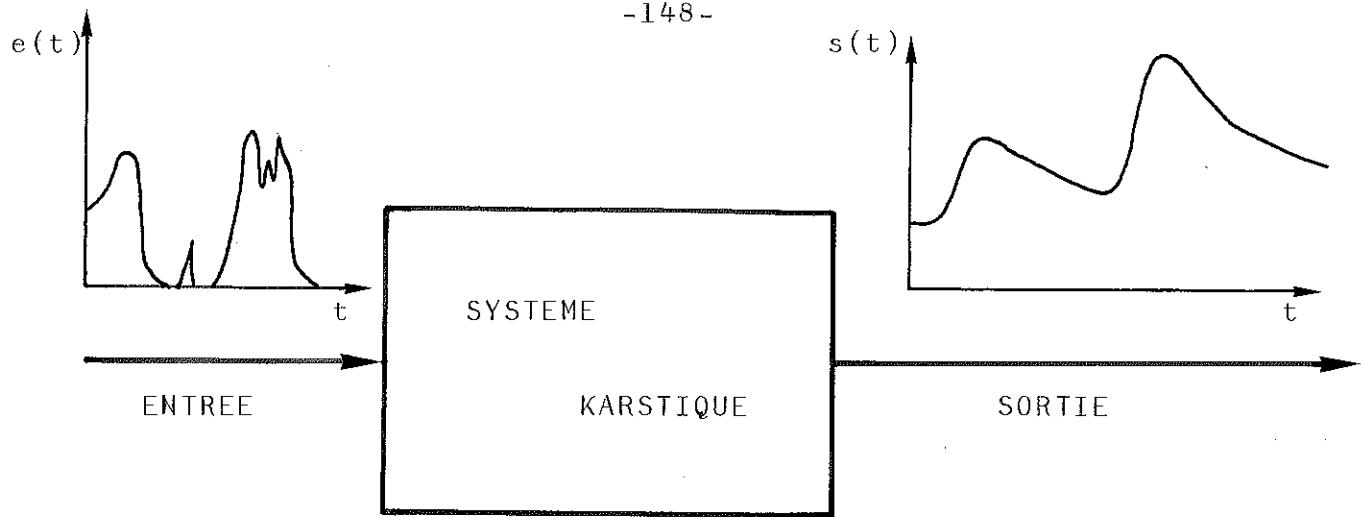
Le problème majeur pour étudier le milieu karstique réside donc dans les discontinuités engendrées par le drainage et par la structure que ce dernier détermine. La méconnaissance dans le détail de cette structure et des interactions entre les différentes parties de l'aquifère ont conduit A.Mangin (1975) et M.Bakalowicz (1979) à étudier ce milieu dans son ensemble. Le système karstique défini au paragraphe III.3 constituera cet ensemble. Cette entité répondant à la définition générale des systèmes, les méthodes et les outils (recherche opérationnelle) de l'analyse des systèmes pourront lui être appliqués (A.Mangin, 1975). Ainsi, le système karstique sera assimilé à une boite noire possédant une entrée, la pluie, et une sortie, les débits. La caractérisation de la structure de cette boite noire se fera à partir de l'analyse des chroniques d'entrée, la pluie, et des chroniques de sortie, les débits.

La *fig. 36* rappelle les principes de base de la recherche opérationnelle. De nombreuses études ont montré que le karst, comme les bassins versants de surface, était rarement des systèmes linéaire*. De plus, les systèmes karstiques sont le plus souvent variants, c'est à dire, que la réponse impulsionale variera dans le temps.

Ainsi, bon nombre de méthodes classiques de l'étude des systèmes seront mal adaptées à l'étude du karst. Toutefois, en choisissant la période d'étude ou en décomposant le système en plusieurs sous-systèmes, on pourra tout de même s'inspirer de ces méthodes pour caractériser le système karstique (A.Mangin, 1975).

* Un système est linéaire s'il répond aux deux conditions suivantes :

- 1° Si y_i est le signal de sortie correspondant à un signal d'entrée x_i , alors la réponse à un signal d'entrée λx_i , est λy_i , λ étant une constante.
- 2° Si y_i est la réponse à x_i
Si y_j est la réponse à x_j } alors la réponse à x_i+x_j est y_i+y_j .



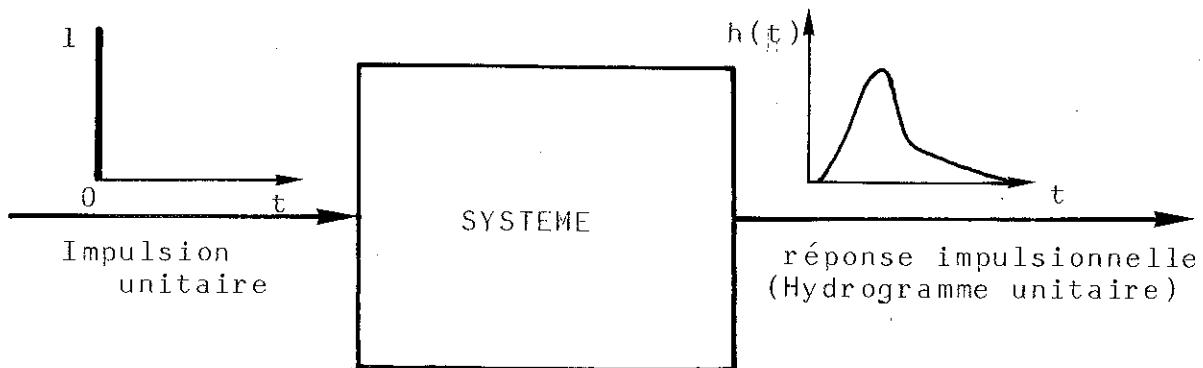
SYSTEMES LINEAIRES ET INVARIANTS

$$s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} e(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau$$

ou encore

$$s(t) = e(t) * h(t)$$

où $*$ représente le produit de convolution.



SYSTEMES LINEAIRES ET VARIANTS

$$s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} e(\tau) \cdot h(t, \tau) d\tau$$

Dans ce cas la réponse impulsionnelle variera avec le temps.

fig:36

Rappels de recherche opérationnelle

diap 14

Pour appréhender la structure de l'aquifère karstique du Dogger à partir de son fonctionnement hydrodynamique, nous emploierons des méthodes mise au point par A.Mangin (1975, 1981, 1982) et se référant aux techniques de traitement du signal. Ce seront :

a) L'étude des débits classés

Cette méthode permet de mettre en évidence des structures particulières, telles que la présence de trop-plein.

b) L'étude des courbes de récession

Cette méthode permet d'estimer l'importance du karst noyé et rend compte des modalités d'infiltration. Grâce à une classification simple, il est possible de cerner la structure de l'aquifère par comparaison avec d'autres systèmes connus.

c) Les expériences de traçages

Lorsque le système peut être estimé invariant, l'étude du flux massique de restitution apporte des renseignements sur la modalité du transit et du transfert dans une partie du système et à une date donnée.

d) L'analyse corrélatoires et spectrales

Dans ce cas, le système karstique est identifié à un filtre laissant plus ou moins passer l'information. Ainsi, à partir de l'étude des chroniques d'entrée et de sortie, on pourra caractériser le degré d'organisation des systèmes karstiques et la manière suivant laquelle ils fonctionnent.

4.1 Analyse des pourcentages cumulés des débits classés

4.1.1 Méthode

La courbe des débits classés, méthode classique en hydrologie de surface, est employée pour mettre en évidence des variations du régime des sources karstiques. Les variations peuvent alors être expliquées, par exemple, soit par "fuite" d'eau vers l'extérieur du système, soit par "apport" d'eau vers le système. Cette courbe est construite en portant, pour une classe de débit donnée, le nombre de jours pendant lesquels ce débit est observé. Si une classe possède une nombre de jours anormalement faible ou anormalement élevé, cela se traduira sur la cour-

be par une discontinuité. Selon les conditions de terrain, elle pourra souligner un fonctionnement particulier de l'aquifère karstique.

A la courbe des débits classés cumulés, peut être ajustée un modèle défini par une loi de probabilité dérivant de celle de Laplace (A.Mangin; 1975). Cet ajustement sera utilisé à des fins uniquement descriptives. En particulier, il permettra de comparer les différentes courbes et facilitera l'interprétation.

La loi choisie est de la forme suivante (A.Mangin 1975):

$$F(x) = \text{Prob.}(X < x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{u}{2}} du ,$$

avec 1°) $X = a(Q - Q_0)$ où $a > 0$,
2°) $X = a(\log Q - \log Q_0)$ où $a > 0$,
a étant une constante.

Les différents paramètres de cette loi sont obtenus comme suit (A.Mangin, 1975):

$$1°) \bar{Q} = \frac{0.79788}{a} + Q_0$$

$$\sigma_Q = \frac{0.6028}{a} = 0.756 (Q - Q_0)$$

où * a est la pente de la droite $X = a(Q - Q_0)$
* Q_0 est l'abscisse de probabilité nulle

$$2°) \bar{Q} = Q_0 e^{\frac{A^2}{2}}$$

$$\sigma_Q = Q_0 \sqrt{e^{2A^2} - e^{A^2}}$$

$$* A = \frac{2.3}{a} \quad \text{où } a \text{ est le module de la courbe } X = a(\log Q - \log Q_0)$$

* Q_0 est l'abscisse de probabilité nulle.

Selon les cas, il faudra employer la loi arithmétique ou la loi logarithmique pour obtenir une bonne linéarité.

En pratique, on reporte les pourcentages cumulés des débits classés sur un papier fonctionnel dont l'axe des ordon-

nées est gradué selon la loi de probabilité. L'axe des abscisses est, selon le type de la loi choisie, gradué en coordonnées arithmétique ou en coordonnées logarithmiques.

Souvent, il est nécessaire d'éliminer les débits d'étiage qui évoluent de manière déterministe (A. Mangin 1975).

Enfin, un nombre important de cycles doit être traité pour permettre une interprétation fiable. Sur un cycle, les informations fournies par cette méthode ne seront pas toujours faciles à interpréter.

4.1.2 Résultats et discussion

Nous avons vu au paragraphe III.3.3 que cette analyse appliquée aux débits de la Couze permettait de mettre en évidence une rupture qu'il était possible d'assimiler à une petite fuite de l'ordre de 4% du volume de transit global, intervenant au dessus d'un seuil de $0.8\text{m}^3/\text{s}$ (cf. fig. 34). Pour l'étude du bassin d'alimentation de la Couze nous avions négligé cette fuite. Néanmoins, on peut chercher à interpréter cette discontinuité de la courbe des pourcentages cumulés des débits classés. Si l'on écarte une erreur systématique sur les mesures des débits de la Couze, la seule hypothèse pouvant expliquer un tel phénomène est une fuite de l'aquifère le long de la Faille de Chasteaux, non loin du village du même nom. En effet, il existe une petite source (n°13) située sur le flanc liasique du relief de faille, à la base d'un petit banc calcaire qui pourrait bien être le point de réapparition de ces eaux. Cependant, aucun argument ne nous permet de conclure sur la provenance des eaux de cette source.

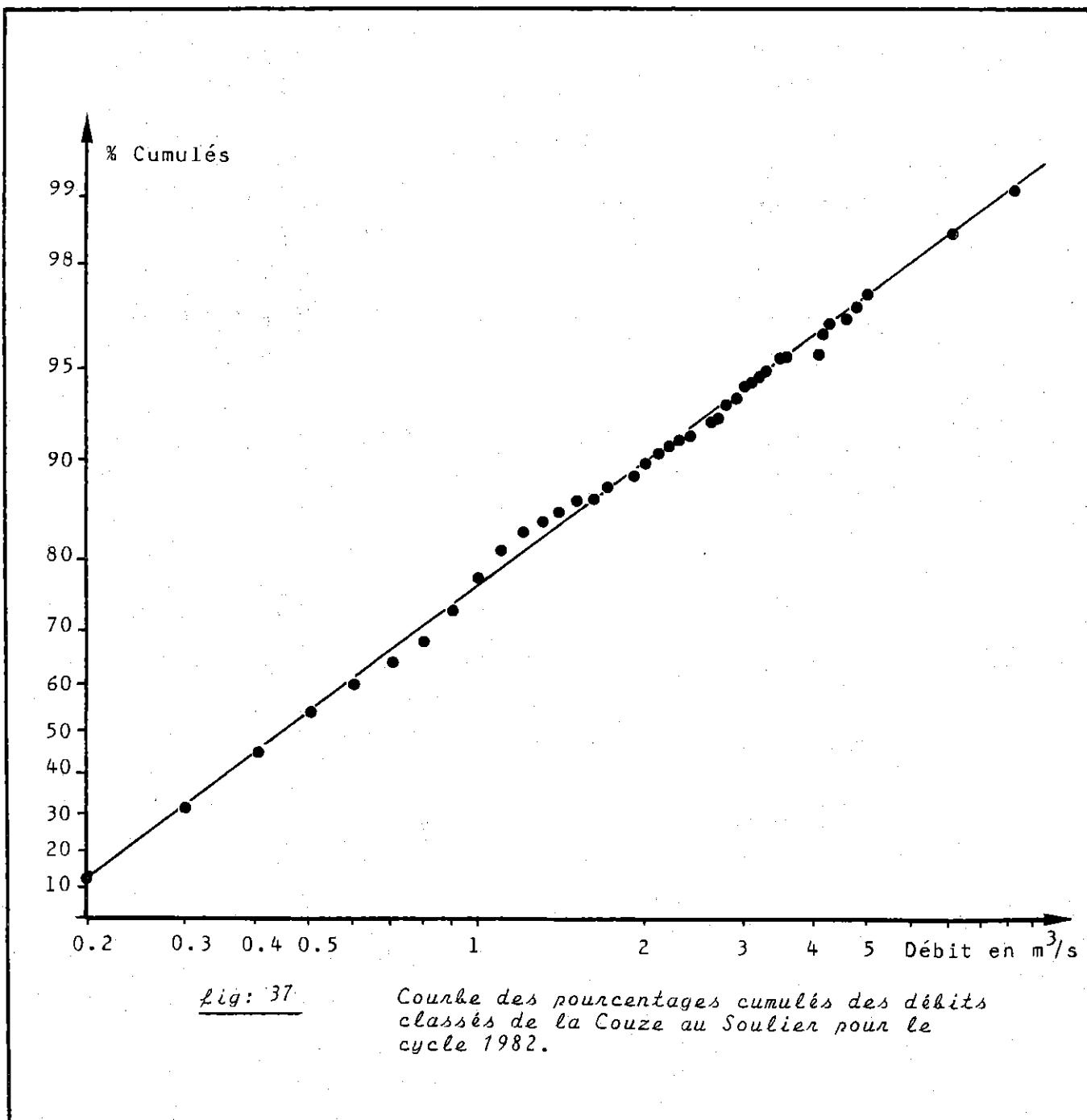
Néanmoins, ce résultat montre que les études que nous allons mener sur cette chronique de débits prendra en compte la quasi totalité des phénomènes hydrodynamiques se produisant dans cette région de l'aquifère karstique du Dogger.

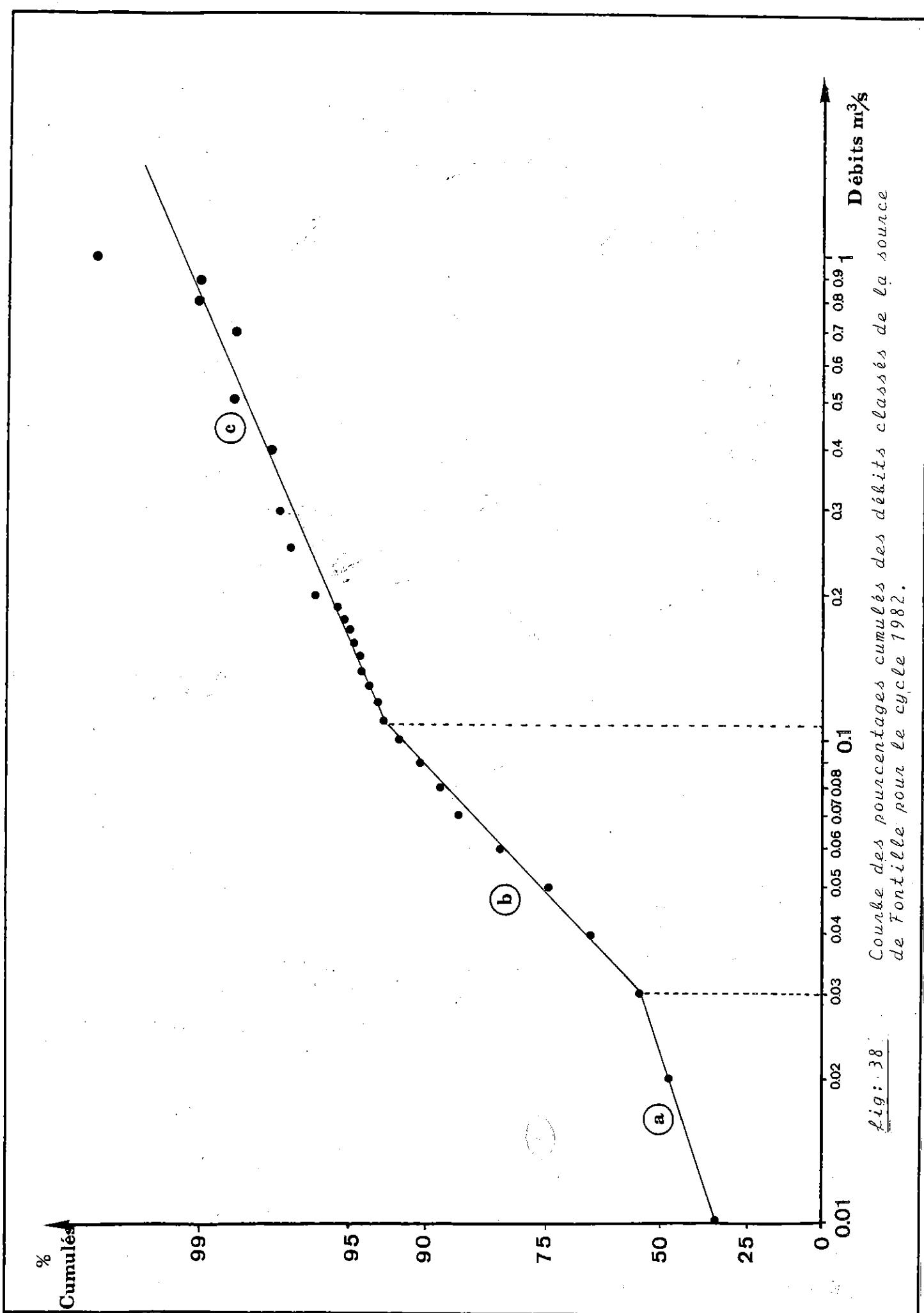
De plus la même analyse menée sur le cycle 1982 ne montre aucune discontinuité (cf. fig. 37) il en est de même pour les sources du Sorpt et du Blagour (cf. fig. 35).

La courbe des pourcentages cumulés des débits classés tracée pour la source de Fontille (cycle 1982) est présentée

sur la *figure 38*. Il existe deux ruptures de pente. La première se produit pour $0.03\text{m}^3/\text{s}$. La pente de la droite étant plus forte après ce point, on en déduit que le régime de la source n'est pas aussi important que ce que pouvait laisser croire le premier tronçon de droite. Ainsi, à partir de $0.03\text{m}^3/\text{s}$, une partie des eaux qui aurait dû passer par la source de Fontille (n°3) ne le fait pas. A partir, de $0.110\text{m}^3/\text{s}$, la tendance s'inverse. Un apport exterieur grossit anormalement de débit de cette source.

Ce second régime est facile à interpréter. En ef-





fet, nous avons vu au paragraphe II.2.2.2.4 que des galeries supérieures du réseau spéléologique de la Couze avaient été exploitées jusqu'à proximité de l'Event d'Entrecors. Nous avons également vu que le traçage réalisé à partir de la "galerie métrique" avait montré comme point de réapparition l'Event d'Entrecors (n°6; cf. Paragraphe III.3.1.2). Enfin, on sait que la source de Fontille (n°3) et l'Event d'Entrecors (n°6) sont étroitement liés puisqu'il existe une relation linéaire entre le niveau de l'eau dans l'Event et le débit de la source (cf. paragraphe III.2.1.3.1.d). Les galeries supérieures du réseau spéléologique, s'envoyant en hautes eaux, forment certainement un drain temporaire aboutissant à l'Event d'Entrecors (n°6) et, par conséquent, à la source de Fontille (n°3). C'est ainsi que nous interprétons le régime de la source après le second point de rupture ("c").

Le régime correspondant à la droite "b" est plus délicat à interpréter. Nous pensons, compte tenu de l'ensablement de la source de Fontille et de sa position topographique, que lorsque la charge dépasse un certain seuil, il se produit une fuite vers le drainage principal du Blagour situé plus au nord (cf. carte couleur n°3). Malheureusement nous n'avons pas eu le temps de prouver ce fonctionnement particulier par traçage.

4.1.3 Conclusion

L'analyse des pourcentages cumulés des débits classés ne nous a pas permis de mettre en évidence de discontinuités marquées pouvant être interprétées comme des fonctionnements particuliers des systèmes qui nous intéressent.

Toutefois, au niveau de la source de Fontille, nous pouvons émettre les hypothèses suivantes quant à son fonctionnement:

1° En étiage la source de Fontille est l'exutoire d'un petit "système" indépendant.

2° Lorsque la charge hydraulique atteint un certain seuil correspondant à un débit de $0.03\text{m}^3/\text{s}$ à la source, ce petit "système" alimente le drain principal du Blagour (système du Blagour proprement dit).

3° En hautes eaux (débits supérieurs à $0.110m^3/s$) les paléodrains du système du Blagour redeviennent fonctionnels. L'Event d'Entrecors et par conséquent la source de Fontille fonctionnent comme trop-plein du système du Blagour.

Enfin, les débits de la Couze au Soulier qui intègrent 3 systèmes ne montrent pas d'anomalies marquées et permettent d'appréhender le fonctionnement de l'ensemble des systèmes du secteur étudié.

Remarque: Le fonctionnement interne du système du Blagour ne peut pas être mis en évidence par la courbe des pourcentages cumulés des débits classés puisque les débits mesurés au Soulier englobent l'ensemble des eaux issues du système.

4.2 Analyse des courbes de récession

En hydrologie du surface, la courbe de récession, partie de l'hydrogramme allant de la pointe de crue à la fin du tarissement rend compte à la fois des modalités du ruissellement au sens large (courbe de décrue) et de la vidange des différents aquifères alimentant le cours d'eau en période non influencée (courbe de tarissement: G.Réménieras; 1976).

A.Mangin (1975) a appliqué ce principe aux systèmes karstiques en supposant que la courbe de décrue était caractéristique du mode d'infiltration (ruissellement souterrain) et la courbe de tarissement de la vidange des zones capacitatives de l'aquifère (karst noyé).

De ce fait, le système karstique est scindé en deux sous-systèmes, étudiés séparément; le sous-système infiltration et le sous-système karst noyé.

L'analyse des courbes de récession va donc permettre de caractériser ces deux sous-systèmes à l'aide de quelques paramètres simples. Elle permettra également de cerner la structure du système étudié en comparant ces caractéristiques hydrodynamiques à celles de systèmes dont la structure est bien connue.

Remarque: La méthode que nous allons employer ne doit pas être utilisée à des fins de prévision, mais seulement pour décrire, par comparaison, la structure du système étudié. En effet, l'étude des courbes de récession ne peut pas donner de résultats rigou-

reux à cause de la non-linéarité et de la non-stationnarité (systèmes variants) de la plupart des systèmes karstiques. Ainsi, du fait de la non-linéarité, la forme des courbes de récession risque d'être influencée par l'intensité et la forme de l'averse ayant provoqué la crue. Par ailleurs, l'hydrogramme traité est la fonction de sortie, qui tient compte non seulement de la réponse impulsionale (hydrogramme unitaire), mais aussi de la mémoire des évènements antérieurs; en toute rigueur il faudrait travailler sur l'hydrogramme unitaire. Cela n'est pas possible puisqu'il faudrait que l'hydrogramme traité corresponde à une pluie unitaire, ce qui n'est pas observé dans la région étudiée. Il serait possible d'identifier l'hydrogramme unitaire par des méthodes appropriées (déconvolution par exemple) mais ces méthodes sont généralement laborieuses. Enfin, il faudrait reprendre ces calculs pour chaque crue puisque le système est variant. De ce fait, il est nécessaire d'étudier de nombreuses courbes de récession et de faire la moyenne des résultats obtenus. Le résultat final ne pouvant être qu'une image floue et approximative de la structure du système étudié. Toutefois, l'expérience prouve que cette méthode malgré sa difficulté de mise en œuvre, fournit des informations précieuses pour l'étude des aquifères karstiques.

4.2.1 Méthode

La méthode proposée par A.Mangin (1975) consiste à modéliser les courbes de récession de la manière suivante:

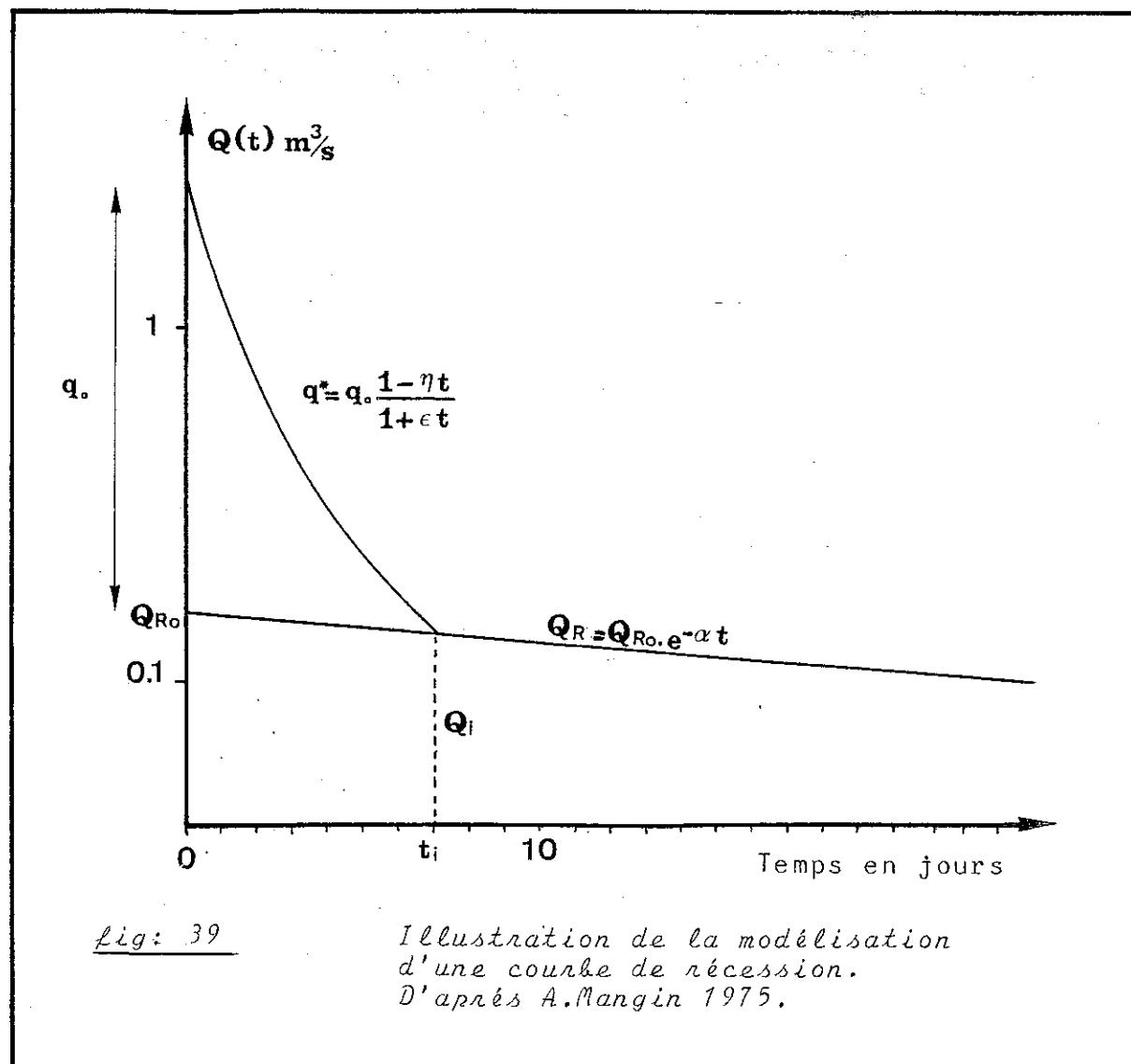
$$Q(t) = q_0 \frac{1-\eta t}{1+\epsilon t} + Q_{R_0} e^{-\alpha t} \quad (1)$$

où * t représente le temps

* α , ϵ et η sont des paramètres

* q_0 et Q_{R_0} sont des débits caractéristiques de la crue définis sur la fig. 39

Le premier terme de cette relation définit la courbe de décrue (vidange de la zone d'infiltration), le second terme, la courbe de tarissement (vidange du karst noyé).



4.2.1.1 Courbe de tarissement

La courbe de tarissement est définie par le coefficient de la loi de vidange de Maillet, qui s'écrit de la manière suivante:

$$Q_R(t) = Q_{R_0} e^{-\alpha t} \quad (2)$$

où t représente le temps.

* t représente le temps
 * R_0 est l'ordonnée de la courbe de tarissement à $t=0$

α , le coefficient de tarissement, doit être ajusté à la courbe de tarissement observée. Pour cela, on trace, sur papier semi-logarithmique, l'hydrogramme de crue étudié ($Q(t)$ en coordonnées logarithmiques et t en coordonnées arithmétiques). Lorsque les points s'alignent, on estime que le tarissement est atteint, c'est à dire que le 1^{er} terme de la relation (1) est nul. (cf. fig 39) α , la pente de cette droite sera obtenue puisque l'on se trouve en coordonnées semi-logarithmiques, grâce à la formule suivante :

$$\alpha = \frac{\log Q_1 - \log Q_2}{0.4343(t_2 - t_1)}$$

avec $Q_2 < Q_1$ et $t_2 > t_1$, Q étant exprimé en m^3/s et t en jours.

4.2.1.2 Courbe de décrue

A. Mangin (1975) propose d'ajuster à la courbe de décrue une fonction homographique du type :

$$q^*(t) = q_0 \frac{1 - \eta t}{1 + \epsilon t} \quad (3)$$

où * η et ϵ sont des paramètres à ajuster

* t est le temps

* $q_0 = Q(t_0) - Q_{R_0}$ (cf. fig. 39)

η est un paramètre pouvant être rapporté à la durée ou à la vitesse de l'infiltration. Il est obtenu de la manière suivante :

$$\eta = 1/t_i$$

où t_i représente la durée de l'infiltration après le passage de la pointe de crue.

ϵ , caractérisant la concavité de la courbe de décrue est appelé le coefficient d'hétérogénéité. A partir de la relation (3) on obtient :

$$\epsilon = \frac{q_0 - q^*(t)}{q^*(t)} - \frac{\eta q_0}{q^*(t)} \quad (4)$$

En pratique, il faut calculer point par point la courbe $\hat{q}^*(t)$ par différence entre $q(t)$ (l'hydrogramme de crue) et $q_R(t)$ (la courbe de tarissement).

Si une fonction homographique peut être ajustée à la courbe $\hat{q}^*(t)$, d'après la relation (3) la fonction $\gamma = f(t)$, où $\gamma = t/q^*(t)$, doit être une droite. Pour calculer ϵ , on prendra les points expérimentaux de $\hat{q}^*(t)$ s'alignant le mieux. A partir de la relation (4) on obtient plusieurs valeurs de coefficient dont il faut faire la moyenne arithmétique pour obtenir le ϵ le plus correct.

Pour permettre les comparaisons des courbes de décrue de différents hydrogrammes, on emploie la fonction $y(t)$ suivante:

$$y(t) = \frac{1 - \eta t}{1 + \epsilon t}$$

La fonction $y(t)$, comprise entre 0 et 1, nous permet de nous affranchir, en partie, des amplitudes variables des différentes crues étudiées.

4.2.1.3 Classification des systèmes karstiques

Un des objectifs de cette méthode est de pouvoir classer les différents systèmes karstiques à partir de leur fonctionnement. Pour simplifier cette classification, il a été choisi (A. Mangin; 1975) de caractériser le système karstique par deux paramètres, i et k , se rapportant respectivement au fonctionnement de la zone d'infiltration et au volume du karst noyé.

Le paramètre i est défini comme la valeur de $y(t)$ pour $t = 2$ jours.

Le paramètre k est défini comme le rapport entre le volume dynamique V_d et le volume de transit annuel V_t .

$$k = \frac{V_d}{V_t}$$

V_d est "le volume du karst moyé dont l'écoulement détermine les variations de débit Q à l'exutoire" (A. Mangin; 1975). Le volume dynamique est calculé de la manière suivante;

$$V_d = \int_0^{\infty} Q_i e^{-\alpha t} \quad (5)$$

Q_i est le débit au début du tarissement (cf. fig. 39) Si Q_i est exprimé en m^3/s et t en jours la relation (5) devient:

$$V_d = \frac{Q_i \times 86400}{\alpha}$$

Le volume de transit annuel, V_t , se calcule de la manière suivante:

$$V_t = Q_{moyen} \times 86400 \times 365$$

Si Q est exprimé en m^3/s .

Le calcul de k se fera avec le volume dynamique le plus important trouvé sur la période d'observation.

4.2.2 Choix des récessions pour lesquelles le tarissement est atteint. Problèmes rencontrés

L'analyse des courbes de récession ne peut s'effectuer que si le tarissement est atteint. De plus, pour calculer α avec une bonne précision, il faut observer le tarissement sur une période assez longue.

Trois épisodes de crues répondant à ces impératifs ont été retenus pour la Couze, le Sorpt et le Blagour. Ce sont:

* La crue du 27-05-81

C'est une crue d'amplitude moyenne qui marque la fin de

RESURGENCE DU SORPT

ANALYSE DES COURBES DE RECESSION

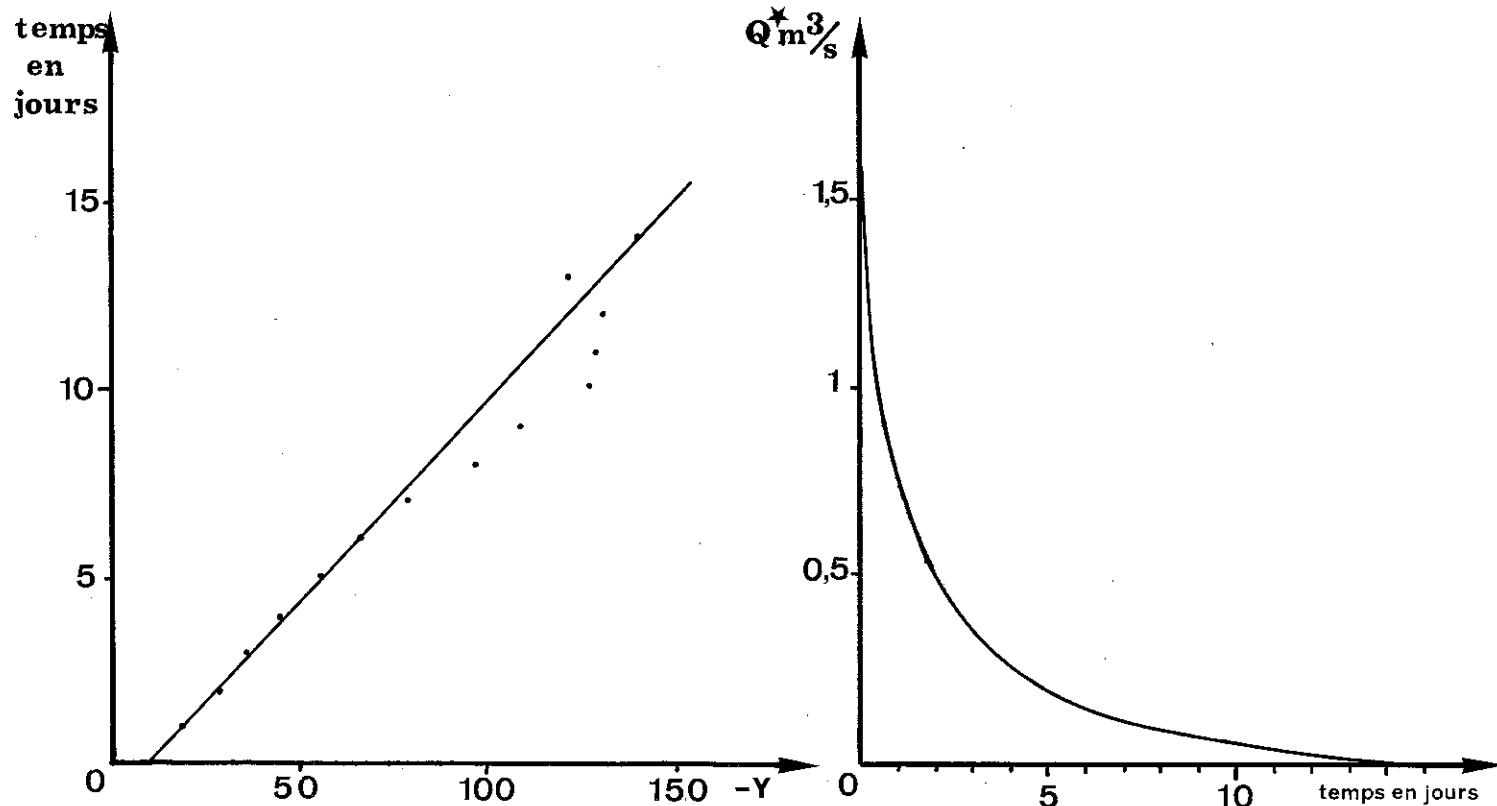
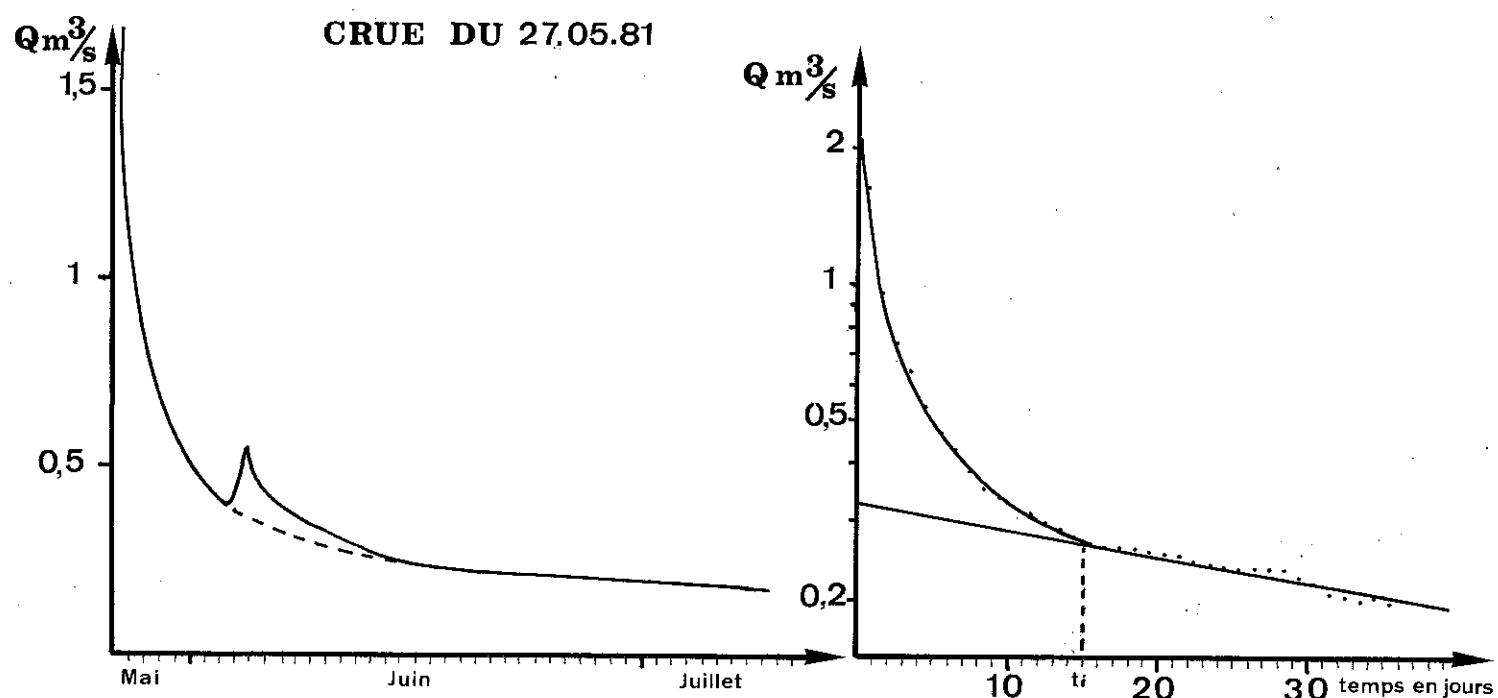


fig: 40

Exemple d'analyse des courbes de récession
Le Sorpt à Rozier, crue du 27.05.81.

de la période pluvieuse du cycle 1981. Le tarissement est interrompu par une crue due à un violent orage.

* La crue du 10-07-81

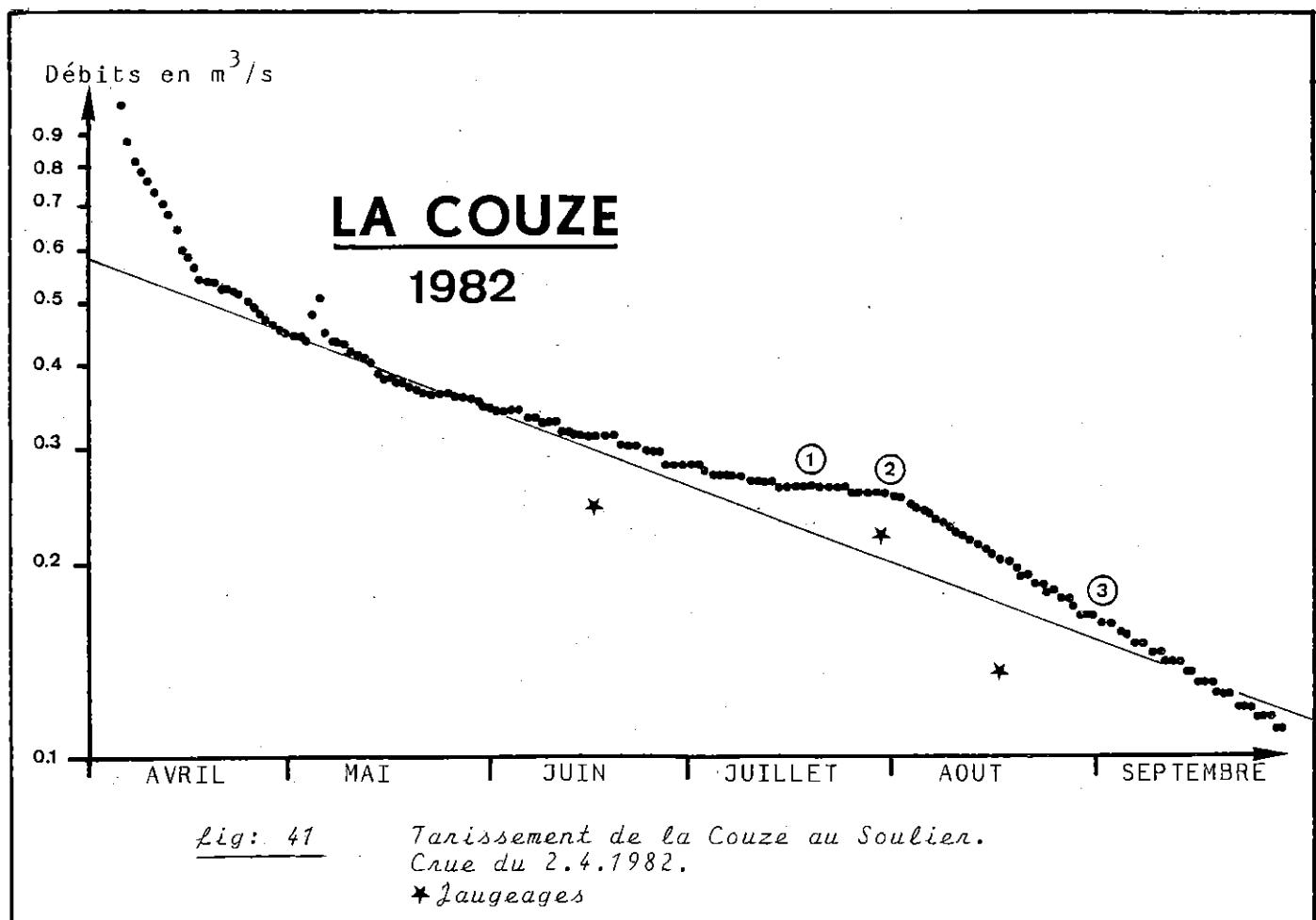
Cette crue d'amplitude moyenne s'est produite à la suite d'un violent orage. Le tarissement peut être observé sur près de deux mois.

* La crue du 2-04-82

C'est une crue de faible amplitude. Elle marque la fin de la période de hautes eaux. Le tarissement peut être observé sur près de 6 mois.

L'annexe IV fournit les diverses étapes permettant le traitement des différentes récessions. La fig. 40 présente un exemple d'analyse de courbe de récession.

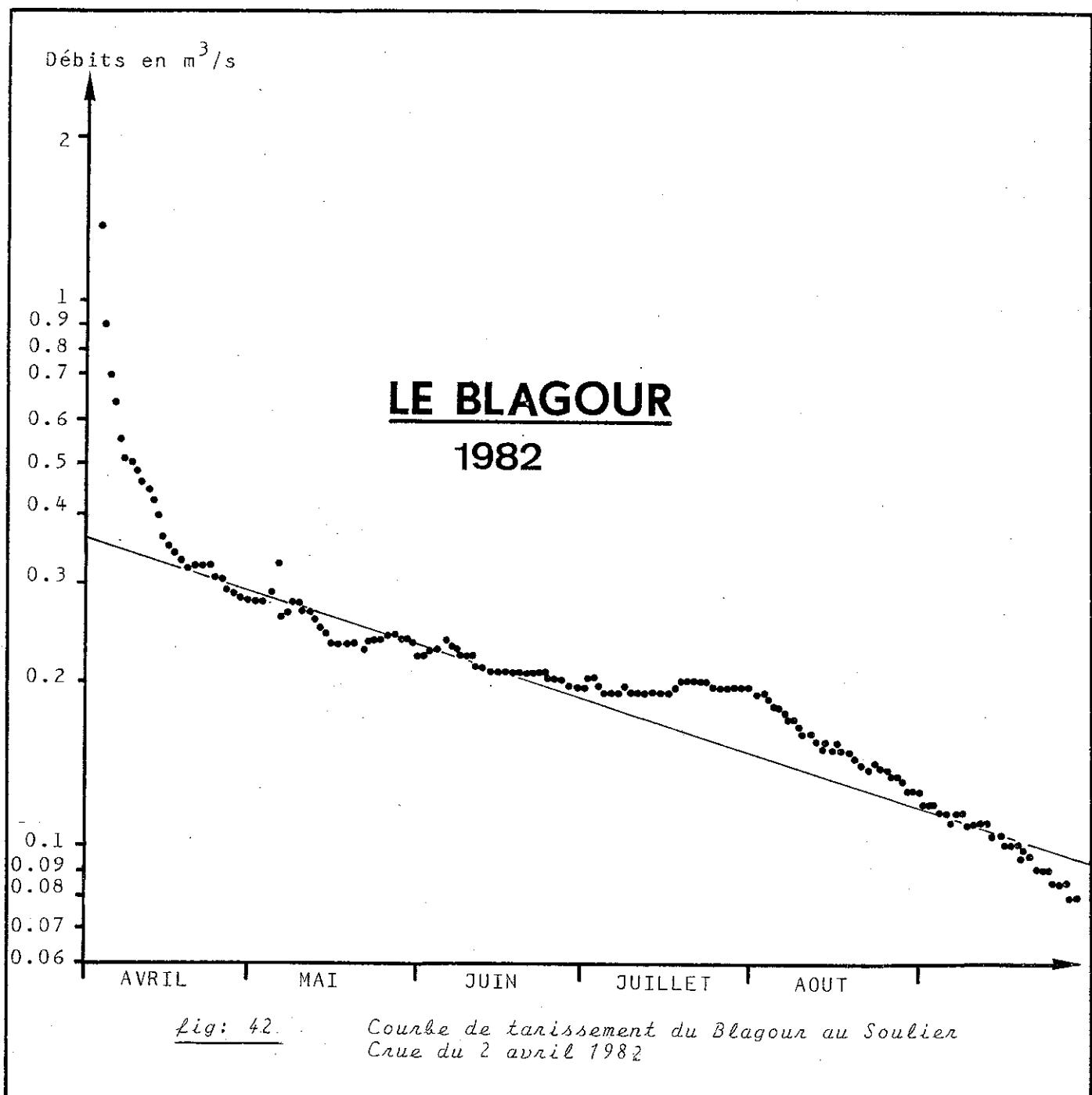
La récession pour la période estivale 1982 montre un tarissement très long (supérieur à 5 mois). Les figures 41, 42, 43, 44, 45 présentent respectivement les courbes de tarissement de la Couze au Soulier, du Blagour au Soulier, du Sorpt à



Roziers, de la source de Fontille et de la Couze-perte au Briant.

Les courbes de tarissement de la Couze et du Blagour (cf. fig. 41, 42) sont très proches. Ce résultat était prévisible puisque les débits du Blagour sont obtenus à partir de ceux de la Couze.

On remarque que cette courbe, tracée sur papier semi-logarithmique, présente une rupture de pente (2) intervenant après une période de faible décroissance des débits (1: cf. fig. 41):



après le 1^e août les débits s'alignent à nouveau suivant une pente plus importante.

Dans l'étude des courbes de récession, nous n'avons pas tenu compte de cette anomalie, que nous n'aurions pas vue si l'étiage n'avait pas été aussi long. Néanmoins, nous pouvons tenter d'expliquer la forme de ce tarissement.

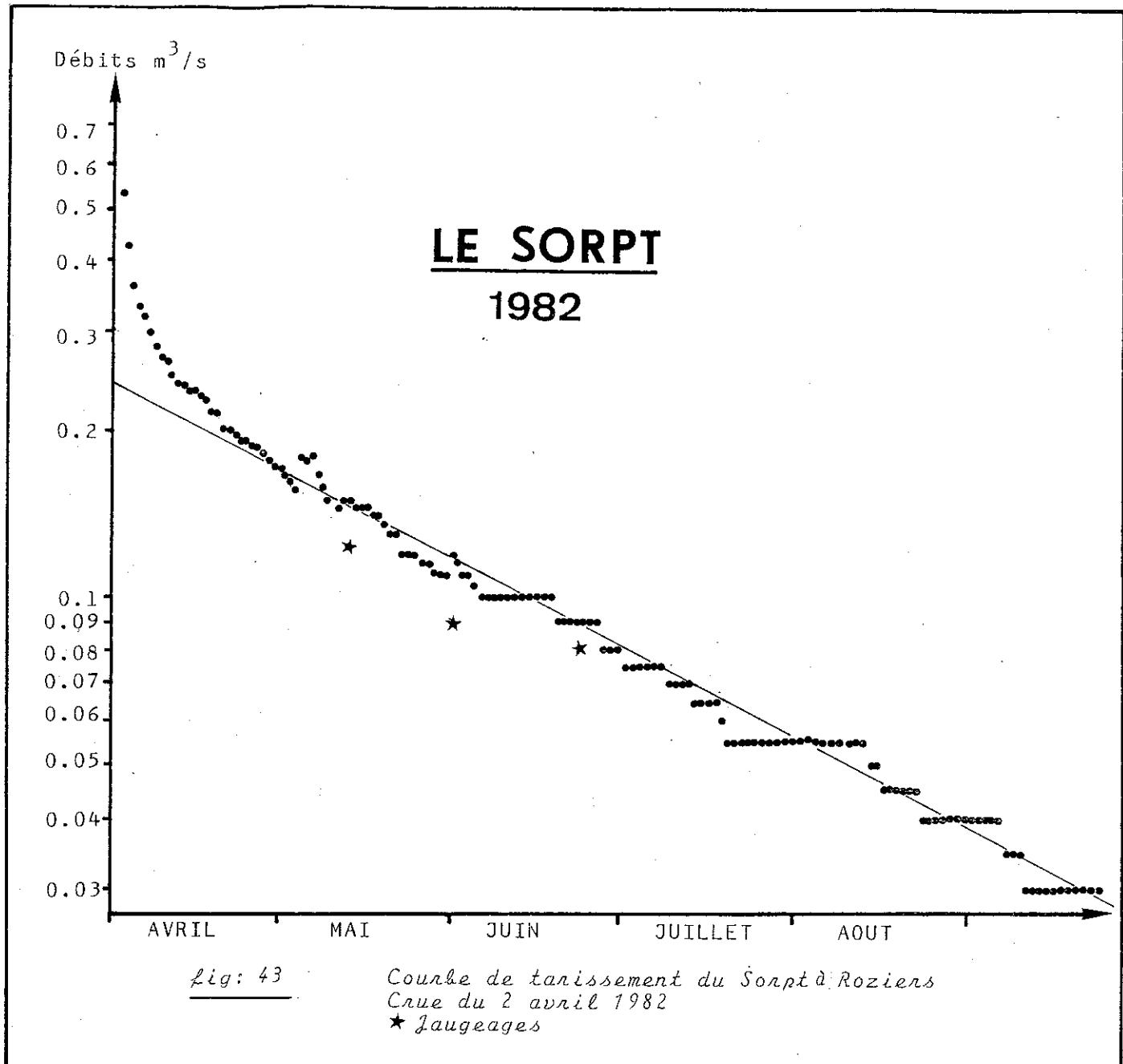
Deux hypothèses peuvent être émises:

1^o La forme de la courbe de tarissement est dûe à un mauvais fonctionnement de la station du Soulier durant l'étiage 1982. On peut, par exemple, penser à un colmatage du puits de limnigraphie. En effet, dans ce cas, les variations limnigraphiques sont sans relation avec les variations réelles de charge du cours d'eau.

2^o La structure de l'aquifère est à l'origine de ces différentes courbes de tarissement. Dans ce cas, on peut supposer que la zone noyée du système du Blagour est discontinue et hétérogène. Il existe plusieurs réservoirs aux caractéristiques hydrodynamiques différentes. Ainsi, lorsque l'étiage est prononcé, la vidange du karst noyé ne se fait pas selon une décroissance exponentielle, mais selon plusieurs, la vidange complète de certains réservoirs provoquant alors des ruptures de pente. Ce type de courbes de tarissement caractérise habituellement les systèmes complexes (A.Mangin 1975).

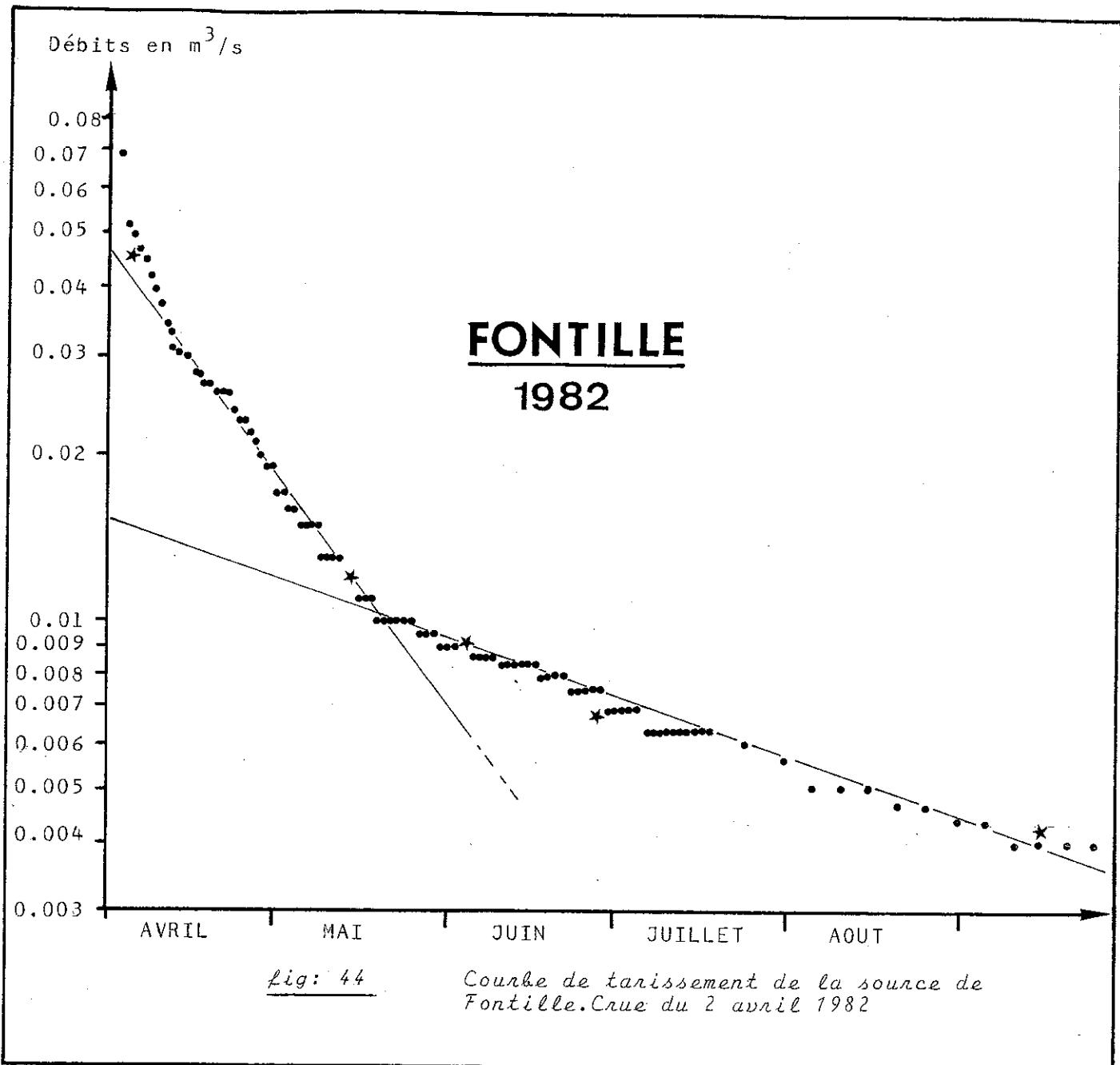
La courbe de tarissement de la source du Sorpt ne montre pas de telles anomalies. En revanche, elle prend une allure en "escalier" pour les très faibles débits (cf. fig. 43). Cela est dû à la mauvaise sensibilité de l'échelle limnimétrique de la station de Roziers (cf. paragraphe III 2.1.3.1.b).

La courbe de tarissement de la source de Fontille (cf. fig. 44) présente, sur papier semi-logarithmique, deux tronçons de droite distincts possédant des pentes très différentes. Là, seul le fonctionnement de l'aquifère peut expliquer cette allure de la courbe de tarissement. Ainsi, comme l'avait laissé prévoir l'analyse des pourcentages cumulés des débits classés, la source de Fontille apparaît comme l'exutoire d'une zone complexe de l'aquifère. La zone noyée alimentant la source en étiage est donc certainement discontinue et hétérogène. Ce double tarissement complique l'analyse des courbes de récession.

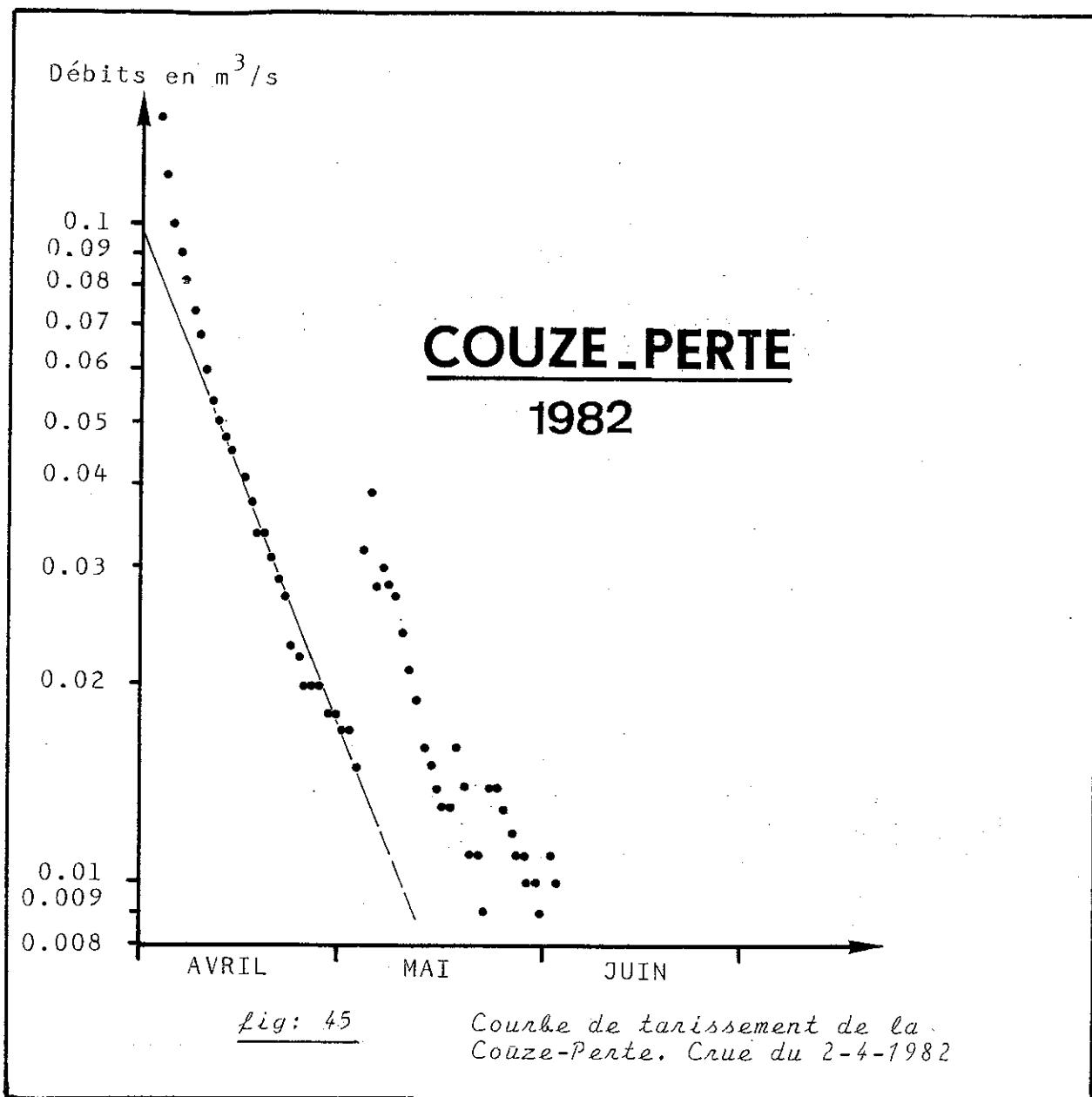


La source de Fontille n'étant pas l'exutoire d'un système indépendant mais plutôt un trop plein du système du Blagour (cf. paragraphe III.4.1.3), nous ne nous servirons pas des résultats de cette analyse pour caractériser la source de Fontille en tant que telle mais pour compléter les informations obtenues sur le système du Blagour.

Le tarissement de la Couze-Perte au Briant a été interrompu par plusieurs petites crues (cf. fig: 45). La comparai-



son entre cette observation et ce qui avait été obtenu sur le Blagour montre un comportement en cours de tarissement différent. Alors qu'une pluie, à cette époque, détermine un ruissellement sur les terrains imperméables, elle n'a aucun effet sur le karst. La valeur de la pluie efficace n'est donc pas la même dans les deux cas.



4.2.3 Résultats et discussion

Les tableaux 18, 19, 20 présentent respectivement les différents paramètres des courbes de récessions étudiées pour la Couze au Soulier, le Blagour au Soulier et le Sorpt à Roziers.

4.2.3.1 Caractéristiques du sous-système karst noyé

Les coefficients α obtenus pour les sources du Blagour et du Sorpt sont relativement constants. En revanche, pour la Couze au Soulier, la dispersion est plus importante. La faible

Date	$Q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{r0} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_i \text{ m}^3/\text{s}$	ti	α	η	ϵ	$Vd \times 10^6$
27-05-81	4.650	0.657	3.993	0.601	18	0.0049	0.056	0.491	10.6
10-07-81	8.600	0.727	7.873	0.630	09	0.0164	0.111	4.534	3.35
02-04-82	1.895	0.574	1.321	0.449	28	0.0087	0.035	0.521	4.42

Tableau: 18 Résultats des analyses des courbes de sécessions pour la Couze au Soulier. ti est exprimé en jours, en j^{-1} , Vd en m^3 .

Date	$Q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{r0} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_i \text{ m}^3/\text{s}$	ti	α	η	ϵ	$Vd \times 10^6$
27-05-81	3.050	0.406	2.644	0.346	24	0.0067	0.042	0.853	4.51
10-07-81	6.900	0.379	6.521	0.339	16	0.0069	0.063	4.903	4.27
02-04-82	2.350	0.327	2.023	0.290	19	0.0067	0.053	1.238	3.73

Tableau: 19 Résultats des analyses des courbes de sécessions pour la source du Blagour. ti est exprimé en jours, en j^{-1} , Vd en m^3 .

Date	$Q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{r0} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_i \text{ m}^3/\text{s}$	ti	α	η	ϵ	$Vd \times 10^6$
27-05-81	1.900	0.323	1.577	0.265	15	0.0133	0.067	0.849	1.72
10-07-81	3.300	0.237	3.063	0.201	11	0.0148	0.091	5.226	1.19
02-04-82	0.530	0.240	0.290	0.171	28	0.0120	0.035	0.472	1.23

Tableau: 20 Résultats des analyses des courbes de sécession pour la source du Sorpt. ti est exprimé en jours, en j^{-1} , Vd en m^3 .

Station	$Q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{r0} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_i \text{ m}^3/\text{s}$	ti	α	η	ϵ	$Vd \times 10^6$
Couze-P.	0.345	0.096	0.249	0.054	09	0.0638	0.111	1.979	0.08
Fontille	0.069	0.043	0.026	0.032	10	0.0309	0.100	0.428	0.08

Tableau: 21 Résultats des analyses des courbes de sécessions pour la source de Fontille et la Couze-Perte. ti est exprimé en jours, en j^{-1} , Vd en m^3 .

précision des débits d'étiage obtenus à cette station, mais aussi, des périodes trop courtes d'observation du tarissement sont responsables de cette dispersion.

Pour la source du Blagour α est compris entre 0.0069 j^{-1} et 0.0067 j^{-1} ; le volume dynamique le plus important obtenu pour la période d'étude est $4.51 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Pour la source du Sorpt α est compris entre 0.0148 j^{-1} et 0.0120 j^{-1} ; le volume dynamique le plus important obtenu pour la période d'étude est $1.72 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Pour la Couze au Soulier α est compris entre 0.0164 j^{-1} et 0.0049 j^{-1} ; le volume dynamique le plus important obtenu pour la période d'observation est $10.6 \times 10^6 \text{ m}^3$. Cette valeur est, semble-t-il, surestimée puisqu'elle devrait être proche de la somme du volume dynamique du Blagour et de celui du Sorpt. Nous estimerons donc que le volume dynamique relatif à la Couze est de $6 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Le coefficient k ($k = Vd/Vt$), caractérisant l'importance du karst moyé pour chaque système présente les valeurs suivantes:

- * $k = 0.22$ pour la Couze au Soulier
- * $k = 0.25$ pour le Blagour au Soulier
- * $k = 0.18$ pour le Sorpt

Proportionnellement à l'importance respective de leurs systèmes, le karst noyé alimentant la source du Blagour apparaît donc plus important que celui alimentant la source du Sorpt. Toutefois, cette différence reste faible.

Le tableau 21 fournit les résultats obtenus sur l'étude des courbes de tarissement de la crue du 2.04.1982 pour la Couze-perte et la source de Fontille. A titre de comparaison, on peut remarquer:

1° Que les coefficients α sont plus forts que pour les exutoires principaux des systèmes.

2° Les volumes dynamiques sont faibles. Pour la perte de la Couze $k = 0.02$ et pour la source de Fontille $k = 0.05$.

Ainsi le ruisseau de la Couze-Perte est alimenté par de très faibles réserves. L'assèchement de ce cours d'eau

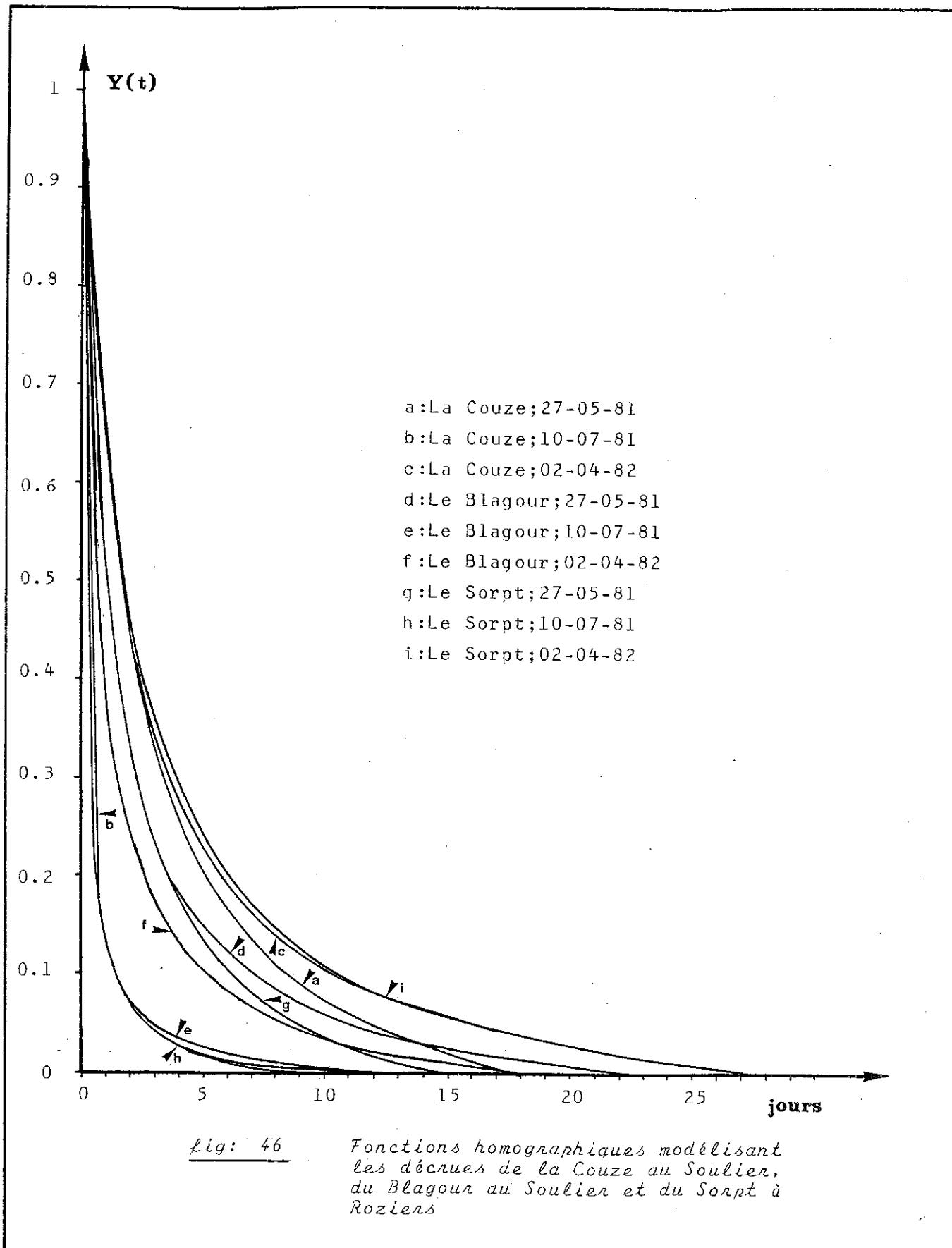


fig: 46

Fonctions homographiques modélisant
les décrues de la Couze au Soulier,
du Blagour au Soulier et du Sorpt à
Roziers

en étiage pouvait le laisser prévoir. S'il n'y a pas de soutirage par le karst voisin, les ressources des grés du Trias semblent donc très faibles.

La source de Fontille est alimentée en étiage par un karst noyé de faible capacité.

Les valeurs fortes de α traduisent des transmissivités relativement importantes.

4.2.3.2 Caractéristiques du sous-système infiltration

La figure 46 présente les courbes homographiques ajustées aux décrues des différentes récessions étudiées pour la Couze au Soulier, le Blagour au Soulier et le Sorpt à Roziers.

Deux familles de courbes apparaissent:

1^o Les courbes a, c, d, f, g, i correspondent aux décrues des récessions du 27.05.81 et du 02.04.82 pour toutes les sources étudiées.

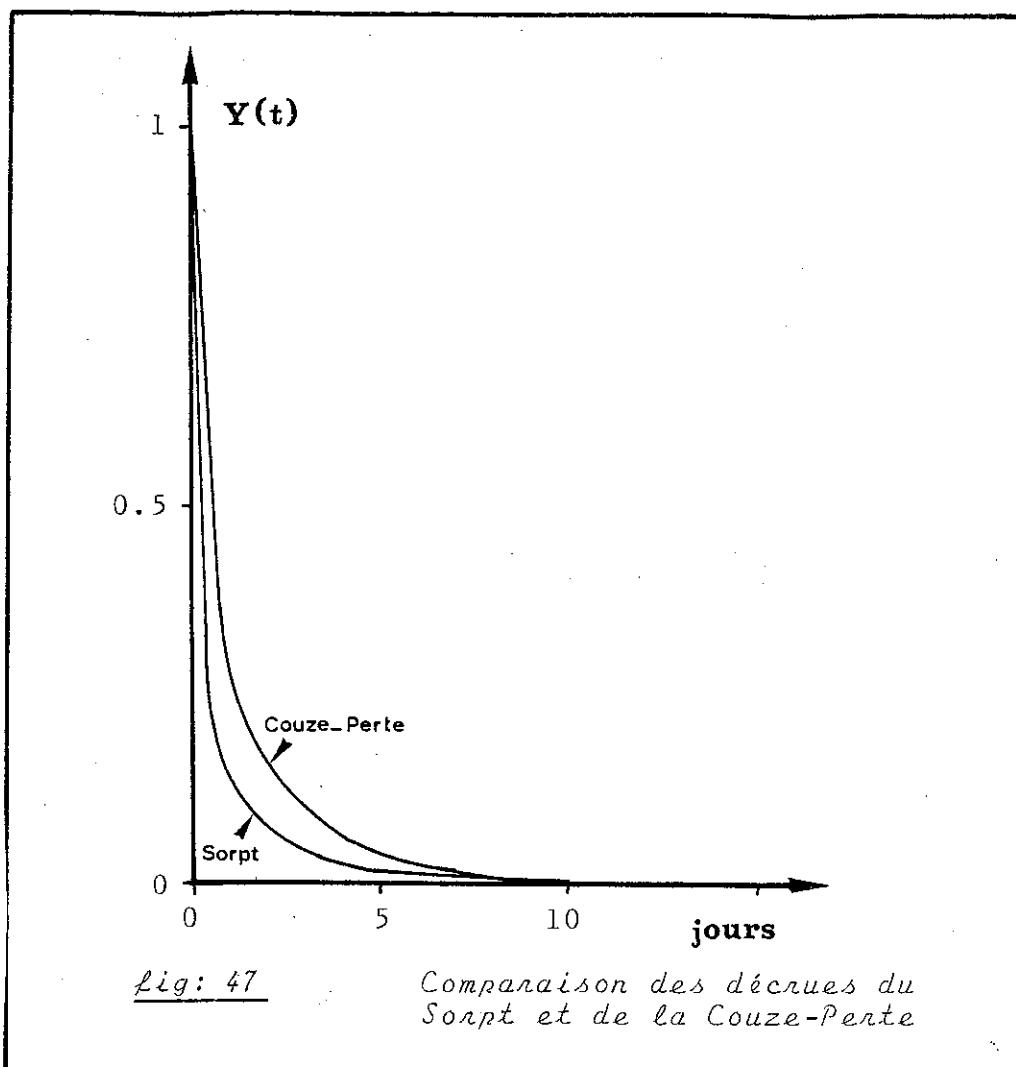
Elles caractérisent la décrue de fin de hautes eaux.

2^o Les courbes b, e, h correspondent aux décrues des récessions du 10.07.81. Ces trois courbes sont pratiquement confondues. Caractéristiques d'une crue intervenant en étiage, elles montrent une décrue très brutale.

La figure 47 présente pour cette crue du mois de juillet 1981, la décrue du Sorpt et de la Couze-perte. La décrue au Sorpt est plus rapide qu'à la Couze-perte. Deux phénomènes interviennent pour expliquer cette décrue rapide des sources de l'aquifère karstique:

1^o Il existe de très bonnes structures de drainage permettant à l'eau d'infiltration d'arriver à l'exutoire. Dans le cas de cette crue, on peut penser que, seul, le ruissellement souterrain rapide a atteint la source.

2^o A cette époque de l'année, les réserves du karst ont déjà été sollicitées. Une brusque montée des eaux va donc avoir tendance à les réalimenter. De ce fait, la décrue apparaîtra plus rapide.



Le paramètre i caractérisant le sous-système infiltration a pour valeur: (valeurs moyennes)

- * $i = 0.33$ pour la Couze au Soulier,
- * $i = 0.29$ pour le Sorpt,
- * $i = 0.23$ pour le Blagour,

Remarque: Selon le temps pendant lequel le tarissement a été observé, on peut obtenir des décrues plus ou moins longues. En particulier pour la crue du 2.04.82, dont les courbes sont fournies en annexe IV, on obtient des courbes de décrue sensiblement différentes. De ce fait les valeurs i proposées ci-dessus ne sont qu'un ordre de grandeur de ce paramètre.

De plus nous n'avons pu étudier que trois récessions, ce qui est peu pour ce type de méthode.

4.2.4 Position des systèmes étudiés dans la classification de A.Mangin

La *figure 48* présente la position des systèmes du Blagour (n°1) et du Sorpt dans la classification de A.Mangin (1975). Nous y avons également reporté les caractéristiques de la Couze au Soulier. Compte tenu des remarques faites au paragraphe précédent sur la précision des différents paramètres, nous pouvons dire que les deux systèmes étudiés possèdent des fonctionnements très proches. Ils sont comparables à celui de Bajet (bassin expérimental étudié par le laboratoire souterrain du C.N.R.S, Ariège).

La zone dans laquelle sont situés les systèmes étudiés (matérialisée par un cercle sur la *fig 48*) se trouve à cheval sur deux domaines de la classification. Le domaine supérieur caractérisé par les systèmes du Baget et de Fontestorbes (Ariège) correspond à des "systèmes plus karstifiés en amont qu'en aval et présentant des retards dans l'alimentation dus à des terrains non-karstiques" (A.Mangin 1975). Le domaine inférieur correspond à des "systèmes karstiques à réseaux spéléologiques bien développés, débouchant en aval sur un important karst noyé" (A.Mangin 1975). Ainsi à partir de leur fonctionnement et plus particulièrement de l'étude des courbes de récession, les systèmes du Blagour et du Sorpt apparaissent comme bien karstifiés, c'est-à-dire possédant un réseau de drainage bien développé.

Un résultat identique avait été obtenu pour la Couze sur 9 cycles ($i = 0.15$ $k = 0.35$: Ph.Muet 1980).

Bien qu'il faille rester prudent, on peut, semble-t-il, différencier le système du Sorpt de celui du Blagour.

En effet, le fonctionnement du système du Blagour trahit la présence d'un karst noyé plus important que celui du Sorpt.

Dans le cas du Blagour plusieurs indices laissent penser que ce karst noyé est complexe et hétérogène. De plus ce système présente une organisation des écoulements plus performante que celle du Sorpt, surtout à l'aval du système.

Tous ces résultats tendent cependant à montrer que le caractère karstique de cette partie de l'aquifère de Dog-

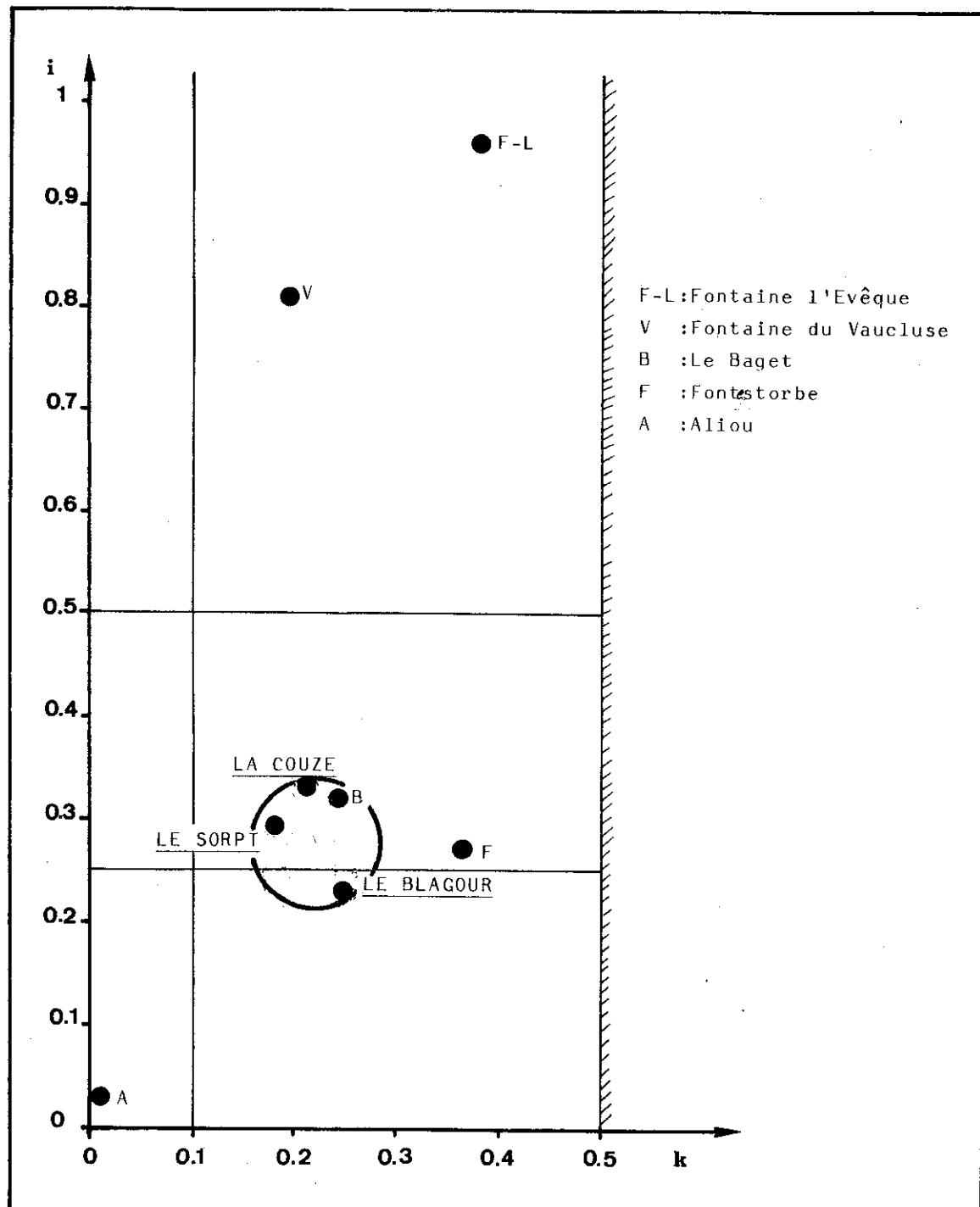


Fig: 48

Position de la Couze, du Blagour et du Sorpt dans la classification de A. Mangin.
(A. Mangin; 1975)

ger est globalement très marqué. De plus, les ressources de cet aquifère sont relativement faibles mais non-négligeables.

4.3 Analyse des résultats de traçage

4.3.1 Généralité

Nous avons vu au paragraphe III.3.1.1 que les expériences de traçage pouvaient fournir deux sortes de résultats. L'un ne donne qu'une information positive ou négative sur la relation hydraulique de deux points distincts de l'aquifère. L'autre doit permettre de caractériser le fonctionnement d'une partie d'un système et donc sa structure. C'est ce second type de résultat que nous utiliserons ici.

La réponse impulsionale d'un système est, comme nous l'avons vu, la réponse de ce dernier à une impulsion unité et de durée infiniment courte (signal de Dirac). Cette réponse peut être soit relative à un transit d'eau (hydrogramme unitaire), soit à un transit de traceur (traceur parfait).

Analytiquement, si le système est linéaire et invariant, les réponses relatives aux débits et à un traceur, s'écriront:

$$Q_S(t) = Q_e(t) * h_Q(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} Q_e(\tau) \cdot h_Q(t-\tau) d\tau , \quad (1)$$

avec $\int_{-\infty}^{+\infty} h_Q(t) dt = 1$

$$C_S(t) = C_e(t) * h_T(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} C_e(\tau) \cdot h_T(t-\tau) d\tau , \quad (2)$$

avec $\int_{-\infty}^{+\infty} h_T(t) dt = 1$

où * Q_S représente le débit de sortie,
* Q_e représente le débit d'entrée,
* C_S représente la concentration de sortie,
* C_e représente la concentration d'entrée,
* $h_T(t)$ et $h_Q(t)$ sont les réponses impulsionales.

Le but recherché dans une expérience de traçage est de caractériser la réponse impulsionale en eau, l'hydrogramme unitaire, à partir de la réponse impulsionale en traceur.

Les études théoriques menées à ce sujet (R.Margrita et al, 1983) montrent que lorsque le régime est permanent, les relations (1) et (2) sont équivalentes, ce qui implique que les réponses impulsionales en eau $h_Q(t)$ et en traceur $h_T(t)$ sont égales. En revanche, lorsque le régime n'est plus permanent cette égalité n'est plus vraie. Il est alors nécessaire de pondérer la relation (2) par les débits et donc de travailler en flux de traceur et non en concentration. Si le système est linéaire et invariant, on obtient la relation (3):

$$\boxed{c_S(t) \cdot Q_S(t) = [c_e(t) \cdot Q_e(t)] * h_T(t)} \\ = \int_{-\infty}^{+\infty} c_e(\tau) \cdot Q_e(t-\tau) d\tau \quad , \quad (3)$$

Si le système est linéaire et invariant alors (3) et (1) sont identiques et $h_Q(t) = h_T(t)$.

A priori, on ne sait pas si le système karstique étudié est linéaire et invariant. Nous avons déjà dit, que, bien souvent, ces deux conditions n'étaient pas satisfaites. *En toute rigueur on ne pourra pas obtenir l'hydrogramme unitaire à partir des expériences de traçage.*

Toutefois, la réponse à une entrée impulsionale en traceur, est caractéristique du transit du traceur dans le système à une date donnée. Elle représente la distribution des temps de séjour du traceur (DTS) dans le système. (Guizerix.J; 1974). On peut penser que sa forme caractérise le fonctionnement du système, même si elle ne donne pas l'image exacte de l'hydrogramme unitaire. Si les expériences de traçage sont toutes réalisées selon le même mode opératoire et dans certaines conditions hydrodynamiques, il sera possible de comparer les DTS de différents systèmes entre elles. Il sera également possible de comparer les vitesses de transit et ainsi donner des indications sur la structure du système étudié.

Enfin, les traçages permettent dans une certaine

mesure de simuler le transit d'éventuels polluants. Les traçages apportent dans ce domaine des renseignements précieux sur les vitesses de transit, la dilution et la répartition dans le temps des masses polluantes.

4.3.2 Méthode

La DTS est définie comme "la fonction densité de probabilité donnant par exemple la probabilité qu'a une molécule d'eau de séjourner dans le système un temps compris entre t et $t+dt$ " (J.Guizerix; 1974).

Dans les conditions d'un traçage en régime transitoire, la DTS s'écrit (P.H.Mondain;1983):

$$DTS(t) = \frac{C(t) \cdot Q(t)}{\int_{-\infty}^{+\infty} C(t) \cdot Q(t) dt}, \quad (4)$$

$$\text{avec } \int_{-\infty}^{+\infty} DTS(t) dt = 1, \quad (5)$$

où * $C(t)$ est la concentration en colorant à la sortie,
* $Q(t)$ est le débit à la sortie,
* $C(t) \cdot Q(t)$ est le flux de colorant réapparaissant à la source

La relation (4) n'est utilisable que si le bilan de restitution en traceur est relativement bon et si l'injection est ponctuelle.

Pour satisfaire ces deux conditions nous avons employé la fluorescéine qui lorsqu'elle n'est pas injectée en trop grande quantité se comporte comme un traceur quasi-parfait, et l'injection a été effectuée de la manière la plus ponctuelle possible.

Deux paramètres caractéristiques du traçage peuvent être calculés à partir de la DTS:

1° Le temps moyen de séjour.

Ce temps est en fait, l'abscisse du moment d'ordre 1 de la distribution (centre de gravité) additionné au temps

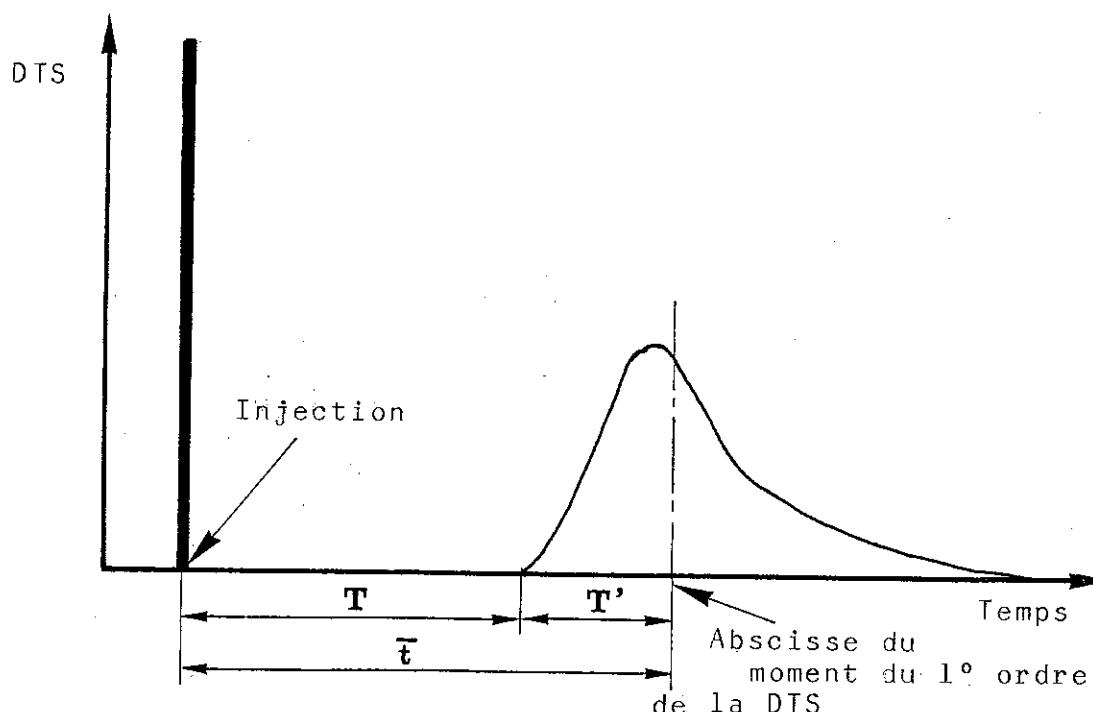


Fig: 49

Détermination du temps moyen de séjour du colorant dans le système.

nécessaire à la réapparition des premières traces de colorant. Le temps moyen de séjour, s'écrit ainsi (cf. fig. 49):

$$\bar{t} = T + T'$$

$$\text{avec } T' = \int_{-\infty}^{+\infty} t \cdot DTS(t) dt$$

où * \bar{t} est temps moyen de séjour,
 * t est le temps,
 * T le temps nécessaire à la réapparition des premières traces de colorant.

2° La vitesse apparente

Elle correspond à la vitesse de déplacement du centre de gravité du nuage de colorant sur le parcours le plus probable entre le point d'injection et de restitution. La vitesse apparente s'écrit ainsi:

$$V_{app} = L/\bar{t},$$

où * L est la distance la plus probable parcourue
* \bar{t} est le temps moyen de séjour.

Ces deux paramètres sont intéressants en hydrogéologie puisque les phénomènes physiques (diffusion, adsorption, dispersion....) pouvant intervenir sur la molécule de traeur ne sont pas pris en compte. De ce fait, la vitesse apparente pourra être rapprochée de la conductivité hydraulique (A. Mangin, 1975).

Pour que la DTS soit la plus représentative possible du fonctionnement du système, il est nécessaire de choisir la période d'injection de manière à éliminer au maximum les distorsions dues à la non linéarité et à la non stationnarité (système variant) du système. Il est donc conseillé d'injecter en période non influencée. Mais, le plus souvent, les traçages sont effectués à partir de pertes temporaires pour lesquelles l'injection en période non influencée est impossible. Nous avons alors injecté durant la décrue.

Remarque:

1° L'équation aux dimensions de la DTS montre que cette grandeur a pour dimension l'inverse d'un temps (T^{-1}).

2° A partir des traçages, on ne caractérisera qu'une partie du fonctionnement de l'aquifère aussi bien dans l'espace que dans le temps. Ceci est dû à la structure même (organisation des écoulements) de l'aquifère karstique.

4.3.3 Traçages étudiés et résultats

Les conditions hydrologiques ainsi que les courbes de restitution des différents traçages que nous avons effectués sur le nord du Causse de Martel sont présentées en annexe V.

Sur le nombre de traçages effectués, nous n'avons calculé que quatre DTS. Dans les autres cas, le pourcentage de restitution n'était pas suffisant, ou une crue avait modifié la restitution du colorant.

BLAGOUR

2 AVRIL 1982

T(h)	C(mg/l)	Q(m3/s)	F(mg/s)	Cum F	DTS(1/s)
2	.00100	.664	.66	.21	.594
4	.00050	.650	5.59	2.23	5.003
6	.00070	.652	12.19	7.96	10.907
8	.00050	.646	15.70	16.23	17.626
10	.00150	.639	26.52	33.11	23.723
12	.00150	.633	22.25	46.82	19.904
14	.00050	.627	17.02	61.74	15.986
16	.00130	.621	13.23	71.75	11.833
18	.01430	.615	8.79	78.65	7.867
20	.01030	.606	6.26	83.70	5.602
22	.00000	.602	4.82	87.28	4.308
24	.00030	.595	3.75	90.02	3.353
26	.00050	.588	3.03	92.28	2.709
28	.00025	.582	2.47	93.35	2.213
30	.00050	.575	2.01	95.42	1.800
34	.00240	.569	1.37	97.80	1.222
38	.00015	.552	.91	99.06	.815
42	.00101	.540	.55	100.00	.480

Masse injectee= 1000 Gr

Bilan= 62.1 x

le moment de la DTS= 13.9 h

Distance app.= 7.125 Km

Masse restituee= 1117.86 Gr

Temps moyen= 2 J 12 H 51 Mn

Vitesse apparente= 117.822 m/h

LE BLAGOUR

15 FEVRIER 1984

T(h)	C(mg/l)	Q(m3/s)	F(mg/s)	Cum F	DTS(1/s)
.25	.00250	.593	1.48	.17	3.889
.5	.00610	.593	3.62	.78	9.469
.75	.01330	.593	8.24	2.18	21.622
1	.03470	.593	20.58	5.58	53.927
1.5	.07250	.593	42.98	20.59	112.777
1.75	.08500	.593	58.40	31.61	132.221
2	.08350	.593	49.52	43.41	129.888
2.5	.06000	.593	35.56	63.50	93.333
3	.03650	.593	21.64	77.01	56.777
3.25	.02500	.593	14.82	81.31	38.889
3.5	.01650	.593	10.37	84.36	26.778
4	.01650	.593	9.76	89.26	25.667
4.5	.01020	.593	6.05	92.93	15.867
5	.00750	.593	4.45	85.47	11.667
5.5	.00520	.593	3.08	97.25	8.089
6	.00330	.593	1.96	98.44	5.133
6.5	.00200	.593	1.19	99.16	3.111
7	.00120	.593	.71	99.83	1.867
8	.00005	.593	.03	99.90	.078
9	.00002	.593	.01	100.00	.031

Masse injectee= 450 Gr

Bilan= 84.7 x

le moment de la DTS= 2.4 h

Distance app.= 2.725 Km

Masse restituee= 381.22 Gr

Temps moyen= 0 J 10 H 24 Mn

Vitesse apparente= 261.821 m/h

LE BLAGOUR

26 JUIN 1982

T(h)	C(mg/l)	Q(m3/s)	F(mg/s)	Cum F	DTS(1/s)
4	.00012	.165	.02	.10	.138
6	.00030	.165	.05	.27	.344
8	.00130	.165	.31	1.18	2.178
10	.00420	.165	.69	3.78	4.815
12	.00660	.165	1.03	8.16	7.567
14	.00880	.165	1.45	14.51	10.089
16	.01030	.165	1.80	22.64	12.497
18	.01130	.165	1.86	31.61	12.956
20	.01220	.165	1.77	40.89	12.268
22	.00810	.165	1.34	48.65	9.287
24	.00670	.165	1.11	54.75	7.682
26	.00580	.165	.96	59.91	6.058
28	.00495	.165	.82	64.35	5.675
30	.00430	.165	.71	68.17	4.908
32	.00365	.165	.60	71.45	4.185
34	.00320	.165	.53	74.28	3.669
36	.00280	.165	.46	76.75	3.210
38	.00250	.165	.41	78.34	2.866
40	.00220	.165	.36	80.88	2.522
42	.00200	.165	.33	82.62	2.293
46	.00155	.165	.26	85.55	1.777
50	.00120	.165	.20	87.62	1.376
54	.00090	.165	.15	89.55	1.032
56	.00085	.165	.14	90.27	.975
60	.00105	.165	.12	91.84	1.204
62	.00110	.165	.10	92.73	1.261
66	.00095	.165	.08	94.42	1.089
70	.00060	.165	.08	95.70	.668
74	.00036	.165	.08	96.49	.413
76	.00040	.165	.07	97.12	.453
82	.00050	.165	.06	97.86	.573
86	.00050	.165	.06	98.65	.573
90	.00035	.165	.06	99.39	.401
94	.00015	.165	.02	99.80	.172
98	.00009	.165	.01	100.00	.103

Masse injectee= 150 Gr

Bilan= 35.9 x

le moment de la DTS= 28.4 h

Distance app.= 2.725 Km

Masse restituee= 143.91 Gr

Temps moyen= 2 J 14 H 25 Mn

Vitesse apparente= 43.052 m/h

LE SORPI

8 AVRIL 1982

T(h)	C(mg/l)	Q(m3/s)	F(mg/s)	Cum F	DTS(1/s)
1	.00010	.295	.03	.06	.328
2	.00050	.294	.15	.41	1.634
3	.00170	.293	.50	1.70	5.538
4	.00550	.292	1.61	5.51	17.860
5	.01020	.291	2.97	15.07	33.018
6	.01082	.290	3.14	27.30	34.915
7	.00570	.289	2.81	39.20	31.202
8	.00665	.289	2.50	49.81	27.707
9	.00252	.288	2.16	59.13	24.037
10	.00650	.287	3.66	67.18	20.710
11	.00545	.286	1.56	74.03	17.308
12	.00134	.285	1.24	79.82	13.740
13	.00335	.284	.35	83.99	10.571
14	.00273	.283	.77	82.44	8.587
15	.00222	.282	.03	90.24	6.960
16	.00160	.281	.51	92.51	5.625
17	.00145	.280	.41	94.33	4.517
18	.00116	.279	.32	95.79	3.601
19	.00034	.278	.26	96.96	2.909
20	.00072	.278	.28	97.89	2.221
21	.00052	.277	.14	98.57	1.558
22	.00041	.276	.11	99.29	1.256
23	.00031	.275	.09	99.48	.947
24	.00023	.274	.06	99.78	.700
25	.00017	.273	.05	100.00	.516

Masse injectee= 150 Gr

Bilan= 50.0 x

le moment de la DTS= 8.9 h

Distance app.= 1.05 Km

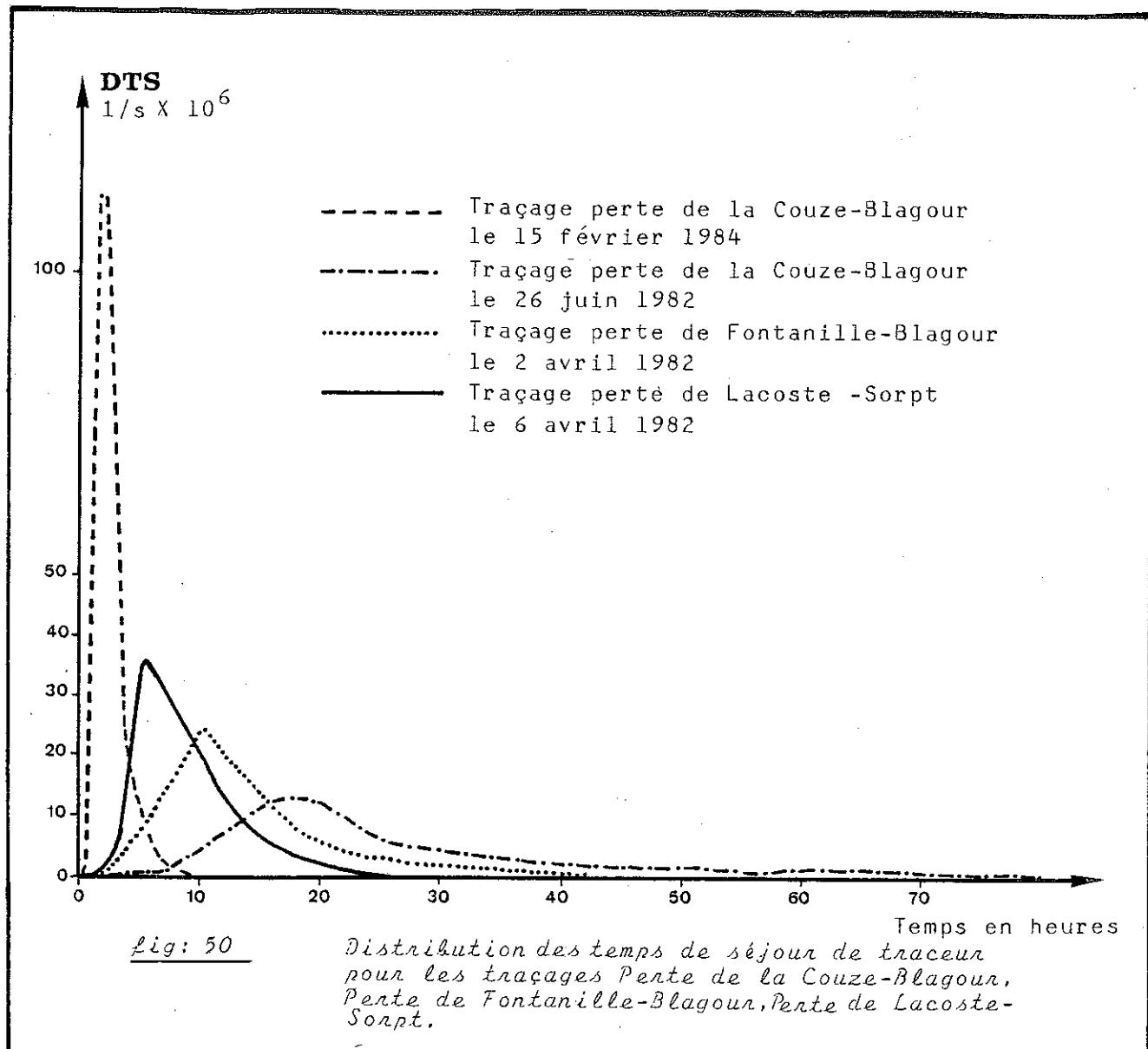
Masse restituee= 90.00 Gr

Temps moyen= 0 J 20 H 56 Mn

Vitesse apparente= 50.131 m/h

Tableau: 22

Valeurs numériques et paramètres caractéristiques des traçages de la perte de la Couze-Blagour, Perte de Fontanille-Blagour, Perte de Lacoste-Sorpi.



La fig. 50 présente les DTS calculées et le tableau 22 donne les valeurs numériques et les paramètres caractéristiques de chaque traçage.

Trois traçages fournissent des informations sur le système du Blagour et un sur le système du Sorpt.

Pour le système du Blagour, deux traçages ont été pratiqués à partir de la perte de la Couze; en hautes eaux, le 15 février 1984, et en basses eaux, le 26 juin 1982. D'un traçage à l'autre, on remarque que les DTS sont très différentes. En hautes eaux, la courbe est très pointue et la totalité du colorant (84.7%) réapparaît en 10 heures. En basse eaux, la DTS est

très aplatie et il faut près de 90 heures pour que la totalité du colorant (95.9%) réapparaisse. De plus, en hautes eaux, la vitesse apparente de transit est de 262m/h, alors qu'en basses eaux, elle n'est plus que de 43.5m/h.

Le traçage à partir de la perte de Fontanille (n°11; 2 avril 1982) montre une DTS dont la forme se situe entre celles des deux courbes décrites précédemment. La vitesse apparente de transit est de 117m/h.

Pour le système du Sorpt, seul le traçage effectué à partir de la perte de Lacoste (n°9; 6 avril 1982) en eaux moyennes a été porté sur la *fig.50*. La courbe est relativement pointue, puisqu'il n'a fallu que 24 heures pour que la totalité du colorant soit restituée. Cependant la vitesse apparente de transit est faible, 50m/h.

4.3.4 Synthèse et conclusion

4.3.4.1 Le système du Blagour

Le traçage de la perte de la Couze en hautes eaux, et le traçage de la perte de Fontanille montrent que le système de drainage du Blagour est bien développé et fonctionnel. En effet, des vitesses de transit supérieures à 100m/h sont caractéristiques de circulations dans des zones drainantes (A.Mangin: communication orale). La forme de la DTS traduit, elle aussi, cette bonne organisation des écoulements, puisque le signal d'entrée est peu déformé durant le transit. Ainsi, le traçage effectué à partir de la perte de la Couze révèle la présence d'un drain très développé entre cette perte et la source du Blagour, dans lequel, en hautes eaux, le signal d'entrée est très peu déformé. A partir de la perte de Fontanille, même si le transit est rapide, le signal d'entrée est beaucoup plus déformé. Il faut donc supposer que le traceur a rencontré durant son trajet des zones à transit plus lent et relativement capacitives.

En basses eaux, le signal d'entrée est très déformé entre la Perte de la Couze et la source du Blagour. La vitesse apparente de transit est faible. Une telle réponse caractérise habituellement des zones peu transmissives et capacitives (A.Mangin; communication orale). En basses eaux, le débit de la perte

de la Couze est très faible par rapport au débit du système du Blagour. En effet, nous avons vu que les ressources de ces deux systèmes étaient très différentes (cf. para.III.4.2.3.1). De ce fait, le signal risque de s'étaler à cause de la forte dilution qui va se produire. Le signal d'entrée sera, de ce fait, plus déformé en étiage qu'en hautes eaux. Toutefois, la vitesse apparente de transit devrait demeurer forte. Il faut donc en conclure que les modalités du transit en étiage et en hautes eaux sont différentes. En basses eaux, le bon drainage n'apparaît plus. Les structures drainantes mises en évidence en hautes eaux, ne sont plus fonctionnelles.

Remarque:

Au niveau de la source de Fontille, (n°3) un traçage a été effectué entre la galerie terminale du réseau spéléologique de la Couze (la galerie Métrique) et l'Event d'Entrecors (n°6). Aucune détermination de la DTS n'a été possible mais les vitesses de transit très faibles ($V_{app} \neq 0.14 \text{m/h}$) prouvent la présence d'une zone très peu transmissive en étiage.

4.3.4.2 Le système du Sorpt

Pour le système du Sorpt, les résultats sont moins nombreux et peu précis. Un traçage effectué à partir de la perte d'Estivals (n°10) a été influencé par une crue. Il a été impossible de tracer la DTS (cf. annexe VI). Néanmoins, la vitesse apparente de transit a été estimée à 128m/h . Ce résultat montre qu'il existe, dans l'axe nord-sud du bassin du Sorpt, un drain.

En étiage un traçage effectué à partir de la perte de Lacoste a montré une vitesse de transit de l'ordre de 6.5 m/h . La DTS n'a pas pu être tracée. La courbe de restitution présentée en annexe montre que le signal d'entrée est très déformé.

A partir de la même perte mais en eaux moyennes la vitesse apparente de transit est lente; en revanche, la DTS reste relativement pointue. Ces deux résultats montrent qu'à l'aval du système du Sorpt les écoulements sont lents.

4.3.4.3 Conclusion

Les expériences de traçage révèlent que les systèmes karstiques étudiés sont bien karstifiés. En particulier, les traçage effectués à partir des pertes du plateau ont prouvé l'existence de drains conduisant rapidement le traceur jusqu'aux sources. Au niveau du système du Sorpt, il apparaît pourtant un ralentissement des écoulements à proximité de l'exutoire. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par l'analyse des courbes de récession.

En revanche, les traçages effectués en étiage montrent le mauvais fonctionnement du drainage durant cette période. Cette absence de drainage en basses eaux doit être associée à une inadéquation entre la structure de l'aquifère et son fonctionnement. En effet, si la structure était en accord avec le fonctionnement, le drainage devrait être aussi efficace en étiage qu'en hautes eaux. Cette inadéquation du drainage aux conditions hydrodynamiques d'étiage peut être comparée au comportement d'un cours d'eau de surface, qui, à cause du débit d'étiage trop faible pour les dimensions et la pente de son lit, ne coulerait pratiquement plus, son cours de confondant alors avec la nappe aluviale l'environnant.

Ainsi, en étiage, il n'est plus possible, à l'aide des traçages, de différencier le drainage karstique des zones capacitives l'alimentant.

Remarque:

A. Mangin (communication orale) pense que les vitesses de transit observées à partir des expériences de traçage varient de manière discontinue. Ainsi, il existerait des seuils de charges hydrodynamique, au delà desquels le drainage du karst serait plus ou moins efficace. Nous n'avons pas réalisé suffisamment de traçages pour mettre en évidence de tels seuils.

Enfin les expériences de traçage associées aux découvertes spéléologiques ont permis de mettre en évidence les principaux axes de drainage des systèmes du Blagour et du Sorpt (cf. carte couleur n°3).

Le réseau de drainage du système du Blagour est constitué d'un axe est-ouest reliant la perte de la Couze (n°7)

à la source du Blagour (n°1). Deux autres drains, au moins, se rattachent à cet axe. Le plus important de direction sud-nord rejoint l'axe "perte de la Couze Blagour" à peu près à mi-chemin entre la perte et la source. Un second drain suit la Faille de Condat-Meyssac et draine la partie est du système du Blagour.

Le réseau de drainage du système du Sorpt est constitué d'un axe principal de direction sud-nord et sensiblement parallèle à la Faille de Chasteaux.

4.4 Analyses corrélatoire et spectrale

Les méthodes précédentes nous ont permis de caractériser le fonctionnement de l'aquifère, donc d'émettre des hypothèses sur sa structure à partir de l'étude d'une partie de la chronique des débits (courbes de récession) ou à partir de l'étude d'une représentation statistique de ces chroniques (courbes des pourcentages cumulés des débits classés) ou même en injectant ponctuellement, dans l'espace et dans le temps, un traceur dans le système.

Les analyses corrélatoire et spectrale des chroniques d'entrée et de sortie d'un système sont beaucoup plus complètes. En effet, elles permettent d'obtenir des informations sur le fonctionnement d'un système à partir de l'analyse de la structure de la totalité des chroniques d'entrée et de sortie. Ces méthodes s'inspirent directement des méthodes de traitement du Signal. Le système karstique est assimilé à un filtre laissant plus ou moins passer les informations d'entrée. Dans un premier temps, il faudra donc analyser les informations contenue dans la chronique des débits (structure du signal de sortie). Il sera alors possible de détecter quelles informations sont conservées, éliminées ou modifiées. Enfin, une analyse pluie-débit (entrée-sortie) nous permettra d'apprécier de quelle manière les informations d'entrée sont reproduites à la sortie.

Comme pour les méthodes précédentes, il est nécessaire d'opérer par comparaison pour interpréter hydrogéologiquement les résultats de ces analyses. Les analyses corrélatoire et spectrale ne seront utilisées qu'à des fins descriptives.

4.4.1 Méthode

Les informations contenues dans les chroniques seront mises en évidence soit par rapport au temps, analyse dans le domaine temporel, soit par rapport à la fréquence, analyse dans le domaine fréquentiel.

4.4.1.1 Analyse dans le domaine temporel. Analyses corrélatoire

Les analyses corrélatoire permettent d'apprécier les informations contenues dans les chroniques (entrée ou sortie) par rapport au temps. Deux types d'analyses seront menées: le corrélogramme simple qui se rapporte à l'étude d'une seule chronique, et, le corrélogramme croisé qui se rapporte à l'étude de la sortie du système en fonction de l'entrée.

a) Le corrélogramme simple

Le corrélogramme simple "met en évidence la dépendance des évènements entre eux pour des intervalles de temps de plus en plus grands; il traduit par conséquent, la mémoire du système étudié" (A.Mangin, 1983). Analytiquement, le corrélogramme simple est la fonction d'autocorrélation d'une chronique finie (cf. fig. 51 où r_k ainsi défini est donc un coefficient de corrélation et m s'appelle la troncature). La troncature doit être sensiblement égale au tiers du nombre d'éléments de la période d'étude et un aucun cas, être supérieure à la moitié. Par exemple, si l'on veut étudier une période correspondant à un cycle hydrologique au pas de temps journalier, on pourra prendre $m = 125$ jours. Suivant le pas choisi (heure, journée, décade...) l'information sur la structure de la série n'est valable que pour la période comprise entre le double du pas retenu et le tiers de la série; cette période est appelée *fenêtre d'observation* (A.Mangin, 1983).

b) Le corrélogramme croisé

Analytiquement, le corrélogramme croisé est la fonction d'intercorrélation de deux chroniques finies. La fig. 52 présente l'expression analytique du corrélogramme croisé.

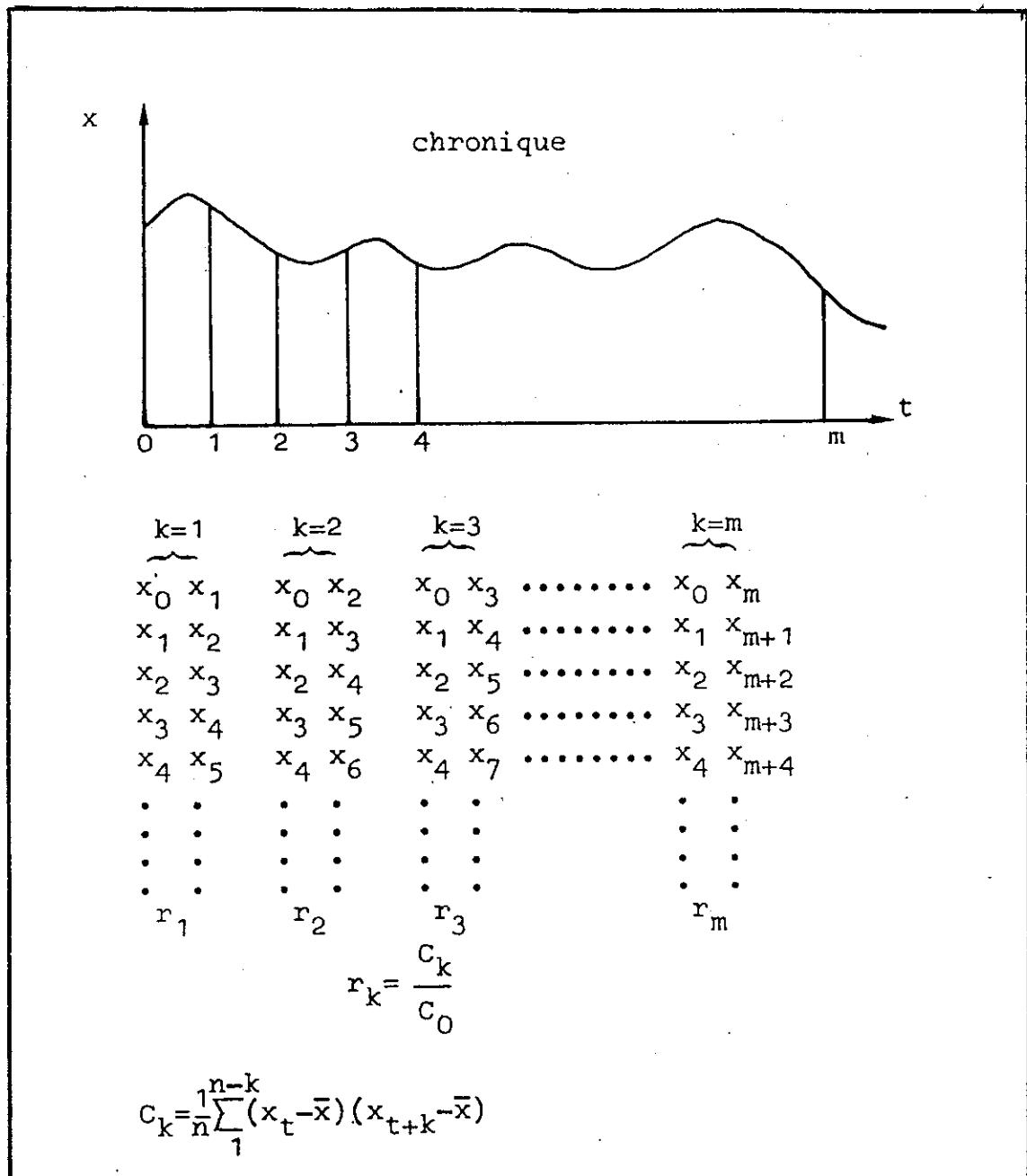


fig: 51

Expression analytique du corrélogramme simple. (d'après A. Mangin)

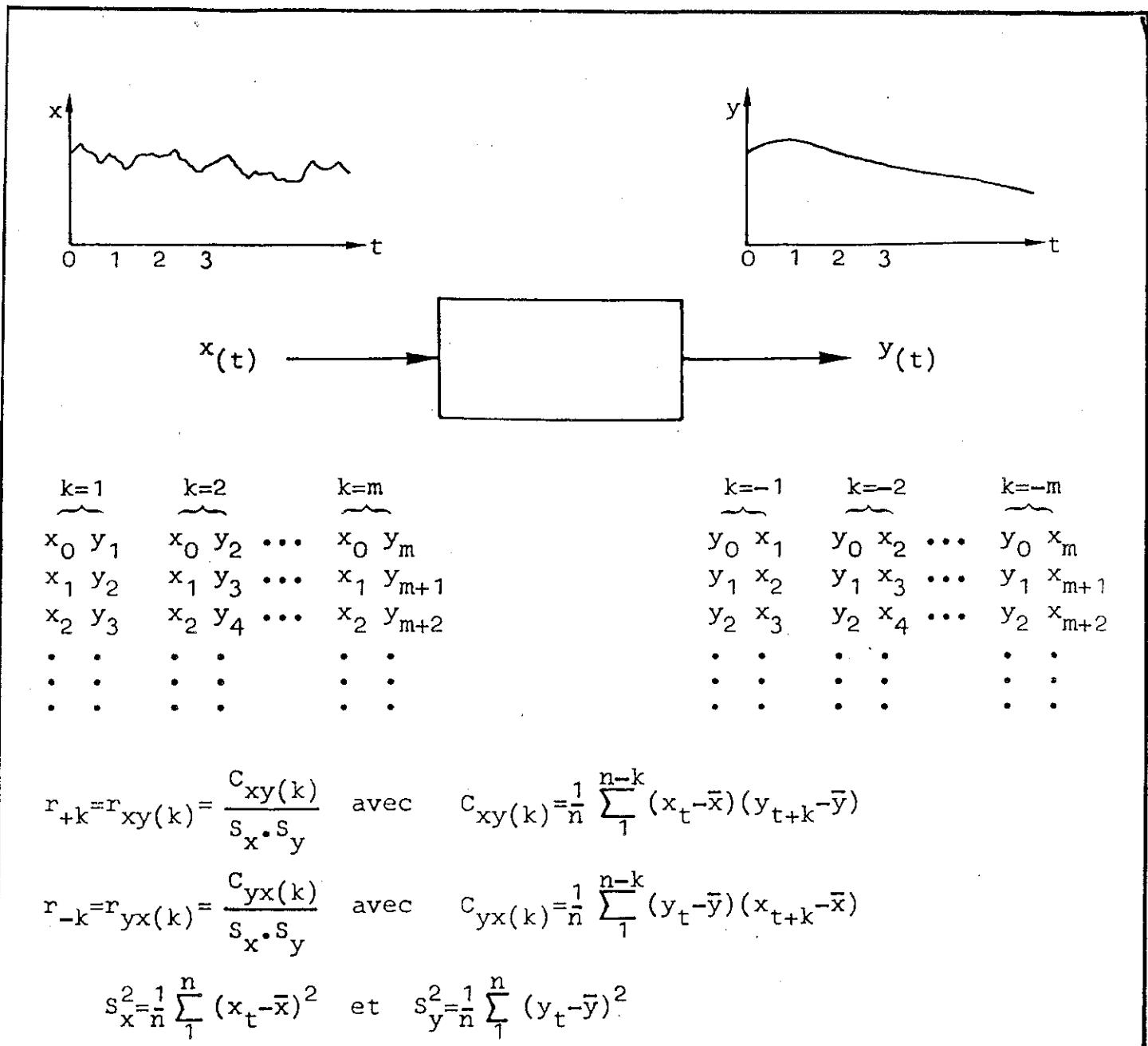


fig: 52

Expression analytique du corrélogramme croisé.
(d'après A. Mangin)

L'orsque la fonction d'entrée est une fonction aléatoire pure, et que, par ailleurs, le système est linéaire et invariant, le corréogramme croisé est la réponse impulsionale du système (in A.Mangin; 1981).

4.4.1.2 Analyses dans le domaine fréquentiel. Analyses spectrale.

Les analyses spectrale permettent de décomposer l'information par rapport aux fréquences. Deux types d'analyses seront menées:

- Une analyse sur une seule chronique: le spectre de densité de variance.
- Une analyse de la sortie en fonction de l'entrée: le spectre croisé.

En combinant l'analyse spectrale simple et croisé, on obtient la fonction de cohérence et la fonction de gain.

a) Le spectre de densité de variance.

Le spectre de densité de variance permet de décomposer la variance totale d'une chronique en fonction de la fréquence. Il est "la signature du système" (A.Mangin; 1981). La fig. 53 propose une analogie avec l'étude spectrale d'un corps chimique.

La décomposition de la variance totale dans le domaine fréquentiel est la transformée de Fourier du corréogramme de la chronique. L'expression analytique du spectre de densité de variance s'écrit de la manière suivante (A.Mangin;1981):

$$S_f = 2 \left[1 + 2 \sum_{k=1}^{k=m} D_k \cdot r_k \cdot \cos 2\pi f k \right]$$

où * f est la fréquence. Elle a pour expression $f = j/2m$. Si le pas de temps est journalier $j = 0, 1, 2, 3, \dots, m$.

- * $k = 0, 1, 2, 3, \dots, m$ si le pas de temps est journalier,
- * r_k est le corréogramme simple de la chronique,
- * D_k est un filtre de r_k imposé par le transformée de Fourier. Le filtre choisi est celui de Tukey II (A.Mangin; 1981). Il a pour

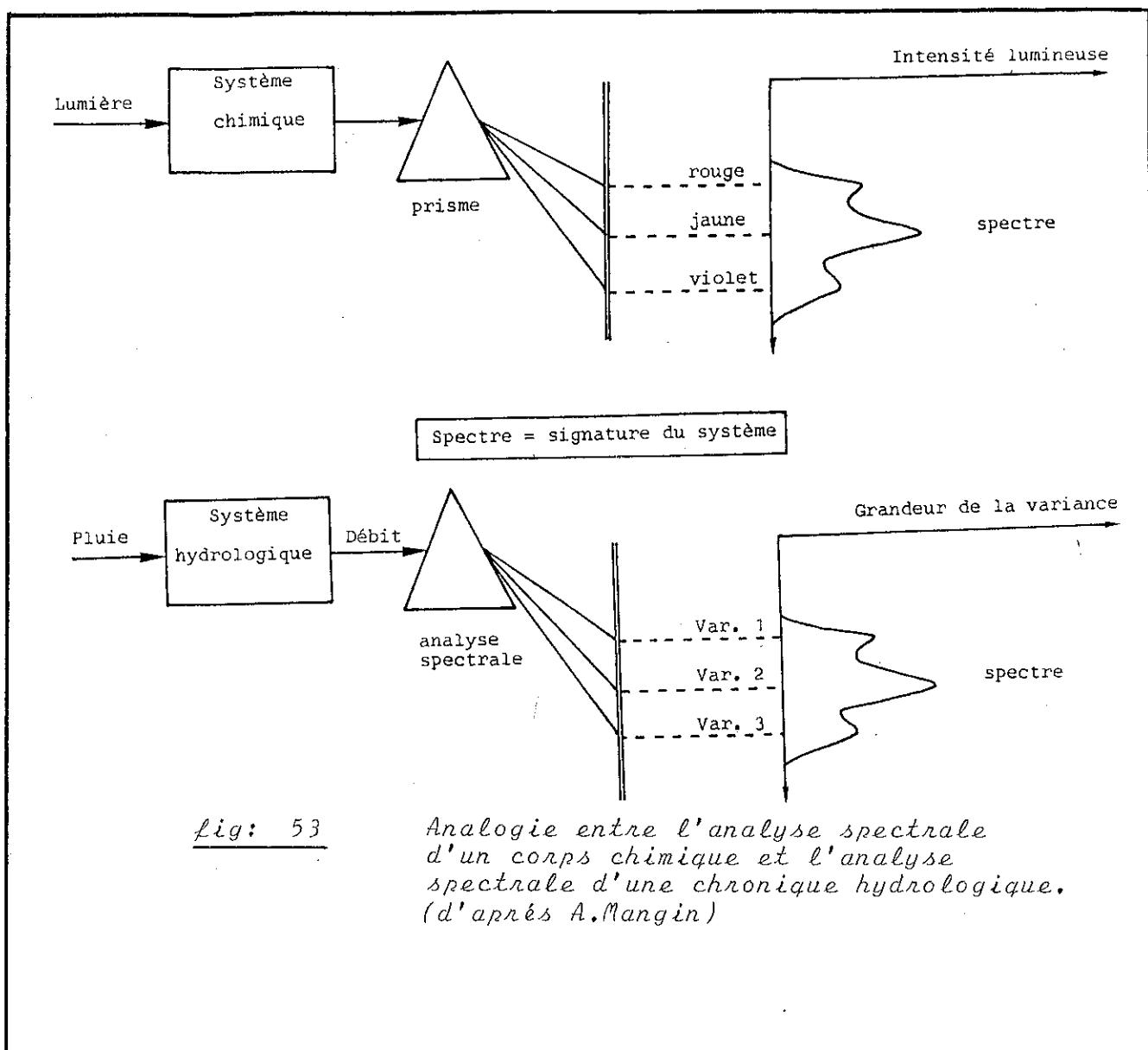


fig: 53

Analogie entre l'analyse spectrale d'un corps chimique et l'analyse spectrale d'une chronique hydrologique.
(d'après A. Mangin)

expression :

$$D_k = (1 + \cos \pi k/m) / 2$$

b) Le spectre croisé

Le sectre croisé est la transformée de Fourier du corrélogramme croisé. Le spectre croisé est un nombre complexe. Il sera donc défini par deux fonctions: la fonction d'amplitude et la fonction de phase.

+ La fonction d'amplitude $S_{xy}(f)$ fournit une décomposition

de la covariance entre l'entrée (x) et la sortie (y) pour différentes fréquences. Son expression analytique est la suivante (A.Mangin ; 1981):

$$|S_{xy}(f)| = \sqrt{K_{xy}^2(f) + q_{xy}^2(f)}$$

où * $K_{xy}(f)$ est le cospectre. Il s'écrit de la manière suivante:

$$K_{xy}(f) = 2 \left\{ r_{xy}(0) + \sum_{k=1}^{k=m} [r_{xy}(k) + r_{yx}(k)] D_k \cdot \cos 2\pi f k \right\}$$

* $q_{xy}(f)$ est le spectre de quadrature. Il s'écrit de la manière suivante:

$$q_{xy}(f) = 2 \sum_{k=1}^{k=m} [r_{xy}(k) - r_{yx}(k)] D_k \cdot \sin 2\pi f k$$

+ La fonction de phase donne le moyen d'estimer, pour chacune des fréquences, le déphasage entre entrée et sortie. Son expression analytique est la suivante:

$$\theta_{xy}(f) = \arctan \frac{q_{xy}(f)}{K_{xy}(f)}$$

où * $K_{xy}(f)$ est le cospectre,

* $q_{xy}(f)$ est le spectre de quadrature,

$$\phi = \frac{\theta_{xy}}{2\pi f}$$

ϕ étant le déphasage.

c) Fonction de cohérence et fonction de gain

+ La fonction de cohérence définit la corrélation entre les événements à l'entrée du système et ceux observés à la sortie (A.Mangin; 1981). Elle est définie comme le rapport de la covariance entrée-sortie sur la racine carrée du produit des variances de l'entrée et de la sortie. Son expression

est donc la suivante :

$$C_{xy}(f) = \frac{\text{Covar.}xy}{\text{var.}x.\text{var.}y} = \frac{S_{xy}(f)}{S_x(f).S_y(f)},$$

où * $S_{xy}(f)$ est la fonction d'amplitude croisé,
* $S_x(f)$ le spectre de la fonction d'entrée,
* $S_y(f)$ est le spectre de la fonction de sortie.

* La fonction de gain indique comment le signal d'entrée, modifié par le système, est soit amplifié lorsque le gain est supérieur à 1, soit atténué lorsqu'il est inférieur à cette valeur, et ceci en fonction de la fréquence. Elle représente la régression dans le domaine fréquentiel entre l'entrée x et la sortie y . Son expression analytique est la suivante (A.Mangin; 1981) :

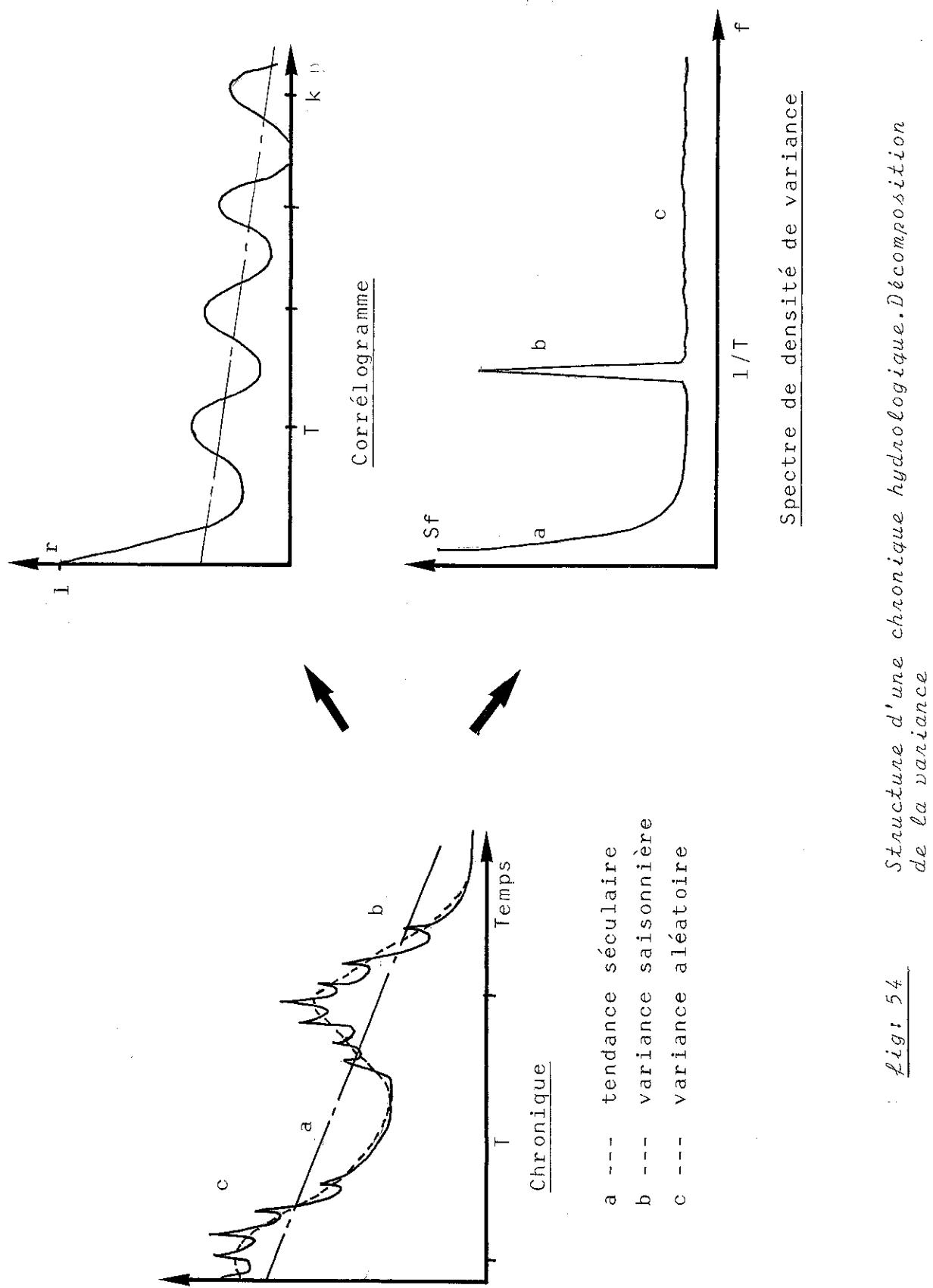
$$g_{xy}(f) = \frac{S_{xy}(f)}{S_x(f)}$$

où * $S_{xy}(f)$ est la fonction d'amplitude croisée.
* $S_x(f)$ est le spectre de la fonction d'entrée.

4.4.2 Application aux systèmes karstiques

D'après G.Mathéron (1965. in A.Mangin; 1983), les séries chronologiques obtenues en hydrologie répondent à la définition de variables régionalisées. En effet, ces variables (pluies, débits) possèdent à la fois un aspect structuré (dépendance des évènements entre eux) et un aspect aléatoire. Les analyses corrélatoire et spectrale sont un outil de choix pour décrire de telles chroniques. Le corrélogramme fournira une idée de l'importance de l'aspect structuré de la chronique, alors que le spectre en décomposera les différentes variances en fonction de la fréquence (cf. fig. 54).

D'une manière générale, on peut définir trois types de variances (cf. fig. 54).



- une variance aléatoire par rapport au pas de temps d'observation. Elle est assimilable à un bruit de fond.
- une variance correspondant à un phénomène saisonnier. Ce sera, par exemple, une périodicité annuelles associée au cycle hydrologique.
- une variance correspondant à un phénomène à tendance séculaire. Elle pourra être, par exemple, associée à une variation climatique à très longue période de retour ou à un appauvrissement des ressources d'un aquifère par pompage intensif (A.Mangin communication orale).

Les pluies et les débits relatifs aux systèmes étudiés sont, lorsque cela est possible, analysés suivant deux fenêtres d'observation.

L'analyse longue durée permet de décrire la structure de la chronique sur une période de 20 à 1250 jours (pas de temps décadaire).

L'analyse sur un cycle permet de décrire la structure de la chronique sur une période de 2 à 125 jours (pas de temps journalier).

Les chroniques n'étant pas stationnaires à cause d'une évolution cyclique (cycle hydrologique) de leur fonctionnement, A.Mangin (1981) préconise de prendre, comme t_0 de la chronique, le 1^e jour du cycle hydrologique.

4.4.2.1 Analyse longue durée

L'analyse longue durée va permettre de détecter et d'apprécier l'amplitude des phénomènes périodiques de longue période de retour affectant les chroniques. En particulier, elle permet de mettre en évidence une tendance séculaire, mais surtout de détecter et de décrire le phénomène périodique associé au cycle hydrologique. L'amplitude de ce phénomène permet d'apprécier le pouvoir régulateur du karst (A.Mangin; 1981). En effet, plus l'amplitude de ce phénomène est grande, plus le système étudié régulera les impulsions d'entrée.

Dans ce type d'analyse, seuls le corrélogramme simple et le spectre de densité de variance seront employés.

4.4.2.2 Analyse sur un cycle

L'analyse sur un cycle (fenêtre d'observation de 2 à 125 jours) met en évidence les particularités du fonctionnement des systèmes karstiques étudiés.

Comme l'analyse des courbes de récession, les analyses corrélatoire et spectrale autorisent un classement des différents systèmes karstiques en fonction de leur fonctionnement. Cette classification se fait à partir de quatre paramètres, l'effet-mémoire, la bande spectrale, le temps de régulation, et de la forme de l'hydrogramme unitaire (A.Mangin; 1984). De plus l'interprétation hydrogéologique est facilitée par la description de l'ensemble des courbes représentatives des fonctions exposées au paragraphe 4.4.1.

a) "L'effet mémoire"

Nous avons vu précédemment, que le corréogramme simple rendait compte de la mémoire du système. En effet, plus un évènement, pris à un instant donné, aura une influence à long terme, plus lente sera la décroissance du corréogramme. L'"effet mémoire" est alors défini comme de nombre de jours nécessaire pour que le corréogramme atteigne des valeurs comprises entre $r = 0.1$ et $r = 0.2$ (A.Mangin; 1981). L'"effet mémoire d'un système peut être rapporté au rôle de régulation des réserves" (A. Mangin; 1981). Ainsi le corréogramme simple fournit une idée qualitative de l'importance globale des réserves du système.

b) La bande spectrale et la fréquence de coupure

Les tendances saisonnières, lorsqu'elles existent, se traduisent sur le spectre de densité de variance de la fonction d'entrée par des "pics". Suivant la nature du système, ces tendances saisonnières se retrouvent, ou disparaissent du spectre de densité de variance de la sortie.

La fréquence de coupure est définie comme la fréquence à partir de laquelle les informations liées à la fonction d'entrée du système sont filtrées. Suivant la valeur de la fréquence de coupure la bande spectrale est plus ou moins large. Ainsi, un système à bande spectrale large ($f_{coupure}=0.30$ par exemple) modifie très peu les informations contenues dans la fonction d'entrée. A l'inverse, un système présentant une bande spectrale

étroite (f. coupure = 0.05 par exemple) modifie la plupart des informations de la fonction d'entrée.

c) Temps de régulation ou durée de la réponse impulsionale

La durée de la réponse impulsionale correspond au temps durant lequel une impulsion unitaire a une influence sur le système. Ce temps de régulation est assimilé à la moitié de la largeur de la bande passante, elle-même définie comme la valeur du spectre de densité de variance pour la fréquence nulle.

La durée de la réponse impulsionale est donc un indice caractérisant l'organisation des écoulements au sein du système.

d) La réponse impulsionale -(hydrogramme unitaire)

Nous avons vu que lorsque l'entrée d'un système est un phénomène aléatoire et que, par ailleurs, ce système est invariant et linéaire, le corréogramme croisé représente la réponse impulsionale du système.

Comme nous allons le voir, la pluie est le plus souvent assimilable à un phénomène quasi-aléatoire. Cependant, nous savons que les systèmes karstiques ne sont, le plus souvent, ni linéaires, ni invariants. Le corréogramme croisé fournit donc une image moyenne et imprécise de l'hydrogramme unitaire.

L'image de l'hydrogramme unitaire ainsi obtenue permet néanmoins la comparaison des systèmes entre eux. Plus le système module l'impulsion d'entrée, plus le corréogramme croisé est aplati.

A l'opposé, un hydrogramme pointu et peu étalé caractérise un système modifiant très peu l'impulsion d'entrée. Ce système est très bien drainé et ne possèdera que peu de réserves.

Remarque:

Pour une fenêtre d'observation de 2 à 125 jours, la chronique doit compter au minimum 365 jours environ, soit la durée d'un cycle. Toutefois, il est préférable, pour obtenir une image plus fidèle du fonctionnement du système sur une telle fenêtre d'observation, d'employer une chronique assez longue, 8 à 10 cycles par exemple (A.Mangin 1981). L'image ainsi obtenue

correspond à une image moyenne de la structure de la chronique pour une fenêtre d'observation de 2 à 125 jours.

Sur une chronique d'environ 365 jours (un cycle), les analyses corrélatoires et spectrales peuvent également être effectuées. Le résultat est affecté d'un bruit de fond provoqué par la non-stationnarité et la non linéarité des systèmes étudiés. De ce fait, il n'est pas possible de comparer ce résultat avec celui obtenu à partir d'une chronique de 8 à 10 cycles. En revanche, le traitement d'un cycle permet soit de comparer des systèmes entre eux pour un cycle donné, soit de décrire le fonctionnement d'un système pour un cycle particulier.

4.4.3 Résultats:

Les seules chroniques de longue durée que nous possédons sont celles des débits de la Couze au Soulier (1971 à 1980) et de la pluie à Coudonnet (1969 à 1980).

Compte tenu des remarques formulées précédemment, la caractérisation du fonctionnement moyen de l'aquifère karstique se fait à partir du traitement de ces chroniques. Elles sont étudiées avec une fenêtre d'observation de 20 à 1250 jours et de 2 à 125 jours. Le résultat obtenu se rapporte au fonctionnement hydrodynamique de l'ensemble des trois systèmes du secteur étudié, puisque les débits obtenus à la station de la Couze au Soulier représentent la somme des débits des systèmes du Blagour du Sorpt et du Moulin de Laguenay (cf. fig. 26).

Les fonctionnements hydrodynamiques des systèmes du Blagour et du Sorpt sont ensuite comparés à partir de l'analyse des chroniques de pluies et de débits relatives au cycle 1982. L'interprétation est enfin complétée par l'analyse des chroniques des débits de la Couze-perte au Briant et de la source de Fontille relatives au même cycle.

4.4.3.1 Analyses des chroniques de débits de la Couze au Soulier et de la pluie à Coudonnet relatives à la période 1971-1980. Résultats et interprétation

Les résultats de l'analyse longue durée (fenêtre d'observation de 10 à 1250 jours) de la chronique des pluies

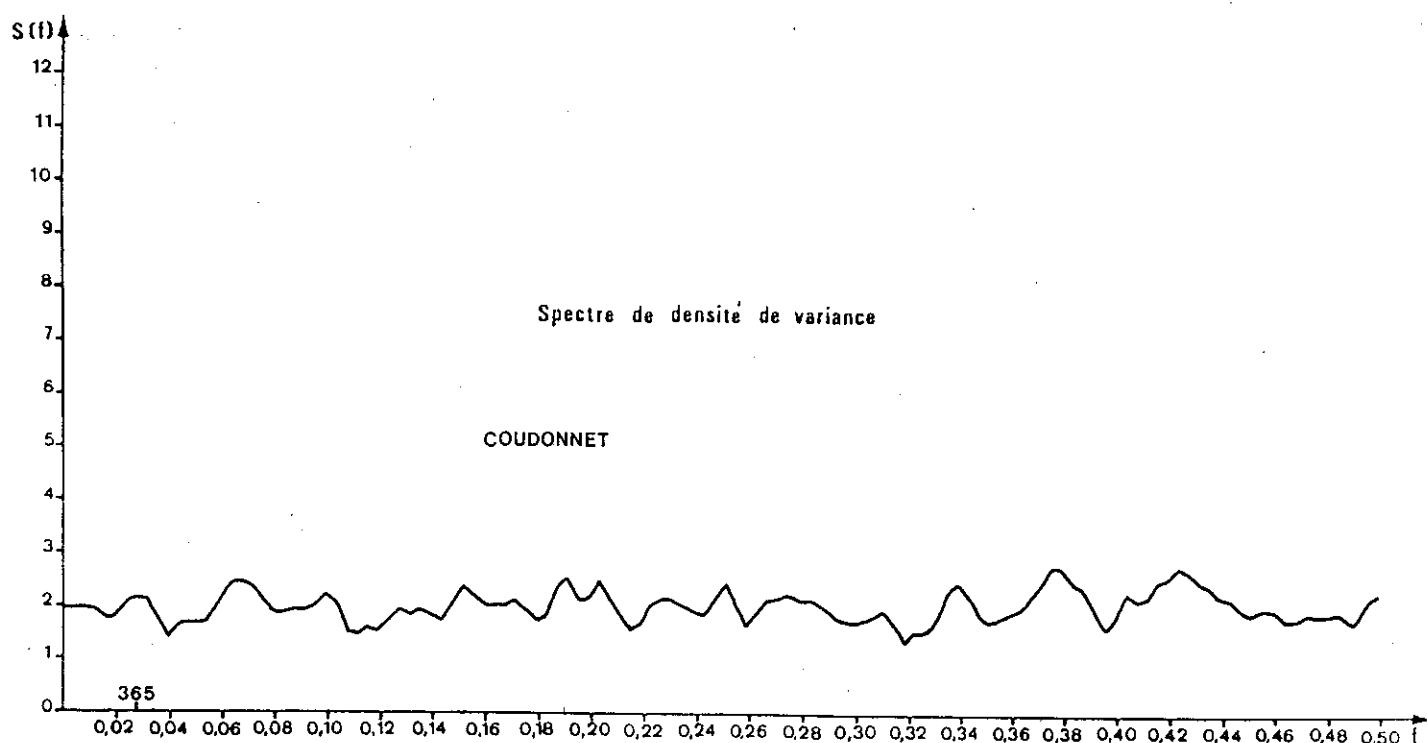
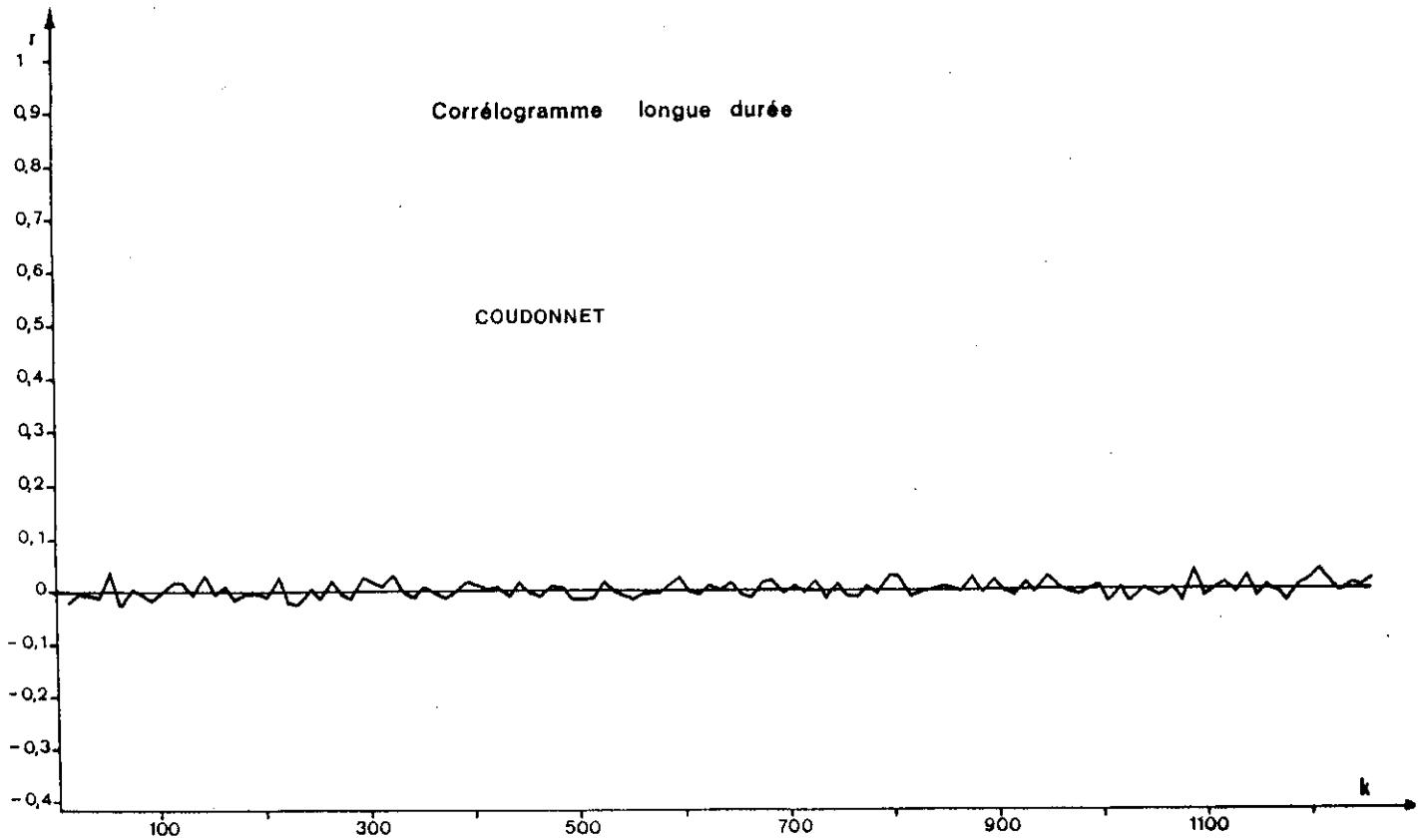
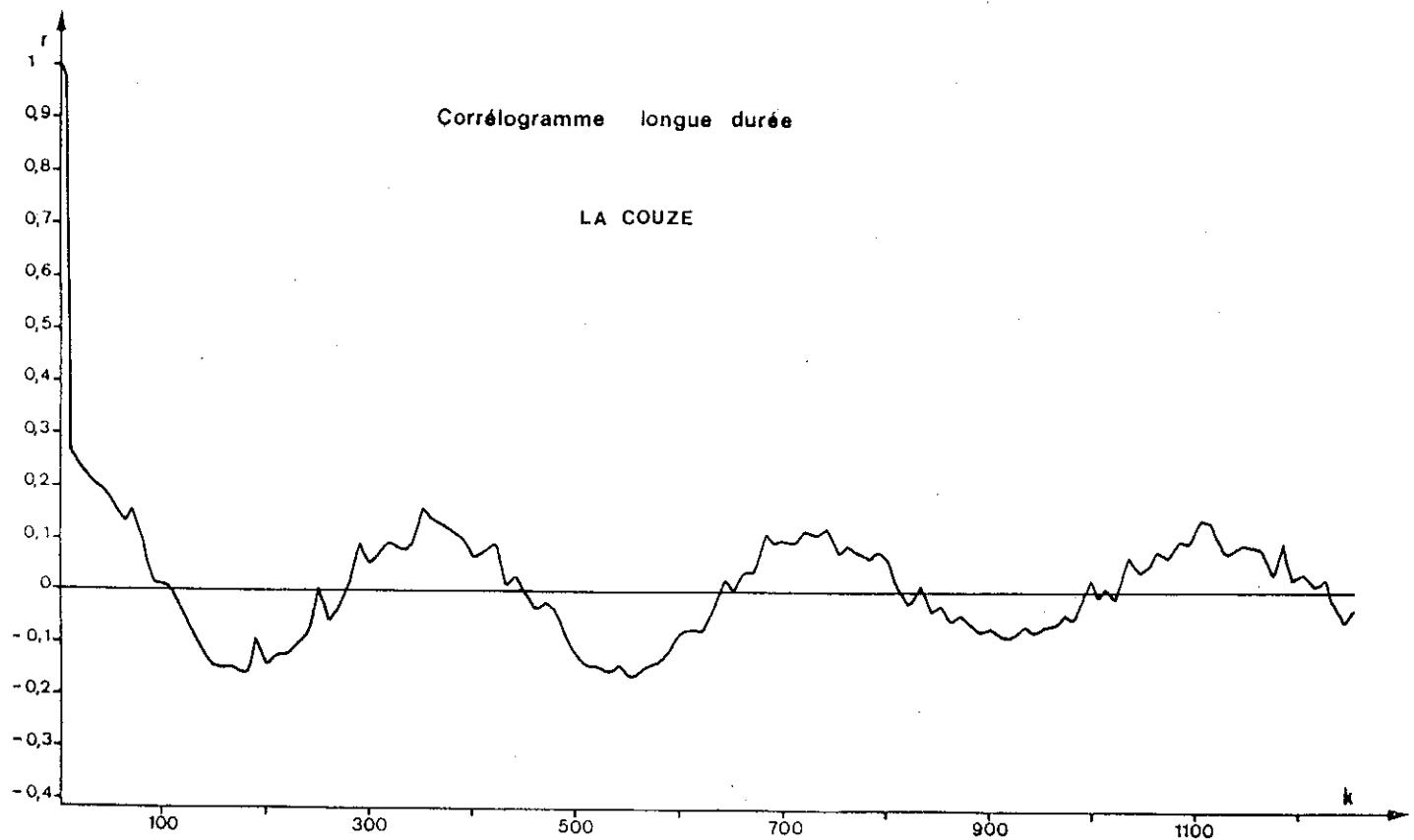


fig : 55

Corrélogramme et spectre de densité de variance
longue durée de la pluie à Coudonnet.

Corrélogramme longue durée

LA COUZE



Spectre de densité de variance

LA COUZE

365

0,02 0,04 0,06 0,08 0,10 0,12 0,14 0,16 0,18 0,20 0,22 0,24 0,26 0,28 0,30 0,32 0,34 0,36 0,38 0,40 0,42 0,44 0,46 0,48 0,50

fig. 56 Corrélogramme et spectre de densité de variance longue durée des débits de la Couze au Soulier

journalières à Coudonnet sur la période allant de 1971 à 1980 sont fournis par la *fig. 55*. Le corrélogramme simple est représenté par une fonction constante de valeur nulle. Aucune périodicité n'est décelable. Le spectre de densité de variance ne montre aucun "pic" important que ce soit pour les hautes ou pour les basses fréquences.

Ainsi, la succession des pluies journalières à Coudonnet est assimilable à un phénomène quasi-aléatoire ne présentant aucune tendance saisonnière ou séculaire.

Les résultats de l'analyse longue durée de la chronique des débits de la Couze au Soulier sur la période allant de 1971 à 1980 sont représentés sur la *fig. 56*. Le corrélogramme simple montre une fonction avec une périodicité de 360 jours environ. Le spectre de densité de variance présente deux "pics" importants. Le pic de plus forte amplitude est centré sur 365 jours. Le second, d'amplitude plus faible, correspond à un multiple de cette périodicité. Pour les fréquences proches de zéro, la fonction de spectre décroît fortement. Dans les hautes fréquences, les valeurs du spectre se stabilisent entre 1 et 3.

La chronique des débits moyens journaliers de la Couze au Soulier est définie par deux composantes; la première saisonnière, de période 365 jours est liée au cycle hydrologique; la seconde, aléatoire est associée à la succession des épisodes pluvieux. Aucune tendance à long terme n'apparaît.

L'apparition d'une tendance saisonnière (cycle hydrologique) dans la chronique des débits, alors qu'elle est très faible dans celle des pluies, est liée à plusieurs phénomènes (A.Mangin 1983).

Tout d'abord, au cours d'un cycle hydrologique, il existe toujours une période plus arrosée. Les analyses corrélatrice et spectrale ne permettent pas de mettre en évidence cette périodicité parce que ces évènements ne se reproduisent pas exactement à la même date, d'une année sur l'autre.

Ensuite, la véritable fonction d'entrée du système est la pluie efficace qui est, liée au cycle hydrologique.

Enfin, lorsqu'un système possède une structure lui permettant de stocker de l'eau, ce stockage se produit pendant

la période du cycle où la pluie efficace est la plus importante. Pendant le reste du cycle, le débit à l'exutoire est fonction de la vidange des réserves. Il apparaîtra donc une périodicité plus ou moins amplifiée par la capacité de stockage du système.

L'amplitude de cette tendance saisonnière est directement liée à l'inertie du système, donc au pouvoir régulateur de ses réserves (A.Mangin 1983).

L'amplitude observée pour la Couze est de 0.13. Cette valeur est très proche de celle obtenue par A.Mangin pour le Baget (0.12). Ces premières analyses confirment le résultat déjà obtenu grâce à l'analyse des courbes de récession; l'aquifère karstique de cette partie du Causse de Martel possède un fonctionnement global très proche de celui du Baget (Ariège).

Le corrélogramme et le spectre de densité de variance de la pluie à Coudonnet (fenêtre d'observation de 1 à 125 jours) sont présentés sur la *fig. 57*.

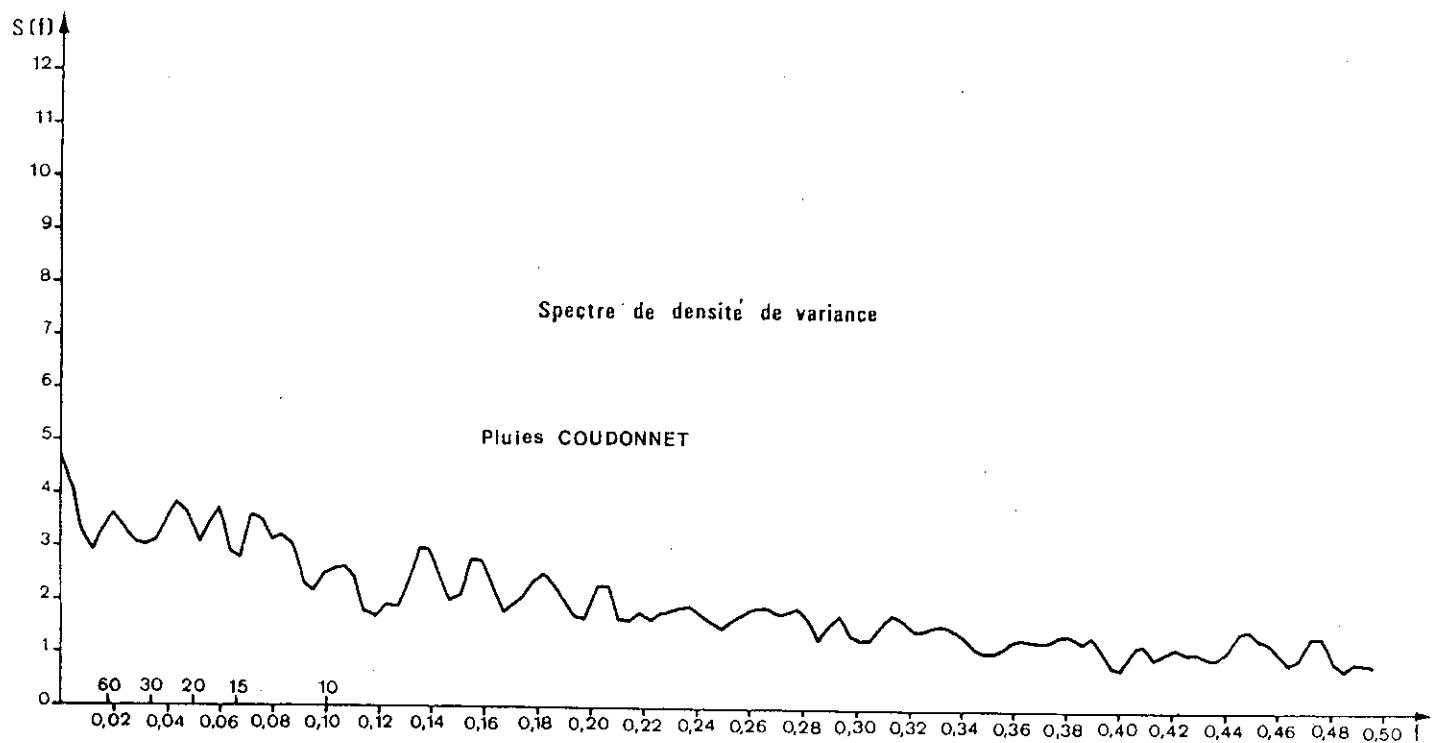
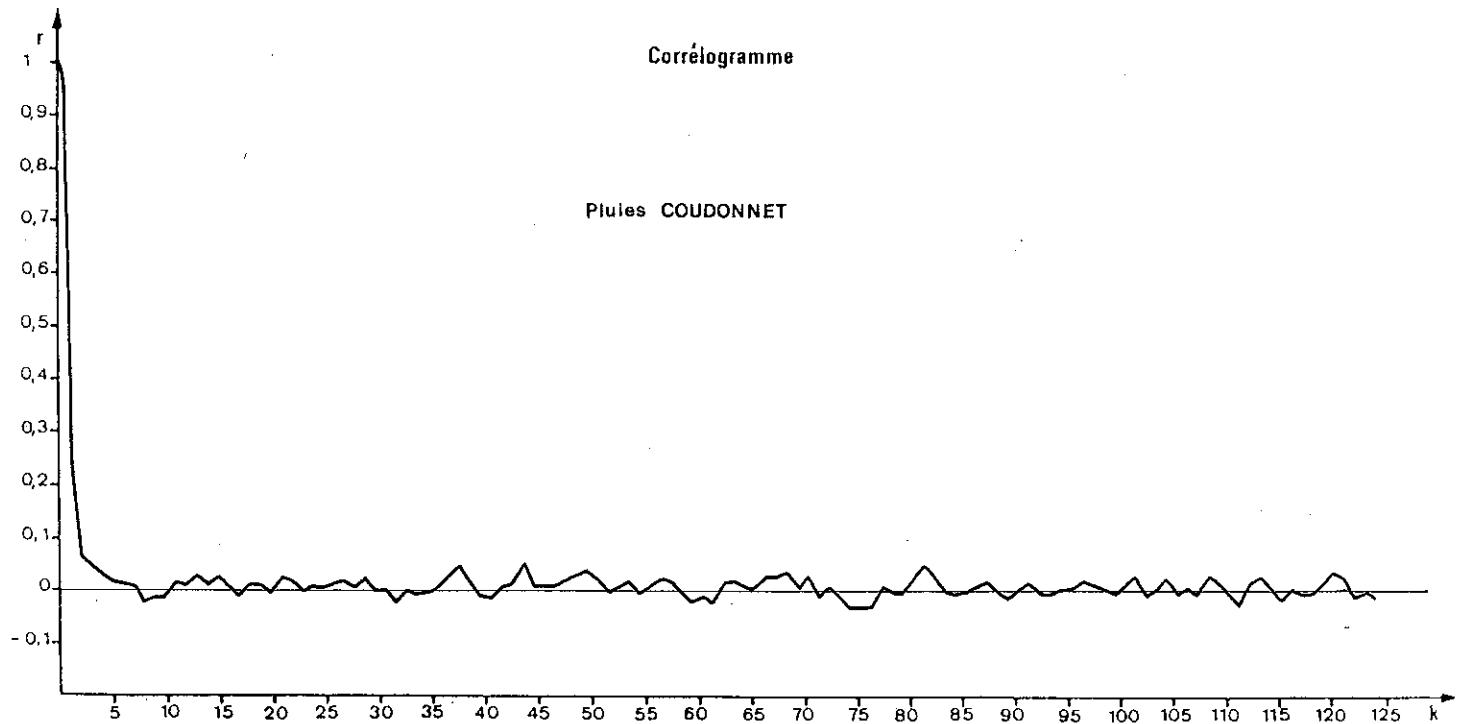
Le corrélogramme décroît très rapidement pour se stabiliser, à partir de $K = 6$ jours, aux alentours de zero. Après 48 heures, r reste inférieur à 0.2.

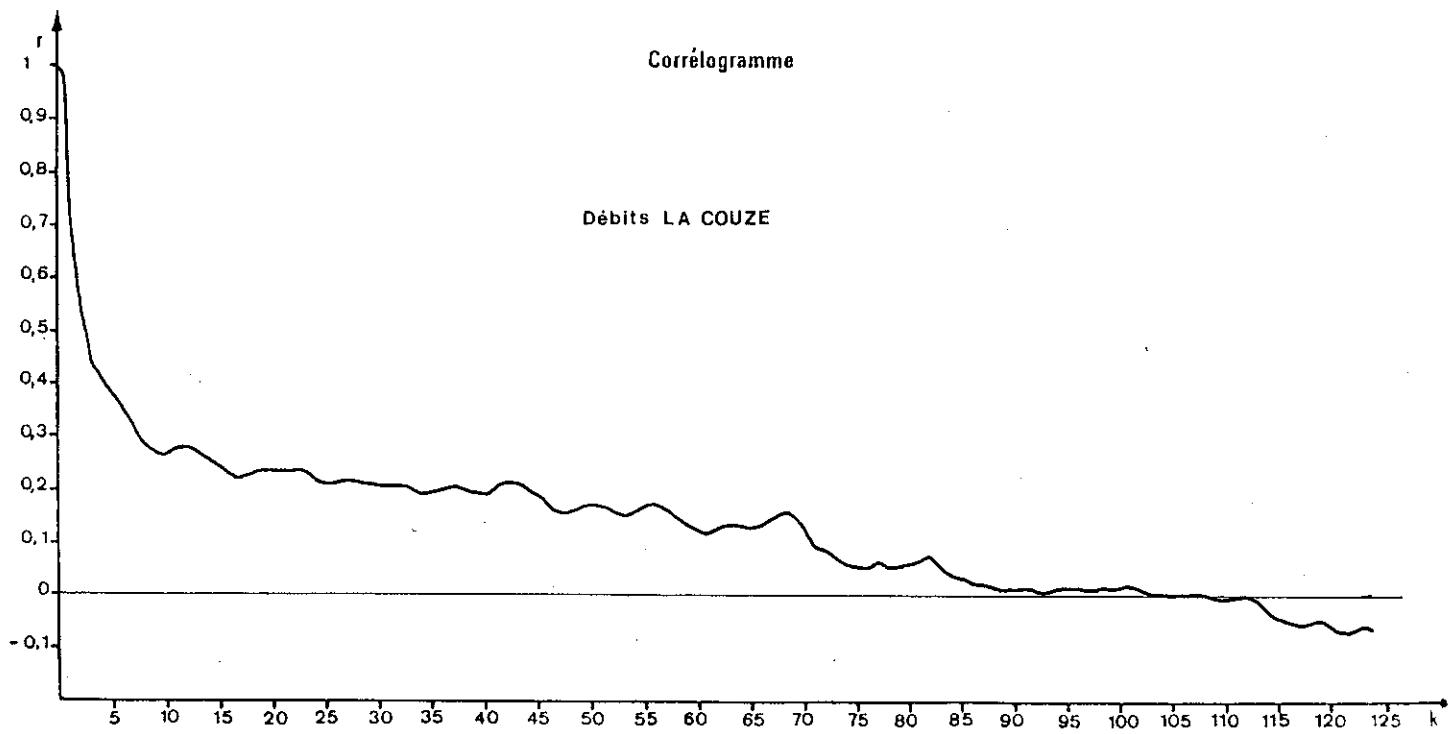
Le spectre de densité de variance présente des pics de faible amplitude proches du bruit de fond. Les valeurs ne dépassent jamais 4.

Sur cette fenêtre d'observation, la succession des pluies à Coudonnet peut être assimilée à un phénomène quasi-aléatoire puisque au delà de 48 heures, la valeur de la pluie ne dépend pratiquement plus des événements précédents. L'augmentation du spectre sur les basses fréquences traduit une légère tendance que est dûe à une faible variation saisonnière.

La *fig. 58* fournit le corrélogramme simple et le spectre de densité de variance des débits de la Couze au Soulier pour une fenêtre d'observation de 2 à 125 jours.

Entre $k = 0$ et $k = 10$ jours le corrélogramme décroît rapidement (pour $k = 10$ jours $r \simeq 0.27$). Pourtant, le corrélogramme n'atteint la valeur 0.2 qu'au bout de 30 jours et sa décroissance reste lente jusqu'à $k = 90$ jours environ. Le corrélogramme simple présente donc une rupture de pente pour $K = 10$ jours. Ainsi, la "mémoire du système" n'apparaît pas simple mais





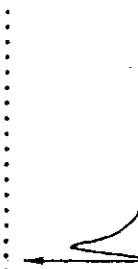
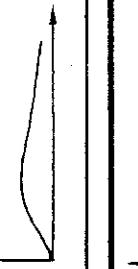
TYPES	"EFFECT MEMOIRE" ($r=0.1-0.2$)	BANDE SPECTRALE (f de coupure)	TEMPS DE REGULATION	HYDROGRAMME
				UNITAIRE
ALIOU	REDUIT (5j)	TRES LARGE (0.30)	10-15j	
BAGET	PETIT (10-15j)	LARGE (0.20)	20-30j	
FONTESTORRES	GRAND (50-60j)	ETROITE (0.10)	50j	
TORCAL	CONSIDERABLE (70j)	TRES ETROITE (0.05)	70j	
COUZE	30 à 60 jours	0.22	27 Jours	

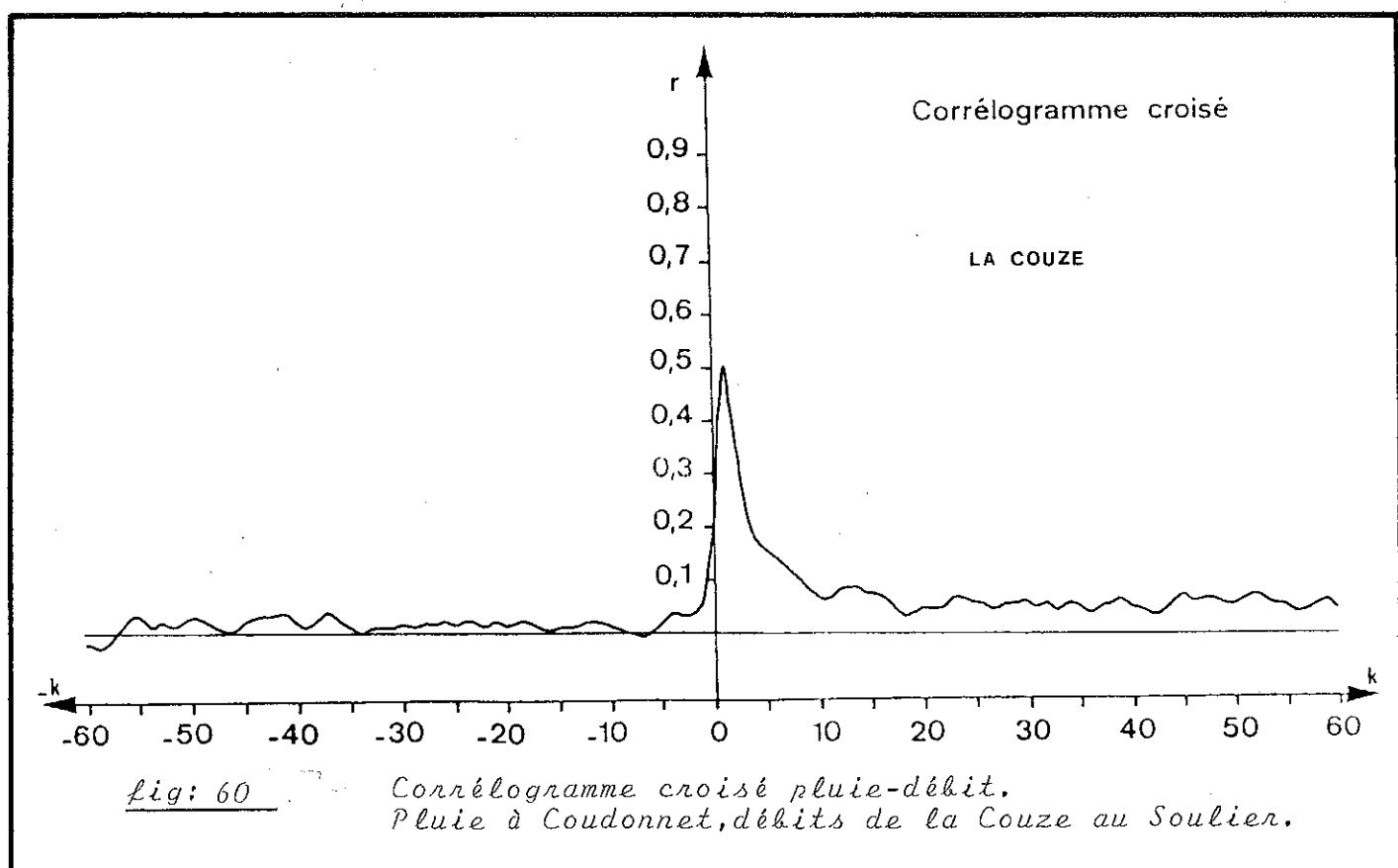
fig: 59

Classification des aquifères karstiques en fonction des résultats des analyses corrélatrices et spectrales. Comparaison avec les résultats obtenus par la Couze. (classification proposée par A. Nangin)

composée. Tout se passe comme s'il existait deux modes indépendants de mise en mémoire..

Le spectre de densité de variance montre un pic de forte amplitude pour les basses fréquences. Il correspond à la tendance saisonnière associée au cycle hydrologique mise en évidence par l'analyse longue durée. Ensuite, la courbe est décroissante. Toutefois, elle présente des pics secondaires de faible amplitude. Lorsque l'on compare le spectre de la pluie à Coudonnet et celui des débits de la Couze, on s'aperçoit que pour les fréquences comprises entre 0 et 0.22 les petits pics secondaires apparaissent, pour les mêmes fréquences, sur les deux courbes. Ainsi, ces variations de faible amplitude, observables sur le spectre des débits, correspondent à des informations contenues dans les chroniques des pluies. La fréquence de coupure est donc de 0.22. Le temps de régulation peut être estimé à 27 jours.

La fig. 59 permet de comparer les paramètres obtenus pour la Couze au Soulier avec ceux proposés par A.Mangin (1983) pour classer les aquifères karstiques. Ainsi, la Couze



possède un fonctionnement qui globalement s'apparente au type baget. Toutefois, l'effet mémoire observé pour la Couze (30 à 60 jours) est plus important que celui caractérisant habituellement les aquifères karstiques de ce type. Il semble que cette différence souligne le caractère complexe de la mise en mémoire des informations au sein du système. Cette complexité est confirmée par l'image de l'hydrogramme unitaire fournie par le corrélogramme croisé et présentée sur la *fig. 60*. En effet, la forme du corrélogramme croisé montre une rupture de pente pour $r = 0.2$. Pour les valeurs de $r < 0.2$, l'hydrogramme présente une forme relativement aplatie. A l'opposé, pour les valeurs de $r > 0.2$ l'hydrogramme croît, puis décroît très rapidement. Seule, la composition des réponses impulsionales de deux systèmes indépendants possédant des structures internes différentes, peut expliquer la forme de la réponse impulsionale observée. En représentation systémique, l'aquifère karstique étudié peut être schématisé comme la somme de deux systèmes parallèles A et B (*cf. fig. 61*). Le système A dont l'hydrogramme unitaire est très pointu, est

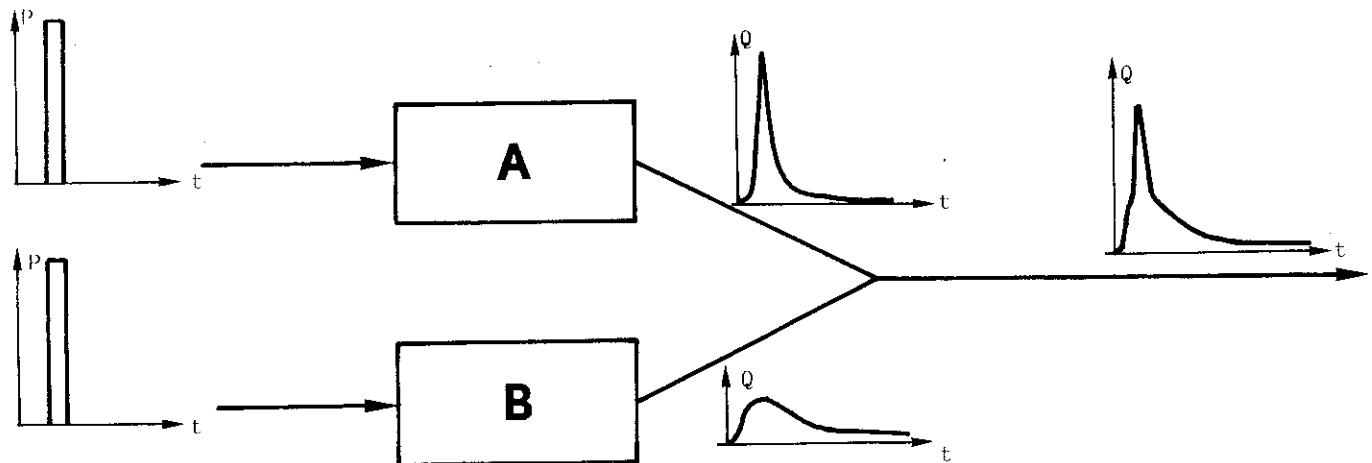


fig: 61 Schématisation du fonctionnement du système karstique de la Couze.

un système possédant un pouvoir régulateur faible. Il s'apparente à un système bien drainé et peu capacitif de type Aliou. (cf. *figure 59*). Le système B, dont l'hydrogramme unitaire est plus aplati, possède un pouvoir régulateur plus important. Il est moins bien drainé et possède des réserves proportionnellement plus importantes que le système A. Ainsi, comme le prouve la forme du corréogramme simple (cf. *fig. 58*), "l'effet mémoire" grand, montrant d'existense de réserves non négligeables, peut être associé au système B. Par conséquent, le système B représente la partie capacitive de l'aquifère.

Enfin, cette schématisation impose que le système B soit, en terme de volume, beaucoup moins important que le système A. En effet, si cette condition n'était pas respectée, le pouvoir régulateur du système B masquerait les informations provenant du fonctionnement du système A;

La *figure 62* présente les fonctions de cohérence et de gain obtenues pour la Couze au Soulier. La fonction de cohérence varie autour de la valeur 0.65. Cette valeur fournit un ordre de grandeur du coefficient de corrélation entre les événements d'entrée et de sortie, en fonction de la fréquence. Elle nous renseigne également sur la linéarité du système. Ainsi, la corrélation entre les événements d'entrée et les événements de sortie est médiocre. L'image de la fonction d'entrée, à la sortie du système, est donc relativement floue. La linéarité du système n'est pas bonne. Ce résultat va dans le sens d'un système complexe. Pour les fréquences supérieures à 0.22 on remarque que la fonction de cohérence décroît sensiblement.

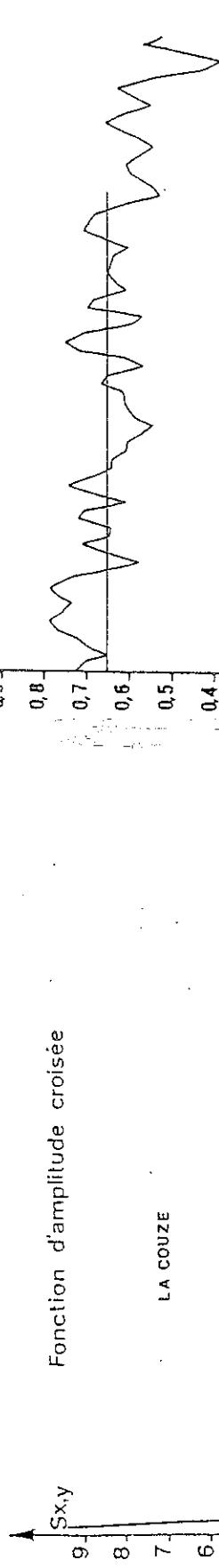
Le système de la Couze amplifie les basses fréquences et atténue les fréquences supérieures à 0.035 (> 29 jours) Ceci prouve que, globalement, le système de la Couze possède un pouvoir inertiel moyen. Ce résultat, en accord avec celui fourni par l'analyse longue durée, montre que l'aquifère karstique possède des réserves globales non-négligeables.

A partir de la fonction de phase présentée sur la *figure 63*, le déphasage entre un épisode pluvieux et l'épisode de crue correspondant est en moyenne de 1,3 jours. Le déphasage observé pour les événements saisonniers (basses fréquences) est de l'ordre de 3,9 jours. Ce résultat se situe entre les résultats

LA COUZE

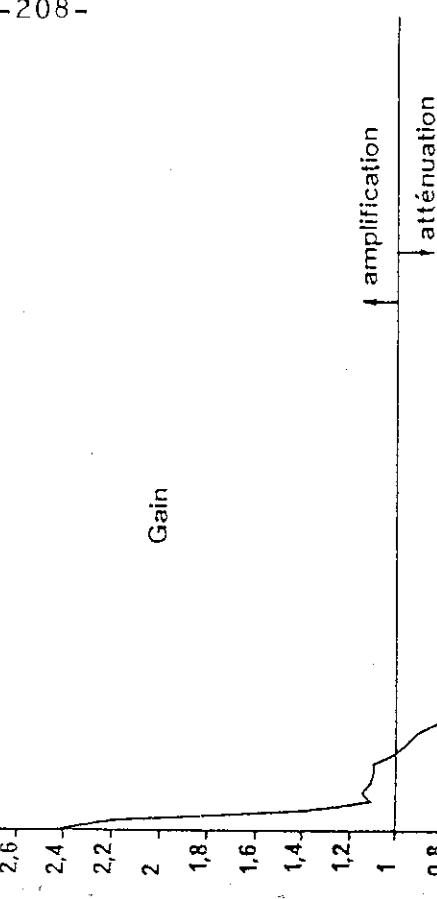
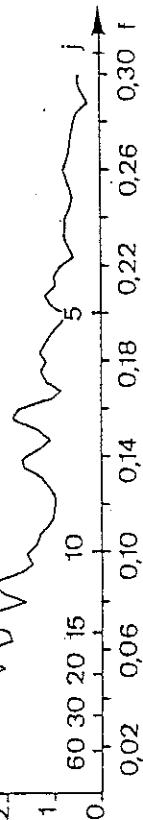
$S_{x,y}$

Fonction d'amplitude croisée



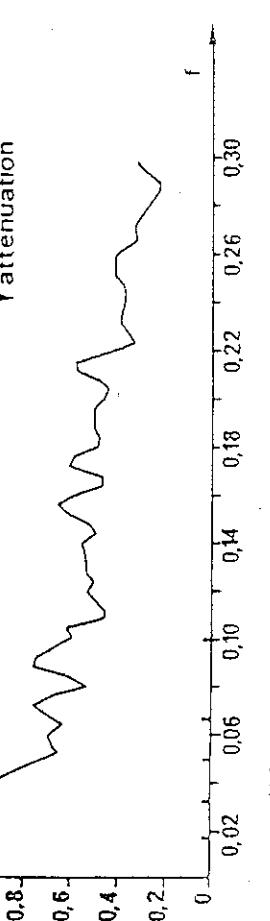
LA COUZE

$C_{x,y}$



Cohérence

R



atténuation

amplification

Lig: 63
Fonction d'amplitude croisée
et fonction de phase pour la
Couze au Soulien croisée avec
la pluie à Coudonnet (9 cycles)

Lig: 62

Fonction de cohérence et fonc-
tion de gain pour la Couze au
Soulien croisée avec la pluie
à Coudonnet (9 cycles).

obtenus pour les aquifères de type Baget et ceux de type Fontestorbes (Baget 1.1 j et 3 jours; Fontestorbes 1.5 jours et 4 jours; A. Mangin; 1981). Il existe donc un certain retard dans la propagation des impulsions d'entrée.

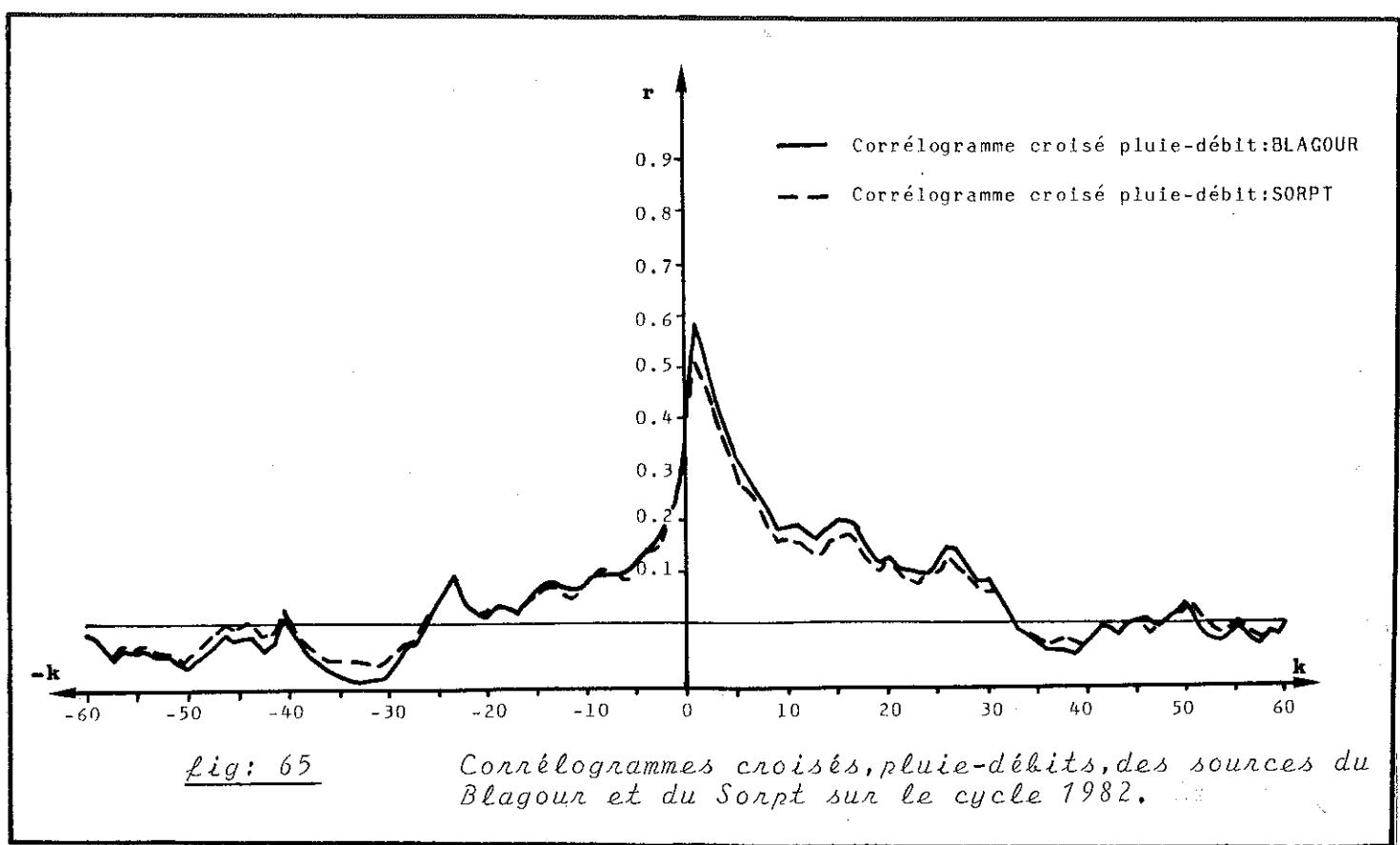
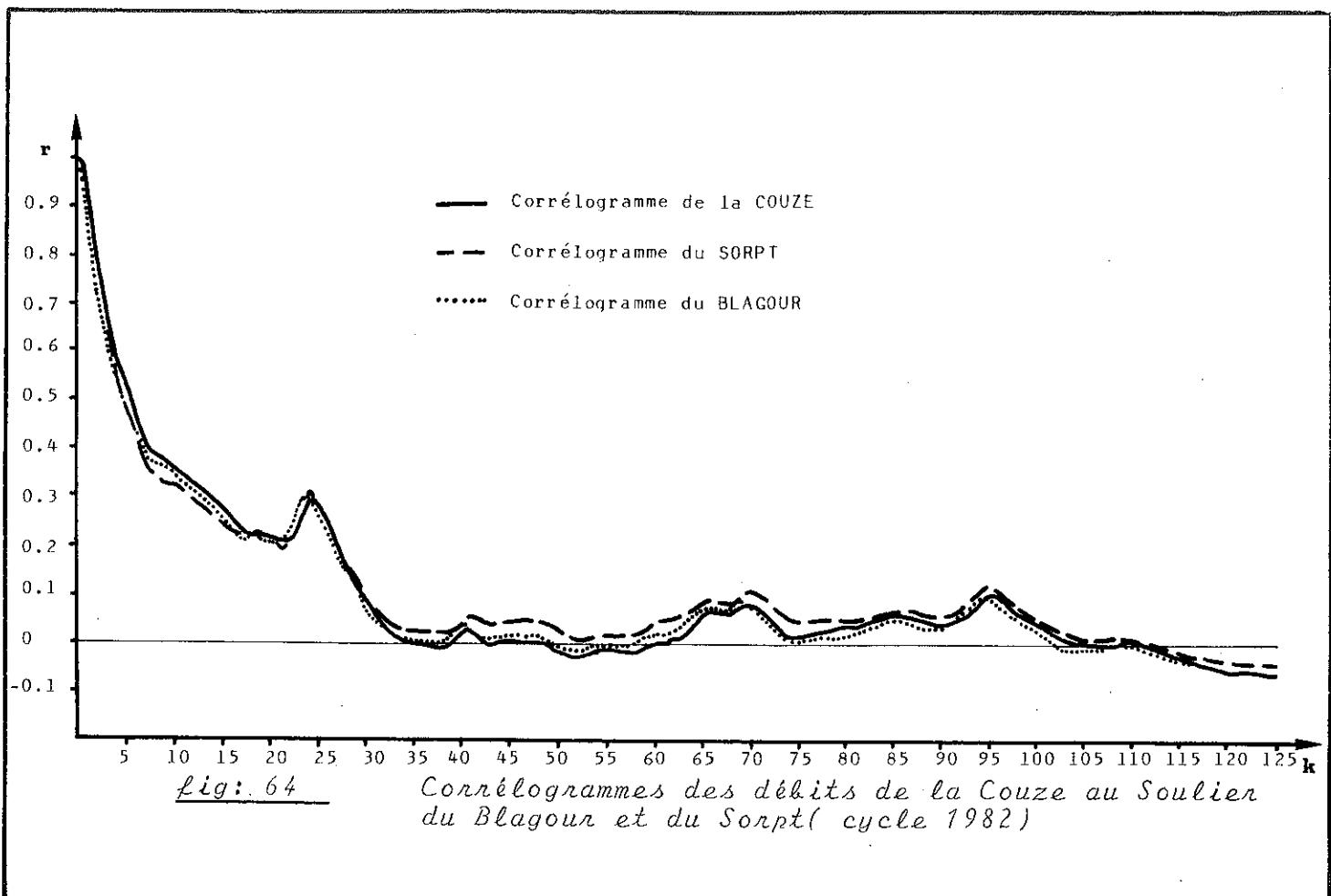
4.4.3.2 Analyses des chroniques de débits du Blagour du Sorpt, de la Couze-Perte et de Fontille ainsi que des chroniques de la pluie à Coudonnet et à Lagleygeolles relatives au cycle 1982. Résultats et interprétation

Compte tenu de leur nombre important, tous les résultats des analyses corrélatoire et spectrale ne seront pas fournis dans le texte, mais en annexe VI. Nous nous contenterons ici de présenter les résultats les plus importants.

Les corréogrammes et les spectres de la pluie à Coudonnet et à Nespouls (Lagleygeolles), calculés pour le cycle 1982, sont identiques. Ce résultat prouve que la pluie est bien un phénomène régional. En outre, la succession des pluies en ces deux points du secteur étudié apparaît comme un phénomène quasi-aléatoire, ne montrant pas de tendance saisonnière nette (cf. annexe VI).

Sur la figure 64, sont représentés les corréogrammes de la Couze, du Blagour et du Sorpt relatifs au cycle 1982. D'une manière générale les trois courbes sont très proches. L'"effet mémoire" ($r = 0.2$ pour $k = 27$ jours) de ces différents systèmes est du même ordre de grandeur. Ainsi, on peut dire que le pouvoir régulateur des réserves des systèmes du sorpt et du Blagour est, d'une manière globale, identique. Si on analyse dans le détail ces trois courbes nous nous apercevons que le corréogramme du Sorpt décroît plus rapidement que celui du Blagour. Il semble donc, comme le laissait prévoir l'analyse des courbes de récession que proportionnellement, le système du Sorpt possède des réserves globales un peu plus faibles que celles du Blagour.

De plus, la rupture de pente mise en évidence sur l'analyse de la chronique de 9 cycles est bien moins nette sur ces corréogrammes. Il est probable qu'une chronique de 365 jours soit trop courte pour souligner nettement ce fonctionnement



complexe de l'aquifère karstique. Toutefois, pour $k = 7$ jours la décroissance rapide des différents corrélogrammes est interrompue.

Enfin, au delà de $k = 25$ jours, le bruit de fond rend l'interprétation impossible.

La *figure 65* présente les corrélogrammes croisés pluie-débit du Blagour et du Sorpt relatifs au cycle 1982. La forme générale des deux courbes est identique. Toutefois, celle du Sorpt est écrêtée par rapport à celle du Blagour. Ce résultat tend à montrer que l'organisation des écoulements et, en particulier, des écoulements d'infiltration (cf. para. 4.2), est moins bonne pour le système du Sorpt que pour le système du Blagour. Les courbes de décrue des hydrogrammes du système du Sorpt, étudiées au paragraphe 4.2, montrent la même caractéristique.

A partir des différentes courbes fournies en annexe VI, le temps de régulation et la fréquence de coupure, pour les systèmes du Blagour et du Sorpt, ont respectivement pour valeur: $tr = 21.8j$, $fc = 0.21$; $tr = 22.4j$, $fc = 0.24$. Ces résultats sont très proches de ceux obtenus par l'analyse de la Couze sur 9 cycles. Toutefois, l'interprétation des différentes courbes est rendue délicate par le bruit de fond qui apparaît sur de telles analyses (cf. annexe VI).

A partir des chroniques de débit de la source de Fontille et du ruisseau de la Couze-perte, nous avons mené un certain nombre d'analyses complémentaires permettant d'affiner notre connaissance du système du Blagour. La *figure 66* permet de comparer les corrélogrammes des débits du Blagour, de Fontille et de la Couze-perte. Le corrélogramme des débits de la source de Fontille décroît très rapidement. Il atteint $r = 0.2$ en moins de 10 jours. L'effet mémoire est donc très faible. Le corrélogramme des débits de la Couze-perte décroît également rapidement. Il atteint 0.2 pour $k = 15$ jours. Sur ces deux corrélogrammes il n'apparaît aucune rupture de pente. La *figure 67* nous permet de comparer les images des hydrogrammes unitaires du Blagour, de Fontille et de la Couze-Perte.

Les corrélogrammes croisés de Fontille et de la Couze-perte sont confondus. Ils ont une forme plus pointue que

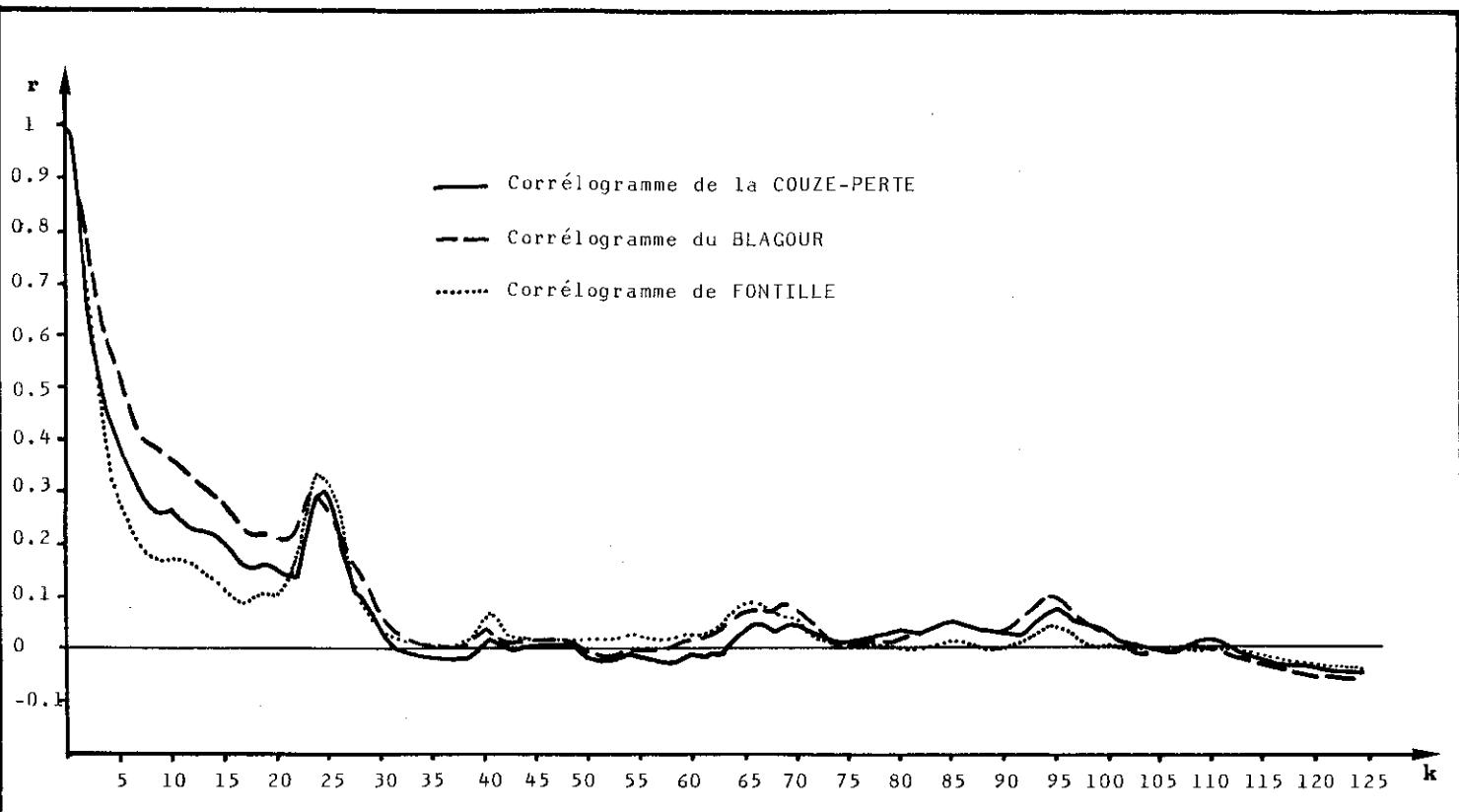


fig: 66

Corrélogrammes des débits du Blagour, de la Couze-Perte et de Fontille sur le cycle 1982.

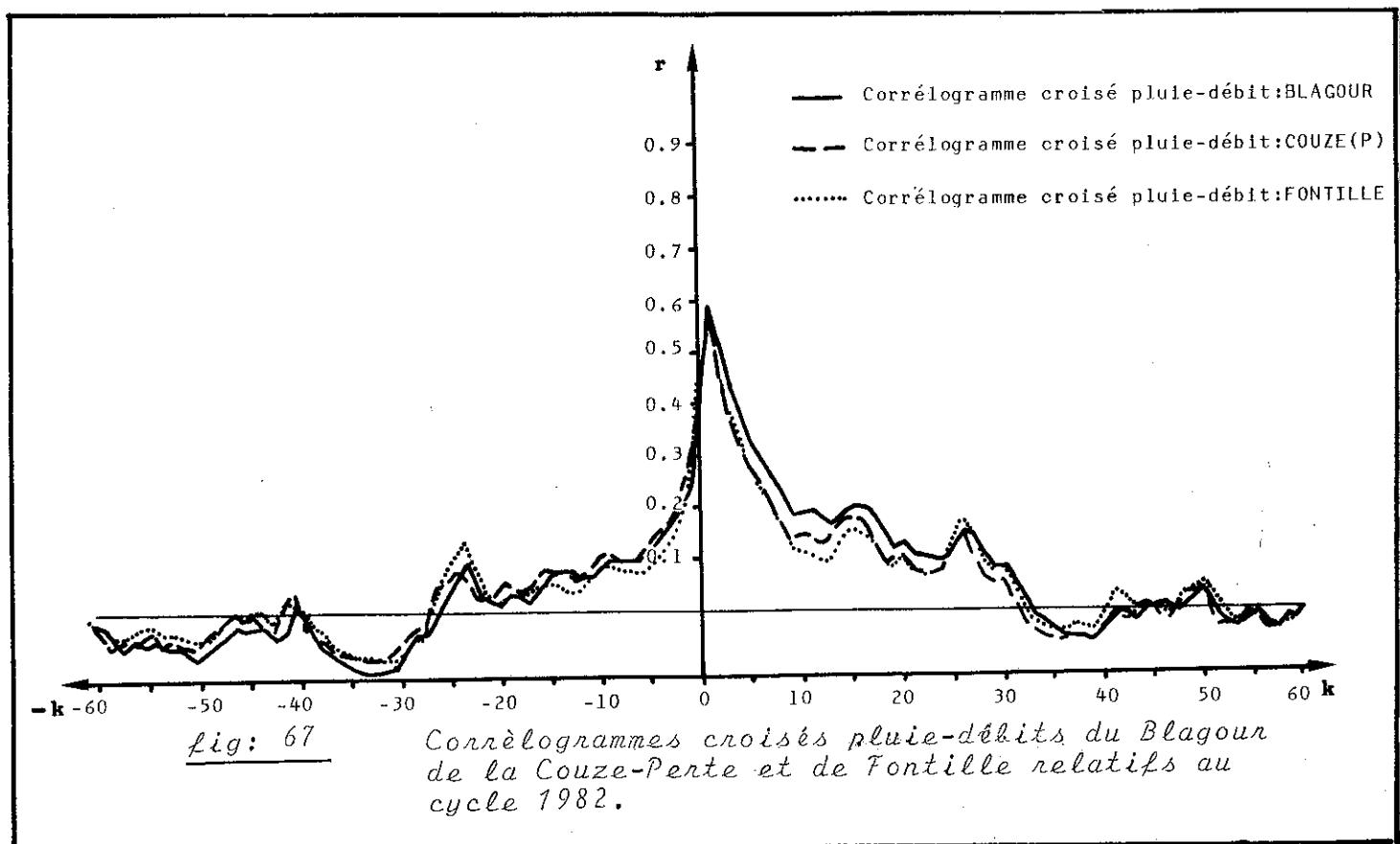
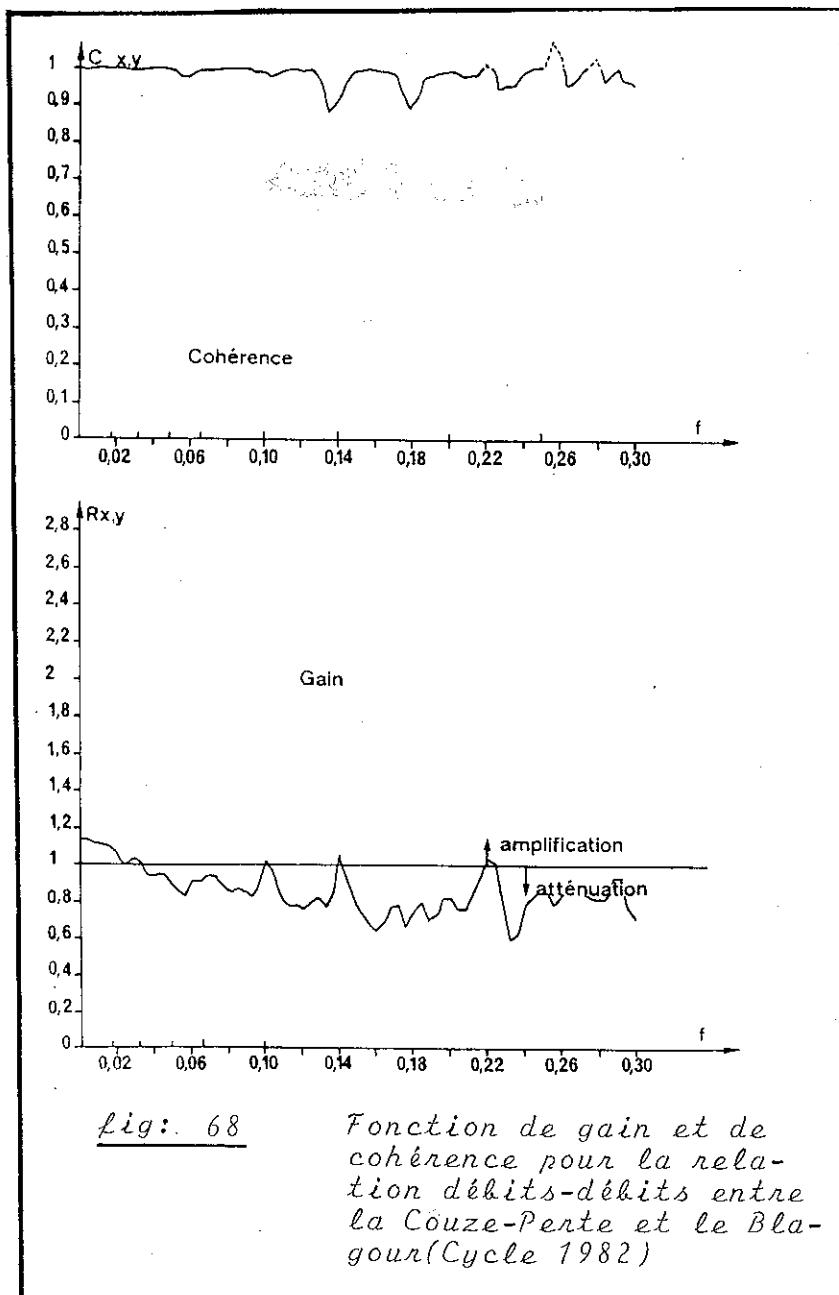


fig: 67

Corrélogrammes croisés pluie-débits du Blagour de la Couze-Perte et de Fontille relatifs au cycle 1982.

celui du Blagour. Ainsi, la source de Fontille semble être l'exutoire d'une zone bien drainée de l'aquifère. De plus, le drainage de surface en amont de la perte de la Couze et de l'aquifère dans le secteur de la source de Fontille possèdent un degré d'organisation comparable.

Enfin, nous avons mené une analyse spectrale croisée entre les débits de la Couze-Perte et ceux du Blagour. La fonction de cohérence est quasiment constante (*cf. fig. 68*). Elle a pour valeur $C_{xy} = 1$ jusqu'à $f = 0,22$ (fréquence de coupure).



Ainsi, les informations contenues dans la chronique des débits de la Couze-perte se retrouvent au Blagour sans avoir subi aucune déformation. Ce résultat implique la présence d'une structure de drainage très développée entre ces deux points du système du Blagour. Cette conclusion est confirmée par la fonction de gain (*cf. fig. 68*). En effet, l'amplification des basses fréquences est très faible, ainsi que l'atténuation des hautes fréquences. La partie du système située entre la perte de la Couze et le Blagour est donc peu inertielle; la perméabilité y est très importante.

4.4.4 Synthèse et discussion

L'ensemble des résultats, obtenus à partir des analyses corrélatoire et spectrale, mais également, à partir des expériences de traçage et de l'analyse des courbes de récession, est cohérent. On en déduit que, globalement, l'aquifère karstique de cette région du Causse de Martel possède un comportement hydrodynamique de type Baget. Ce type de système est caractérisé par des réserves faibles mais non-négligeables et par "une structure de drainage mieux développée à l'amont qu'à l'aval avec des retards dans l'alimentation dus à des terrains non karstique" (A. Mangin, 1975). Dans le cas des systèmes du Blagour et du Sorpt, cette structure est plus complexe. En effet, il apparaît que le fonctionnement global, s'il est bien de type Baget, est la somme du fonctionnement de deux aquifères indépendants aux comportements hydrodynamiques forts différents. L'un présente un hydrogramme unitaire très pointu caractérisant un système peu capacitif possédant des structures de drainage bien développées. L'autre, capacatif et présentant une moins bonne organisation des écoulements, est caractérisé par un hydrogramme unitaire aplati (*cf. fig. 61*).

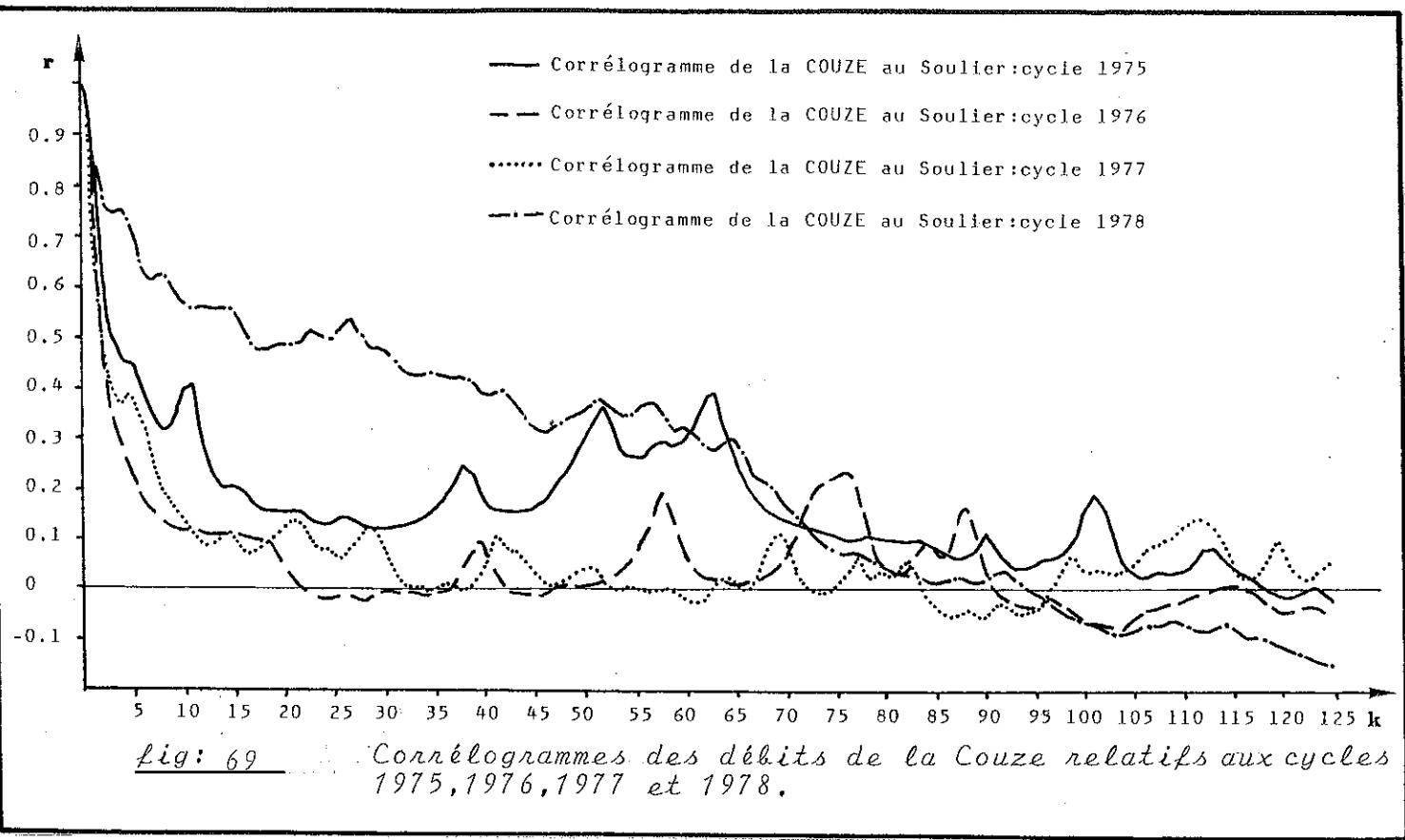
L'interprétation hydrogéologique la plus simple est d'assimiler l'un des deux aquifères au système du Blagour et l'autre au système du Sorpt. Comme il est nécessaire que le système le plus capacitif soit nettement plus petit en volume que l'autre (*cf. para. 4.4.3.1*), on pourrait penser que le système du Sorpt, compte tenu de sa faible dimension, possède une moins bonne organisation des écoulement et des réserves plus

importantes que celles du Blagour. Il n'en est rien, car les analyses corrélatoire et spectrale menées sur le cycle 1982 prouvent qu'il n'existe pas de différence notable entre le fonctionnement global du système du Sorpt et de celui du Blagour. De plus les divers résultats tendent plutôt à prouver que, proportionnellement, le système du Sorpt est un peu moins capacitif que celui du Blagour.

Pour les mêmes raisons, l'interprétation hydrogéologique faisant intervenir l'aquifère des grés du Trias, situés au nord de la Faille de Condat-Meyssac, n'est pas satisfaisante. En effet, le système du Sorpt est géographiquement et géologiquement isolé de ces formations permo-triasiques.

Il faut donc chercher ces deux systèmes indépendants au sein même de ce karst. Deux hypothèses peuvent être émises :

a) Le système pour lequel l'organisation des écoulements est la moins bonne serait formé par les dépôts "sidérolithiques" colmatant des paléostuctures karstiques. Ces dépôts étant très discontinus, leur volume est donc faible devant le volume de l'ensemble de l'aquifère. En outre, cette particularité assure l'indépendance de cet ensemble par rapport au fonctionnement de l'aquifère karstique proprement dit. Un argument hydrodynamique vient à l'encontre de cette hypothèse. Si l'on compare les corrélogrammes des cycles 1975, 1976, 1977, et 1978 (cf. fig. 69) on remarque que les cycles 1975 et 1976 possédaient des réserves très faibles, que le cycle 1977 possérait des réserves moyennes et que le cycle 1978 montrait des réserves très importantes. Sur les mêmes cycles, si l'on compare ces résultats aux débits moyens écoulés aux exutoires de l'aquifère, on s'aperçoit qu'il existe un décalage entre les cycles excédentaires en débit, et, les cycles présentant des réserves importantes (cf. tableau 23). Ainsi, les réserves de l'aquifère sont longues à se reconstituer. Si ces réserves étaient situées à la surface de l'aquifère et contenues dans un milieu poreux, une année excédentaire devrait largement compenser une année déficitaire. Il est donc peu probable que les dépôts à faciès sidérolithique situées à la surface du Causse constituent la structure capacitive de l'aquifère.



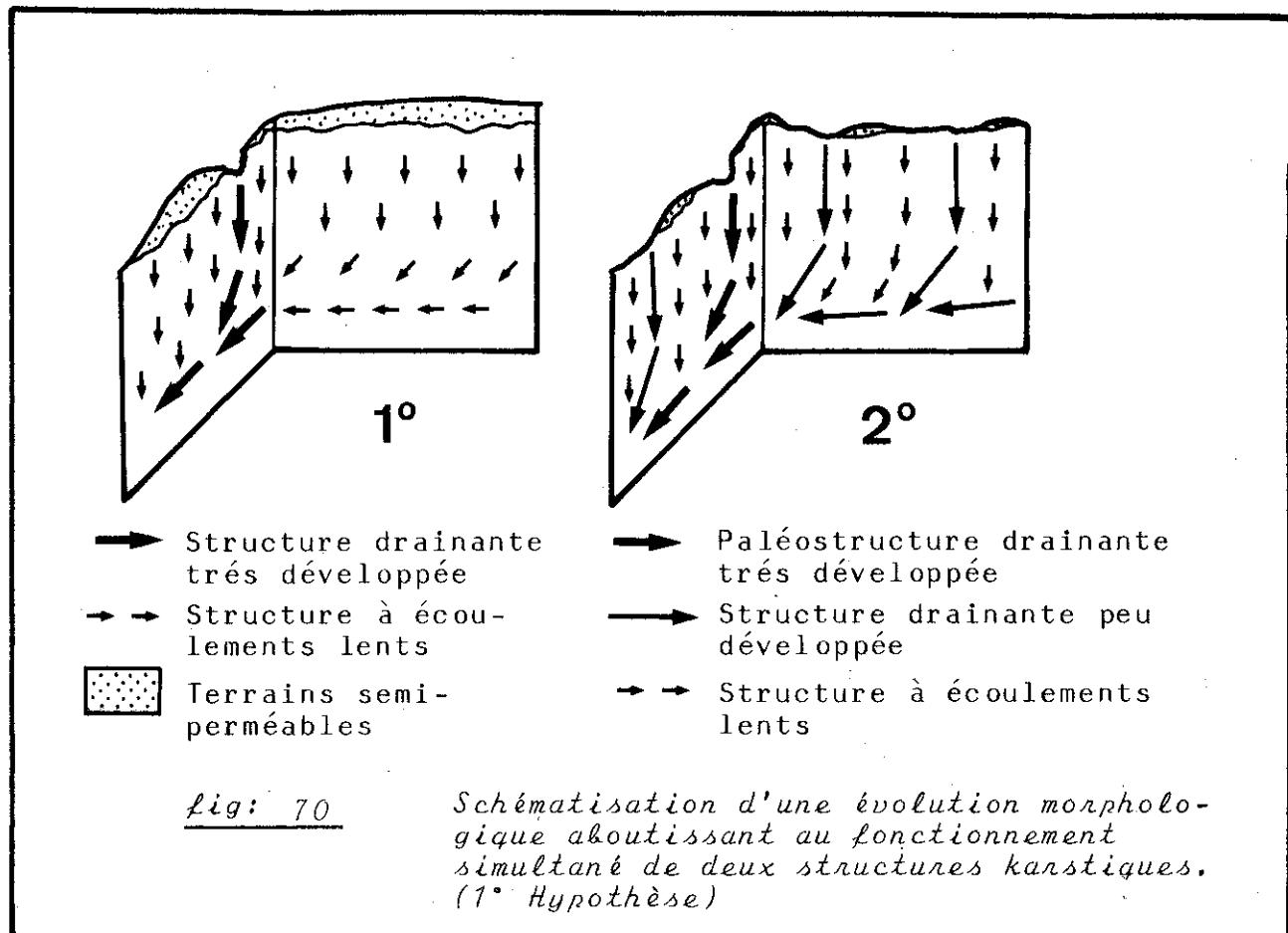
Cycles	1975	1976	1977	1978
Débits m^3/s	0.786	0.332	1.402	0.903

Tableau: 23 Débits moyens en m^3/s de la Couze au Soulier pour les cycles 1975, 1976, 1977 et 1978 (module interannuel $0.875 m^3/s$)

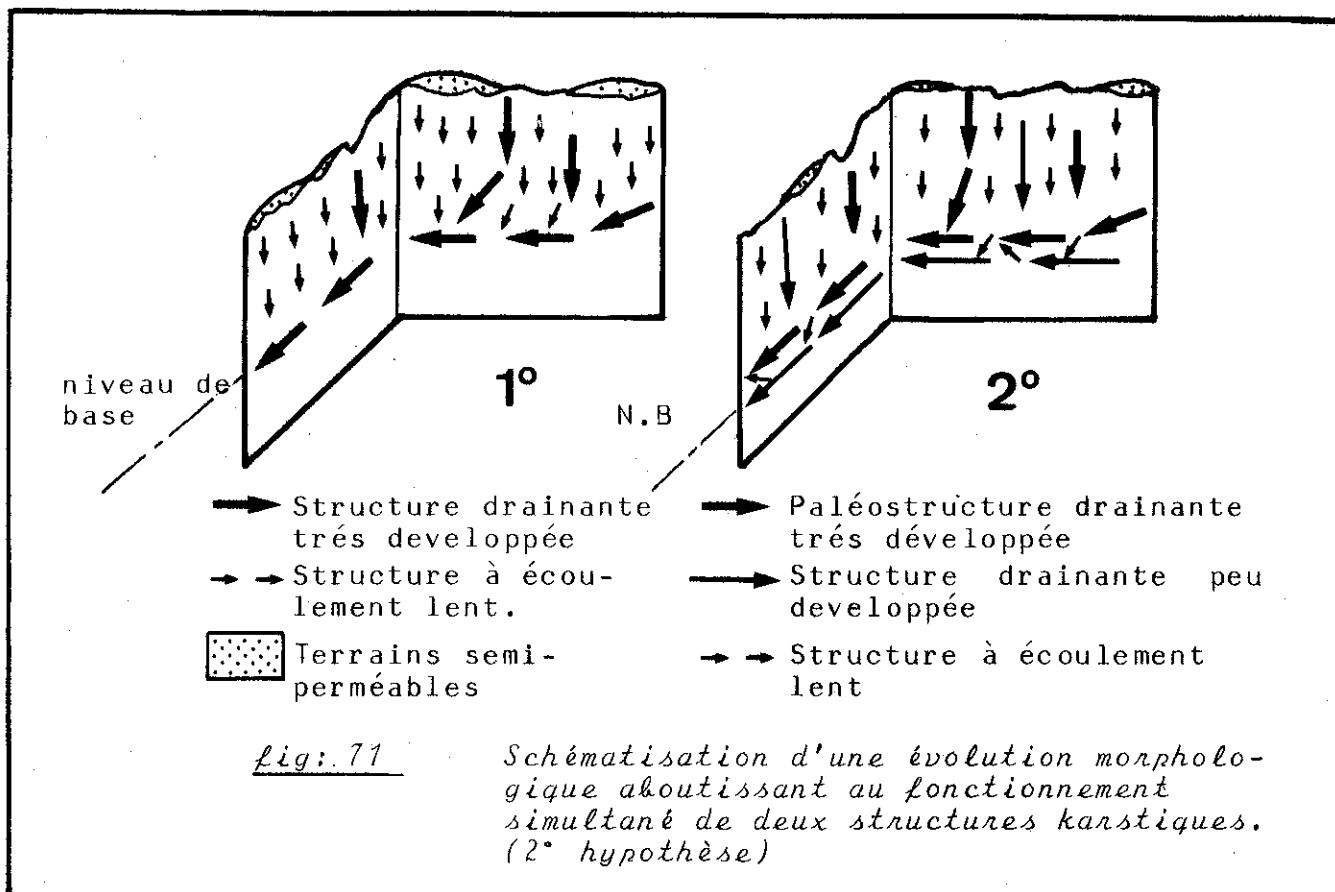
d) Les deux systèmes, aux compartements hydrodynamiques différents, sont réunis au sein même de la masse calcaire. Cependant, on sait qu'un aquifère karstique est structuré et que son comportement hydrodynamique est conditionné par l'organisation des vides dans lesquelles se produisent les écoulements. Ainsi, dans le cas général, lorsque l'organisation des vides est extrêmement poussée, l'aquifère sera très transmissif et peu capacitif. Au contraire, si l'organisation des vides est médiocre, c'est à dire s'il n'existe que de mauvaises relations hydrauliques entre eux, le système sera globalement peu transmissif et très capacitif. L'organisation des vides est fonction des conditions aux limites du système lors de la karstification (M.Bakalowicz; 1979; A.Mangin; 1982). Si le fonctionnement de l'aquifère traduit l'existence de deux types d'organisation des écoulements, il est possible de concevoir que les conditions climatiques, géochimiques ou paléogéographiques ont varié au cours du temps provoquant au moins deux phases de karstifications. De plus, l'apparence de fonctionnement double impose que deux structures karstiques, présentant un degré différent d'organisation des écoulements, soient fonctionnelles simultanément. Deux cas de figures au moins peuvent être envisagés dans le cas du Causse de Martel.

Au cours du Quaternaire, les conditions aux limites ont souvent changé (cf. chapitre II). En particulier, si les limites géographiques des différents systèmes ont peu varié durant le Quaternaire, il en va différemment de la superficie des zones non-karstiques qui formaient les dépôts à faciès sidérolithique. On sait que la présence d'écoulements de surface favorise la mise en place de structures karstiques particulières dont la structure de drainage est très développée et localisée. Ce genre de dispositif a pour origine la concentration de l'énergie (hydraulique et chimique) au niveau des points de perte (M.Bakalowicz, 1979; A.Mangin, 1975, 1982). Ainsi, lorsque la superficie des zones non-karstiques était encore grande à la surface du Causse, on peut supposer que les structures de drainage bien développées et localisées existaient sans pour cela que l'ensemble du système karstique soit bien drainé. Après le décapage des dépôts à faciès sidérolithique, un autre type de structure possédant une moins bonne organisation des écoulements a

dû se mettre en place. Les drains bien développés de l'ancienne structure ont pu être réutilisés, mais, parallèlement, d'autres structures, sûrement moins bien développées, assuraient le drainage de l'ensemble de l'aquifère karstique (cf. fig. 70).



Si, maintenant, on tient compte des variations du niveau de base, on peut également imaginer qu'une structure moins bien organisée soit située altimétriquement plus bas qu'une autre dont l'organisation des vides est très poussée. Dans ce cas, lors de la mise en charge du système les structures supérieures pourront être réactivées. Le fonctionnement apparent de l'aquifère sera alors celui d'un karst bien développé. En revanche en étiage, la majorité des écoulements se faisant dans des structures peu organisées, l'aquifère apparaîtra peu transmissif et capacatif (cf. fig. 71).



On peut bien évidemment composer ces deux derniers schémas et même les compliquer avec une remontée tardive du niveau de base désorganisant les écoulements à l'aval des systèmes. Il semble que pour conclure, il faille des informations plus précises sur l'origine des eaux d'étiage. L'interprétation des résultats hydrogéochimiques présentés au paragraphe 5 de ce chapitre, apportera certainement des éléments permettant de conclure.

Les analyses corrélatoires et spectrales menées à partir des chroniques du cycle 1982 apportent des renseignements supplémentaires sur les systèmes du Blagour et du Sorpt.

Tout d'abord, comme nous venons de le voir, leur fonctionnement global est identique.

Le système du Sorpt possède cependant un hydrogramme unitaire écrêté par rapport à celui du Blagour prouvant l'existence d'un drainage moins bon. Enfin, le système du Sorpt possède des réserves globales proportionnellement moins importantes que

celles du Blagour.

Le drainage bien développé du système du Blagour est confirmé par l'étude comparative des informations entrant à la perte de la Couze et celles observées à la source du Blagour. Paradoxalement, l'ensemble du système est capacitif. Ainsi, la complexité de la structure de l'aquifère, mise en évidence par l'étude des chroniques de la Couze sur 9 cycles, semble plus marquée pour le système du Blagour que pour celui du Sorpt.

Enfin, la source de Fontille montre à la fois un effet mémoire très faible et une capacité de drainage très importante. Ces caractéristiques sont semblables à celles du ruisseau de la Couze-perte. Cependant, en étiage, la source de Fontille ne tarit pas, alors que la Couze-perte, dont l'effet mémoire est plus important, tarit. Il semble que l'on puisse expliquer ce phénomène par la fonction de trop plein de cet exutoire. En effet, le débit de hautes eaux n'est pas en rapport avec le débit d'étiage. Ainsi, l'effet-mémoire paraît très faible.

4.5 Conclusion de l'étude hydrodynamique

Les résultats des différentes analyses sont cohérents entre eux. L'interprétation de ces résultats montre que les systèmes du Blagour et du Sorpt sont à la fois moyennement capacitifs et transmissifs. Par exemple, les réserves du karst noyé peuvent être évaluées à $4.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ pour le Blagour et à $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ pour le Sorpt. Les expériences de traçage ont mis en évidence des vitesses moyennes de transit de l'ordre de 150m/h en hautes eaux.

Lorsque l'on compare l'ensemble des résultats à ceux obtenus par A. Mangin sur un certain nombre de système dont la structure est bien connue, on peut dire que globalement l'aquifère karstique de cette région possède un fonctionnement hydrodynamique assez comparable à celui du Baget. Toutefois un certain nombre d'indices (variabilité du coefficient de tarissement lors d'un étiage prononcé, rupture de pente du corrélogramme des débits...) et surtout la forme de l'image de l'hydrogramme unitaire de la Couze au Soulier, soulignent une structure complexe de l'aquifère. En effet, le fonctionnement global des deux systèmes

est la somme du fonctionnement de deux sous-systèmes aux comportements hydrodynamiques différents. L'un, caractérisé par un hydrogramme unitaire pointu, possède une structure bien organisée. L'autre, dont l'hydrogramme unitaire est plus aplati, traduit une organisation moins élaborée des vides karstiques. Il semble que ces deux sous-systèmes indépendants hydrodynamiquement cohabitent au sein de la masse calcaire. Il est probable que cette structure complexe de l'aquifère soit liée à une évolution de la karstification durant la Quaternaire récent. On peut penser qu'il a existé plusieurs phases de karstification et que ce processus physico-chimique n'a pas toujours abouti à l'élaboration de structures comparables. De plus, au moins deux de ces structures fonctionnent, à l'heure actuelle, indépendamment et de manière simultanée.

La structure la plus drainante, et la moins capacitive des deux, est la mieux connue. En effet, elle se résume en un ensemble de drains dont la partie supérieure constitue, pour le système du Blagour, le "réseau spéléologique de la Couze". De plus, les traçages effectués en hautes eaux ont permis de mettre en évidence plusieurs axes de drainage. Pour le système du Sorpt, cet axe de drainage est sud-nord. Il est sensiblement parallèle à la Faille de Chasteaux. Pour le système du Blagour, le drainage s'agence autour de l'axe Perte de la Couze-Blagour. Le reste du drainage est de composante sud-nord à est-ouest et permet les écoulements des eaux provenant de la partie sud du système. De nombreuses pertes sont en relation directes avec cette structure de drainage. Cette partie de l'aquifère est très transmissive. Les conduits sont certainement surdimensionnés par rapport aux quantités d'eau qu'elles ont à évacuer actuellement. A l'aval des systèmes, en particulier de celui du Sorpt ce drainage est moins fonctionnel, même en hautes eaux.

En étiage, les traçages ne permettent plus de différencier la structure drainante de la structure capacitive. Les drains que nous venons de décrire ne sont plus fonctionnels. Il est probable que le drainage se produit selon les mêmes axes, mais avec des vitesses beaucoup plus lentes, et pas forcément par les mêmes conduits. Cette structure est capacitive. C'est

elle qui alimente les sources en étiage. Le karst noyé est discontinu, mais la localisation exacte de celui-ci reste à préciser. Toutefois, il semble que la majorité de ces structures capacitives se trouve à l'aval des systèmes. Celles du Blagour apparaissent proportionnellement plus importantes que celles du Sorpt.

5. HYDROGEOCHIMIE

5.1 Généralités

L'hydrogéochimie constitue depuis plusieurs années un moyen d'investigation privilégié de la structure et du fonctionnement de l'aquifère karstique. En effet, *l'eau est à la fois créatrice et vecteur d'informations* (M.Bakalowicz; 1979).

* l'eau: créatrice d'information.

l'eau, vis à vis des minéraux composant la roche aquifère, constitue un solvant. Lors de son transit dans l'aquifère l'eau acquiert une charge minérale caractéristique de la nature des roches traversées. Lorsque la géologie d'une région est bien connue, la composition chimique de l'eau permet de connaître l'étendue du réservoir.

* L'eau: vecteur d'information

La composition chimique d'une eau peut évoluer durant son transit. Ainsi, l'information recueillie au point d'émergence est fonction de la nature du réservoir, des minéraux rencontrés, mais également, du temps du transit et des conditions permettant ou non la conservation des hétérogénéités du réservoir jusqu'à l'exutoire.

Pour interpréter convenablement l'information contenue dans les résultats des analyses d'eau, il est nécessaire de connaître les modalités d'acquisition de la minéralisation.

La charge minérale des eaux karstiques se décompose en trois familles (in R.Botton; 1984):

1° Les éléments fondamentaux:

H^+ , OH^- , Ca^{2+} , HCO_3^- et CO_3^{2-} : ils représentent, dans le cas étudié, plus de 90% de la minéralisation totale et leurs teneurs sont réglées par l'équilibre calco-carbonique.

2° Les éléments caractéristiques de l'aquifère:

Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , SiO_2 : Leurs teneurs sont réglées par des équilibres plus ou moins complexes.

3° Les éléments en trace

5.1.1 Les éléments fondamentaux. Equilibre calco-carbonique

Nous n'allons pas ici reprendre toute la théorie de la chimie des carbonates. Nous nous contenterons de rappeler les points essentiels permettant l'interprétation des résultats obtenus dans le cadre de ce travail.

Comme nous l'avons remarqué au chapitre II, les roches carbonatées sont peu solubles dans l'eau pure. En revanche, en présence d'anhydride carbonique, la dissolution des calcaires dans l'eau est plus importante. Trois phases interviennent dans la mise en solution des carbonates:

- * Une phase liquide (l'eau, le solvant)
- * Une phase solide (la roche carbonatée)
- * Une phase gazeuse (l'anhydride carbonique)

Les équilibres régissant le système $H_2O - CO_2$ -carbonates sont rassemblés dans le tableau 24 (M. Bakalowicz; 1980 in R. Botton 1984).

Pour déterminer l'état d'une solution par rapport à l'équilibre, nous disposons de 9 équations et de 10 inconnues ($[CO_2]$, $[HCO_3^-]$, $[CO_3^{2-}]$, $[H_3O^+]$ ou $[H^+]$, $[OH^-]$, $[Me^{2+}]$, $[MeCO_3^+]$ et $[MeSO_4^-]$ ainsi que pCO_2 ; cf. tableau 24). Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de disposer de deux variables indépendantes. En pratique, si on fixe la valeur d'une de ces deux variables, toutes les autres sont déterminées. Dans cette étude, nous avons repris la méthode proposée par H. Røques (1972; in M. Bakalowicz; 1979). L'état de la solution par rapport à l'équilibre sera évalué par la différence entre le pH de la solution mesuré sur le terrain, pH_m , et le pH d'équilibre, pH_{eq} , calculé grâce à l'expression suivante:

$$pH_{eq} = \log K_s - \log K_2 - \log [Ca^{2+}] - \log [HCO_3^-] - \log (1-K_5) [SO_4^{2-}] + C$$

où C représente une correction proportionnelle à la teneur en ion Mg^{2+} (cf. Annexe VII).

Remarque: Cette expression est une approximation valable du pH équ. si $m SO_4^{2-} \leq 1.5m$ mole/l et $m Mg^{2+} \leq 5m$ mole/l

RESUME DES EQUILIBRES CONSTITUANT
LE SYSTEME $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CARBONATE}$

<u>Equilibres</u>	<u>Constantes d'équilibres</u>
1) <u>Entre phase liquide et phase gazeuse</u> <ul style="list-style-type: none"> Dissolution du CO_2 (ou évaporation) $(1) (\text{CO}_2)_g \rightleftharpoons (\text{CO}_2)_l$	$K_0 = \frac{(\text{CO}_2)_l}{(p\text{CO}_2)}$
2) <u>Dans la phase liquide</u> <ul style="list-style-type: none"> Hydratation du CO_2 puis 2 ionisations successives $\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CO}_2, n\text{H}_2\text{O})$ $(2) (\text{CO}_2, n\text{H}_2\text{O}) + p\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ + (n+p-2)\text{H}_2\text{O}$ $(3) \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ Formation de complexes $(4) \text{HCO}_3^- + \text{Me}^{2+} \rightleftharpoons \text{Me HCO}_3^+$ $(5) \text{CO}_3^{2-} + \text{Me}^{2+} \rightleftharpoons \text{Me CO}_3^0$ Dissociation de l'eau $(6) 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$ $K_e = (\text{H}_3\text{O}^+) (\text{OH}^-) = 10^{-14}$ Formation de complexes avec l'ion sulfate $(7) \text{Me}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{Me SO}_4^0$ $K_5 = \frac{(\text{Me SO}_4^0)}{(\text{Me}^{2+}) (\text{SO}_4^{2-})}$ 	$K_1 = \frac{(\text{HCO}_3^-) (\text{H}_3\text{O}^+)}{(\text{CO}_2)}$ $K_2 = \frac{(\text{CO}_3^{2-}) (\text{H}_3\text{O}^+)}{(\text{HCO}_3^-)}$ $K_3 = \frac{(\text{Me HCO}_3^+)}{(\text{HCO}_3^-) (\text{Me}^{2+})}$ $K_4 = \frac{(\text{Me CO}_3^0)}{(\text{CO}_3^{2-}) (\text{Me}^{2+})}$
3) <u>Entre phase liquide et phase solide</u> <ul style="list-style-type: none"> Dissociation du carbonate $(8) \text{Me CO}_3 \rightleftharpoons \text{Me}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	$K_s = \frac{(\text{Me}^{2+}) (\text{CO}_3^{2-})}{(\text{Me CO}_3)}$
4) <u>Electroneutralité de la solution</u> $(9) 2m \text{CO}_3^{2-} + m \text{HCO}_3^- + m \text{OH}^- + 2m \text{SO}_4^{2-} = 2m \text{Me}^{2+} + m \text{H}_3\text{O}^+ + m \text{MeHCO}_3^+$	

tableau: 24

Resumé des équilibres constituant le système $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-Carbonate}$. Les termes entre parenthèses représentent les activités des ions considérés (Voir Annexe N° VII).

Ainsi lorsque:

- * $\text{pH} \approx 0$, la solution est à l'équilibre
- * $\text{pH} > 0$, la solution est sursaturée et tend à précipiter des carbonates.
- * $\text{pH} < 0$, la solution est sous-saturée et tend à dissoudre les carbonates.

Pour estimer les pCO_2 présentes dans l'aquifère, on fait appel à la notion de "pCO₂ équilibrante" ainsi définie par H.Roques (1962; in M.Bakalowicz; 1979):

"La pCO_2 équilibrante est une notion fictive; ce serait la pression partielle de la phase gazeuse associée à la solution de minéralisation et pH donné, avec laquelle elle serait en équilibre".

La pCO_2 équilibrante est calculée à partir des relations d'équilibre (1) et (2) du tableau 24.

Elle s'écrit:

$$\log (\text{pCO}_2 \text{ equi.}) = \log [\text{HCO}_3^-] - \text{pH} - \log K_\text{O} - \log K_\text{I}$$

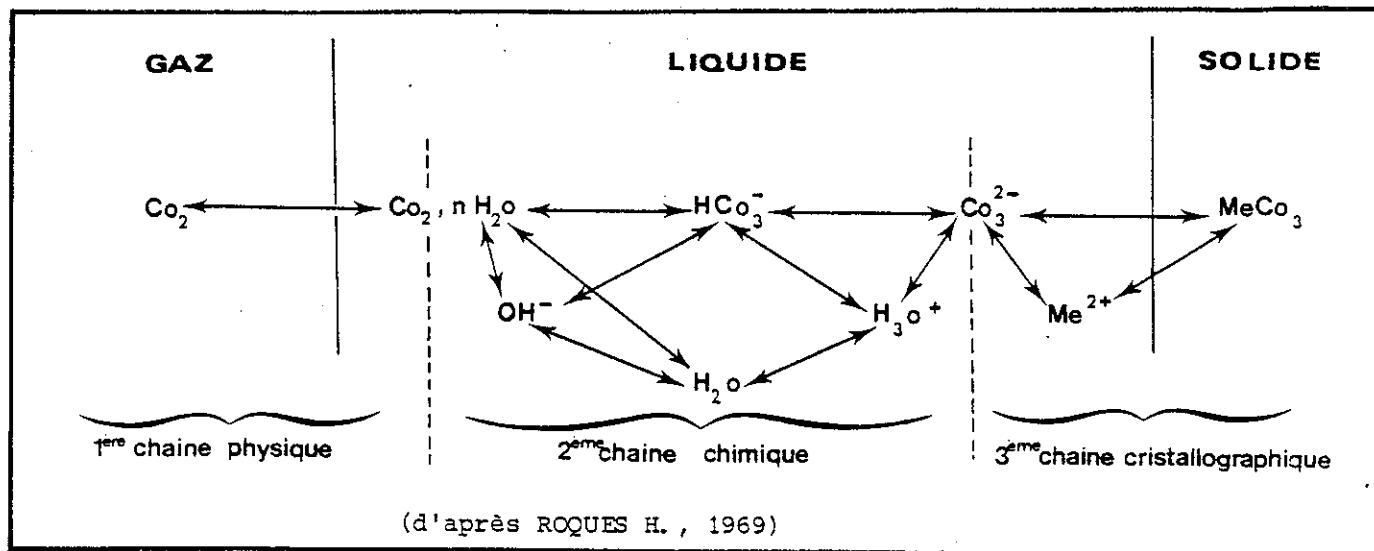
A partir de la relation 1 (cf. tableau 24), on peut calculer la quantité de CO_2 dissous correspondant à cette pCO_2 :

$$\text{CO}_2 \text{ dissous} = \log K_\text{O} - \log \text{pCO}_2$$

Toutes les constantes ainsi que les formules employées pour calculer ces différents paramètres se trouvent en annexe n° VII.

La cinétique des réactions du système $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ carbonate est fort différente selon que les réactions se produisent dans la phase liquide ou à l'interface solide-liquide ou liquide-gaz. La fig. 72 schématise les trois chaines de réactions en relation avec les trois phases du système $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ carbonate. La 3^e chaîne, la chaîne cristallographique, dont les réactions sont les plus lentes impose son rythme au système.

H.Roques et C.Ek (in bakalowicz; 1979) ont montré qu'il fallait 5 à 8 jours, selon les calcaires, pour que 90% de



(d'après ROQUES H., 1969)

Fig:72 Schématisation des trois chaînes de réactions en relation avec les trois phases du système H_2O-CO_2 -carbonate.

l'équilibre calco-carbonique soient réalisés.

Les réactions de la seconde chaîne sont instantanées et il faut quelques minutes à quelques heures pour que les réactions de la 1^e chaîne soient équilibrées.

Ainsi, dans la majorité des cas, une eau sous-saturée sera une eau dont le transit à travers l'aquifère n'a pas été assez long pour que l'équilibre soit réalisé. On introduit ainsi la notion de temps de séjour d'une eau dans l'aquifère.

En revanche, si la solution est sursaturée, cela ne traduira pas nécessairement une sursaturation dans l'ensemble de l'aquifère. En effet une eau chargée en gaz carbonique au niveau du sol, si elle est en contact avec le calcaire pendant un temps suffisant, atteindra l'équilibre en une dizaine de jours. Mais pendant son transit la pCO_2 environnante peut varier. La réaction d'évasion du CO_2 étant rapide, la solution pourra se trouver sursaturée et même précipiter du calcaire. Elle tendra alors vers un équilibre différent de l'équilibre initial. La sursaturation est donc une information moins fidèle que la sous-saturation. Toutefois, la sursaturation informe sur les possibilités d'évasion du CO_2 , l'aération du milieu et sur les relations avec l'atmosphère extérieure.

5.1.2 Les éléments caractéristiques de l'aquifère

5.1.2.1 L'ion Mg^{2+}

Comme l'eau de pluie contient très peu de magnésium, on peut estimer que cet ion provient essentiellement de la dissolution de dolomies, de calcaires et de marnes dolomiques. La mise en solution de ces roches nécessite un temps de séjour nettement plus important que pour la calcite. Ainsi, le magnésium caractérisera généralement des eaux à transit lent

5.1.2.2 L'ion SO_4^{2-}

La présence de cet ion dans les eaux karstiques peut avoir quatre origines :

1° Héritage des eaux de pluie

La pluie peut contenir des quantités non négligeables de SO_4^{2-} , variables dans le temps et dans l'espace. Le soufre présent dans l'atmosphère subit une double oxydation suivie d'une hydratation. Cette formation d'ions sulfatés s'accompagne d'une libération d' H_3O^+ .

Nous avons effectué un certain nombre de tests sur les eaux de pluie recueillies à Nespouls (station P2, cf. chapitre III paragraphe 1.1.1) durant le cycle 1982. Les teneurs en sulfates des eaux de pluie sont rassemblées dans le tableau 25.

Date	SO_4^{2-}	Date	SO_4^{2-}	Date	SO_4^{2-}
12-05-81	2.7	28-09-81	4.0	05-04-82	1.8
01-06-81	5.6	26-10-81	3.0	10-05-82	8.8
29-06-81	3.0	21-12-81	1.8	07-06-82	7.0
10-07-81	3.4	18-01-82	7.3	05-07-82	10.1
03-08-81	16.5	15-02-82	10.7	02-08-82	4.8
24-08-81	2.2	15-03-82	5.6	22-08-82	9.8

Tableau: 25 Teneurs en SO_4^{2-} de l'eau de pluie recueillie à Nespouls durant le cycle 1982 (concentration en mg/l).

Elles varient entre 16.5mg/l (début aout) et 1.8mg/l(en décembre et en avril). Les variations saisonnières sont représentées sur la fig 73.

2° Héritage du magasin

Des roches contenant des minéraux sulfurés telles que la pyrite fournissent des sulfates. L'oxydation des sulfures avec formation d'hydroxyde de fer insoluble, de sulfates et la libération de H_3O^+ est une réaction lente. Si les sulfates d'une eau karstique possèdent une telle origine, ils marquent des eaux à séjour long. Dans le secteur étudié seules les marnes et calcaires marneux du Lias présentent des traces de pyrite.

3° Origine biologique

La minéralisation de la matière organique végétale et animale dans le sol produit des sulfates.

Il faut ajouter que l'abondance de l'ion sulfate peut être étroitement liée à celle de microorganismes qui par leur activité peuvent réduire les sulfates et donc immobiliser le soufre. (M.Bakalowicz; 1980). Dans certaines conditions, ce phénomène peut se produire au niveau du sol (sols argileux et humifères peu aérés).

4° Origine agricole

Dans certains cas, les sulfates peuvent avoir une origine agricole. Ils sont présents en grande quantité. Notamment dans les scories potassiques utilisées comme engrais.

5.1.2.3 L'ion Cl^-

La présence de cet ion dans les eaux de source est le plus souvent lié aux précipitations, mais il peut aussi provenir de pollutions.

* Origine Océanique

Cette origine est la plus fréquente. Les teneurs en chlorures sont fonctions de la proximité du rivage, des caractéristiques de l'épisode pluvieux et de la période de la précipitation (H.Schoeller, 1962). Les teneurs en Cl^- de l'eau de pluie recueillie à Nespouls pour le cycle 1982 sont regroupées dans le tableau 26.

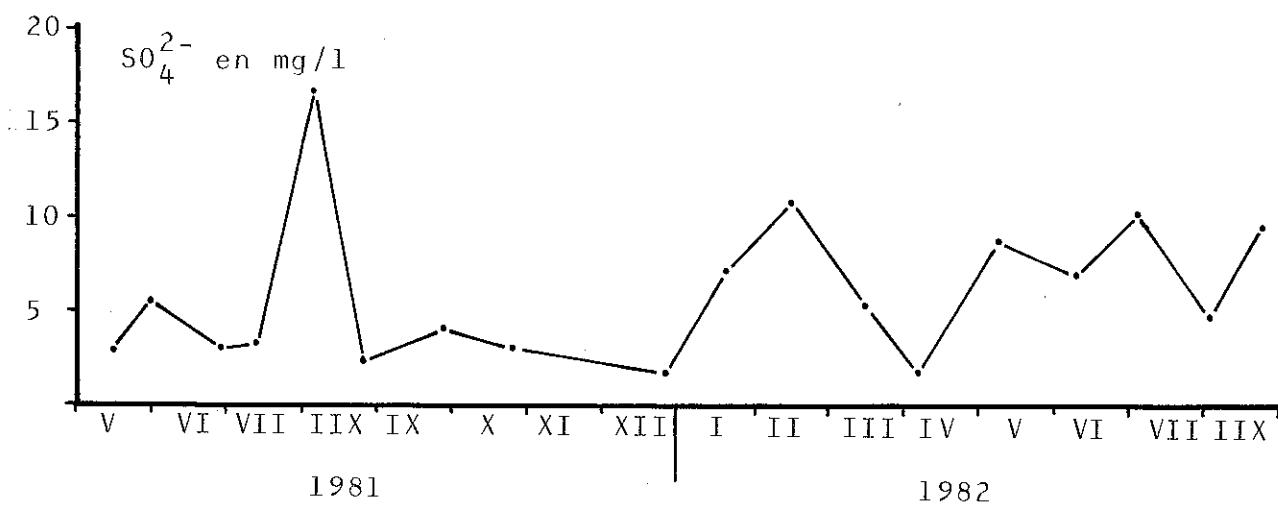
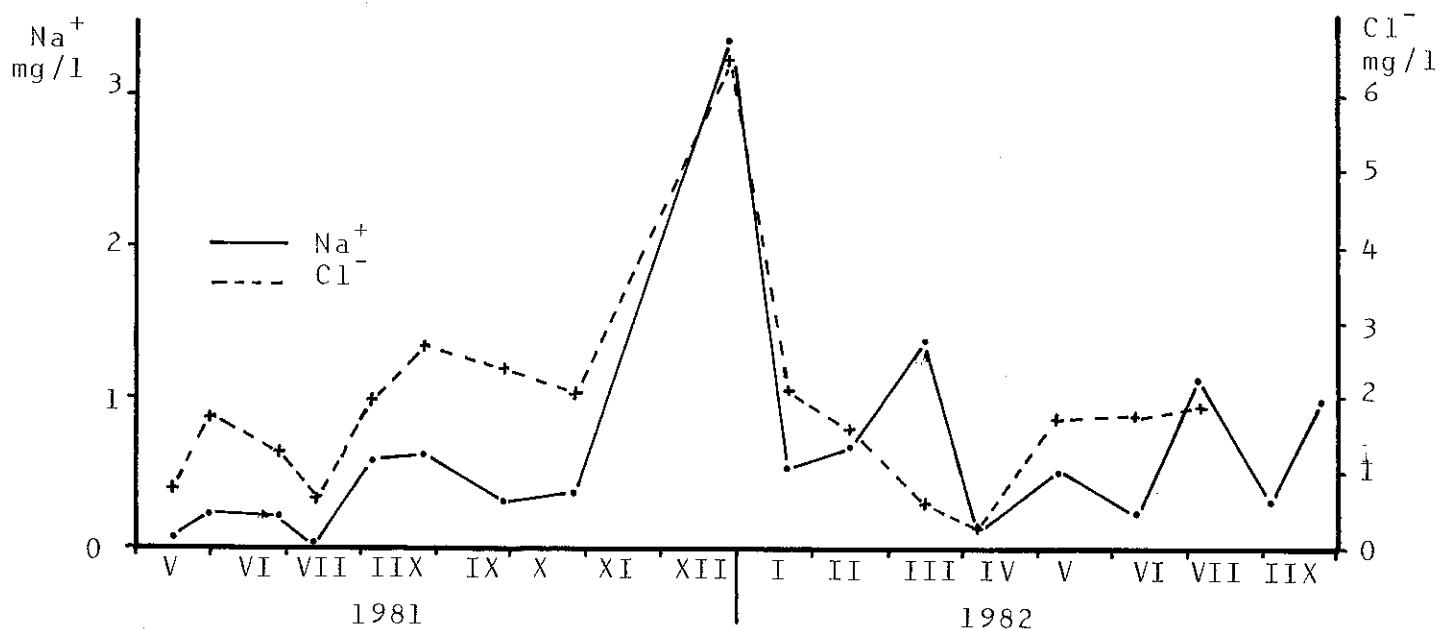


Fig: 73

Variations saisonnières des teneurs en SO_4^{2-} , Na^+ et Cl^- de la pluie durant le cycle 1982. (Concentrations exprimées en mg/l)

Date	Cl ⁻	Date	Cl ⁻	Date	Cl ⁻
27-04-81	1.98	28-09-81	1.37	15-02-82	1.60
11-05-81	5.66	05-10-81	1.48	22-02-82	4.18
12-05-81	0.80	12-10-81	1.18	01-03-82	2.75
18-05-81	2.10	26-10-81	1.01	08-03-82	2.03
01-06-81	1.71	02-11-81	1.74	15-03-82	0.60
08-06-81	1.40	30-11-81	2.21	22-03-82	1.34
29-06-81	1.25	07-12-81	1.60	05-04-82	0.29
06-07-81	1.02	11-12-81	2.37	10-05-82	1.73
10-07-81	0.64	14-12-81	1.51	24-05-82	0.49
27-07-81	1.81	21-12-81	6.45	31-05-82	1.65
03-08-81	1.98	28-12-81	4.81	07-06-82	1.79
10-08-81	0.76	04-01-82	1.44	14-06-82	3.23
24-08-81	2.68	11-01-82	0.94	21-06-82	2.00
07-09-81	1.06	18-01-82	2.10	05-07-82	1.88
14-09-81	1.54	25-01-82	2.01	19-07-82	2.50
21-09-81	1.73	01-02-82	0.39	26-07-82	1.65

Tableau: 26 Teneurs en Cl⁻ de l'eau de pluie recueillie à Nespoüls durant le cycle 1982 (concentration en mg/l)

La fig. 73 présente les variations saisonnières de cet ion durant le cycle 1982. Les concentrations les plus fortes s'observent en hiver et au printemps. C'est, en effet, durant ces périodes que la pluie provient le plus souvent de perturbations d'origine océanique. Ce phénomène est très net en décembre 1982.

* Origines humaines

Elles sont multiples, mais on peut citer le salage des routes et la pollution par les eaux usées.

Du fait de l'évapotranspiration l'ion Cl⁻ peut être reconcentré dans les eaux stockées à proximité de la surface.

5.1.2.4 Les ions Na⁺ et K⁺

Ces deux cations peuvent avoir une origine semblable à celle des chlorures. En particulier, Na⁺ et K⁺ peuvent provenir de la pluie (cf. tableau 27 et fig. 73).

Toutefois ils peuvent également provenir de minéraux silicatés altérés. Ces ions peuvent comme l'ion Cl⁻, se

Date	Na ⁺	Date	Na ⁺	Date	Na ⁺
12-05-81	0.06	28-09-81	0.30	05-04-82	0.11
01-06-81	0.23	26-10-81	0.39	10-05-82	0.52
29-06-81	0.21	21-12-81	3.37	07-06-82	0.23
10-07-81	0.01	18-01-82	0.51	05-07-82	1.13
03-08-81	0.59	15-02-82	0.66	02-08-82	0.30
24-08-81	0.63	15-03-82	1.39	22-08-82	0.98

Tableau: 27 Teneurs en Na⁺ de l'eau de pluie recueillie à Nespouls durant le cycle 1982 (concentration en mg/l)

reconcentrer au niveau du sol sous l'action de l'évapotranspiration.

En revanche l'ion K⁺, qui participe activement au cycle de la matière vivante, est fortement consommé au niveau des horizons biologiquement actifs du sol; une reconcentration éventuelle au niveau du sol n'est donc pas décelable.

Na⁺ et K⁺ sont susceptibles d'être échangés contre Ca²⁺ et Mg²⁺ par les minéraux argileux ou des substances organiques. Le lessivage de ces substances peut provoquer une augmentation sensible de la concentration en Na⁺ et K⁺ des eaux karstiques.

Ainsi, l'ion Cl⁻ sera un marqueur de l'eau de surface alors que Na⁺ et K⁺ seront le plus souvent caractéristiques de la zone d'infiltration lorsque celle-ci est riche en argiles susceptibles d'échanger leurs cations.

5.1.2.5 La silice

Sous nos climats, il est rare que la silice se trouve sous forme d'ion chargé. Les teneurs en silice que l'on peut mesurer sur les eaux karstiques proviennent surtout des minéraux silicatés. La mise en solution de la silice nécessite des temps de séjour importants.

5.1.3 Les éléments en trace

Ce sont des éléments aux teneurs faibles (entre 1 et 0.001 ppm). Certains proviennent de pollutions d'origine humaine (PO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+). D'autres, comme Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^+ , NO_3^- , Sr^{2+} , peuvent provenir du magasin.

Dans le cadre de cette étude, nous n'avons pas tenu compte des éléments en trace.

5.2 Protocole d'acquisition des données

5.2.1 Echantillonnage et validité de l'échantillonnage

5.2.1.1 Sur un cycle hydrologique

Sept points d'échantillonnage ont été choisis sur le secteur étudié. Ce sont:

- 1° Le Blagour (n°1, cf. Annexe I).
- 2° Le Sorpt (n°2). Les prélèvements ont été effectués au niveau de la source C (cf. fig. 18).
- 3° La source de Fontille (n°3).
- 4° La cressonnière du Blagour (n°4); Les prélevements ont été effectués dans le griffon le plus proche du chemin d'accès.
- 5° L'évent d'Entrecors (n°6).
- 6° La perte de la Couze (n°7).
- 7° La perte de Lacoste (n°9).

Un pas d'échantillonnage bimensuel a été choisi d'une manière empirique à partir des résultats de J.P. Fabre (1983) et des observations sur ce sujet de M. Bakalowicz (1979). On peut, à posteriori, savoir si le pas d'échantillonnage choisi décrit, de manière satisfaisante, les variations chimiques des eaux issues de l'aquifère au cours d'un cycle. Pour cela, nous avons calculé le corrélogramme simple et le spectre de densité de variance de la minéralisation des eaux du Blagour et du Sorpt pour le cycle 1982 (cf; fig. 74).

Pour la source du Blagour, le corrélogramme atteint 0.2 au bout de 45 jours. Ceci indique que, pour décrire les variations de la minéralisation au cours d'un cycle, il faut un pas de temps de prélèvement inférieur à 45 jours. Le spectre de

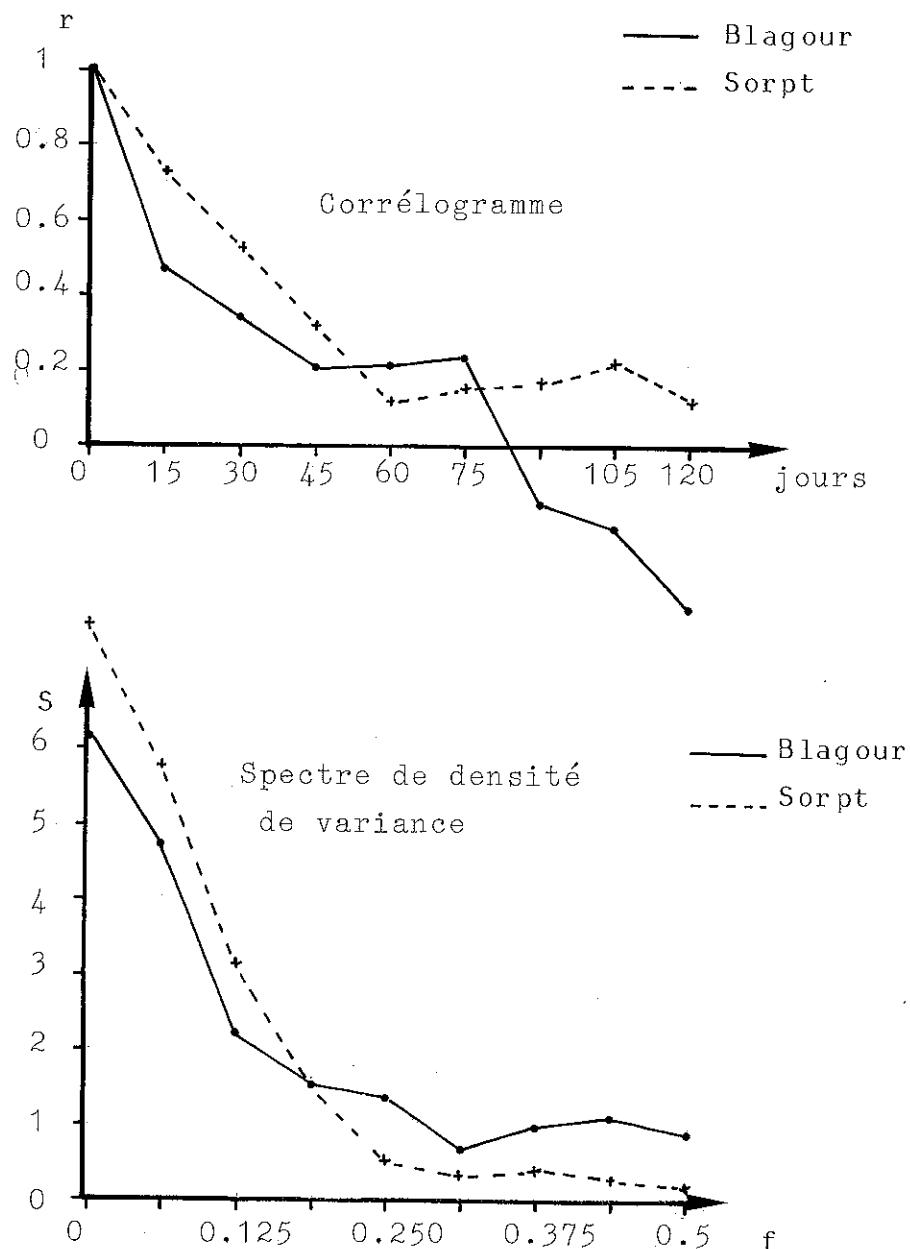


fig: 74

Corrélogramme simple et spectre de densité de variance de la minéralisation des eaux du Blagour et du Sorpt pour le cycle 1982.

densité de variance possède un pic pour les basses fréquences. Le pas d'échantillonnage choisi permet donc de mettre en évidence une variation cyclique de l'ordre de grandeur de la période d'observation, soit l'année. Pour les hautes fréquences, le spectre a tendance à remonter au lieu de se stabiliser autour de zéro. Ce phénomène traduit l'existence de variations d'un pas de temps inférieur au pas d'échantillonnage choisi. On peut donc conclure que les prélèvements bimensuels vont décrire, de façon "passable", les variations du chimisme des eaux du Blagour. En effet, il existe des variations de période inférieures à 15 jours, que l'on ne pourra pas décrire avec cet échantillonnage. Ce résultat est en accord avec les travaux de M.Bakalowicz (1979) qui a montré que la minéralisation des eaux karstiques pouvait être considérée comme une variable régionalisée possédant un aspect pseudo-aléatoire (variations inférieures à 5 jours) et un aspect structuré (variations saisonnières).

Pour la source du Sorpt, le corrélogramme décroît moins vite que celui tracé pour la minéralisation des eaux du Blagour. Les variations saisonnières de la minéralisation des eaux du Sorpt sont donc plus structurées. De plus, le spectre ne montre qu'un pic pour les basses fréquences. Pour les hautes fréquences, le spectre est proche de zéro. Ainsi, pour la source du Sorpt, un échantillonnage bimensuel permet de décrire la presque totalité des variations de la minéralisation de l'eau.

5.2.1.2. Sur les crues

Les variations d'apparence aléatoire à périodicité inférieure à 5 jours correspondent à des évènements hydrologiques liés aux crues. Pour tenter de décrire ces variations, un certain nombre de crues ont fait l'objet de prélèvements plus rapprochés. Dans ce cas, le pas de prélèvement n'a pas pu être régulier. En début de crue, la périodicité moyenne des prélèvements a été de deux heures, en décrue, de 6 heures et en tarissement, de 12 à 24 heures.

5.2.2 Mesures physiques et analyses chimiques

5.2.2.1 Température, pH et conductivité

La température a été mesurée à l'aide d'un thermomètre au mercure gradué au $1/10^{\text{e}}$ de degré. L'erreur absolue peut être estimée à $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$.

Le pH, paramètre important du système $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Carbonate devrait être mesuré directement sur le terrain, à cause de l'évolution de celui-ci par évaporation de CO_2 . Toutefois, la mesure au $1/100^{\text{e}}$ de pH d'une eau karstique est délicate à effectuer. Pour cette raison, cette manipulation a été effectuée au laboratoire, moins de 12 heures après le prélèvement. Le pH mètre employé est un "WTW pH-mètre pH 56".

La conductivité a été mesurée au laboratoire et ramenée à 20°C grâce à la formule suivante:

$$C_{20^{\circ}} = \frac{C_T}{1 + \alpha(T - 20^{\circ})}$$

avec $\alpha = 0.022$

où * C_T est la conductivité mesurée

* T est la température au moment de la mesure

* $C_{20^{\circ}}$ est la conductivité à 20°

Un certain nombre de problèmes techniques nous ont obligé à employer deux types d'appareils. De ce fait, il est probable que l'incertitude sur les mesures de conductivité soit supérieure à 5%.

Les deux types d'appareils employés sont les suivants:

1^o Conductimètre WTW LF 56

2^o Conductimètre Heito CP 72

5.2.2.2 Analyses chimiques

Compte tenu de l'évolution possible des échantillons, les éléments caractéristiques de l'équilibre calco-carbonique ont été analysés moins de 12 heures après le prélèvement. La concentration en ion HCO_3^- a été obtenue à partir du titre alcamétrique (TAC) mesuré par dosage acidimétrique classique par HCl (A.Aminot; 1974) avec contrôle du virage au pH. mètre

(pH \approx 4.45). La concentration en ions Ca^{2+} plus Mg^{2+} a été obtenue par l'intermédiaire du titre hydrotimétrique (dureté totale. TH) mesuré par dosage complexométrique à l'EDTA, en milieu basique (pH = 10), avec le noir ériochrome T comme indicateur coloré (A.Aminot; 1974).

L'analyse des autres ions a été effectuée soit au Laboratoire Souterrain de Moulis pour Na^+ , Mg^{2+} , SiO_2 , SO_4^{2-} , Cl^- et à l'Université d'Orléans pour K^+ .

Les teneurs en Mg^{2+} et Na^+ ont été obtenues par absorption atomique et celles en K^+ par spectro-photométrie d'émission.

Les concentrations en silice et en chlorure ont été obtenues par colorimétrie et celles de l'ion SO_4^{2-} par turbidimétrie.

Le principe de ces analyses est exposé en annexe VII. Le tableau 28 rassemble les imprécisions relatives moyennes correspondant à chaque type d'analyse (valeurs estimées).

Elements	E.relative	Eléments	E.relative
TAC	\pm 1%	Na^+	\pm 3%
TH	\pm 1%	Cl^-	\pm 2%
Mg^{++}	\pm 0.1%	SiO_2	\pm 1%
K^+	\pm 1%	SO_4^{2-}	\pm 10%

Tableau: 28 Tableau regroupant les valeurs d'incertitudes relatives estimées pour les différents types d'analyse utilisées dans ce travail.

La concentration en Ca^{2+} a été calculée par différence de la manière suivante:

$$[\text{Ca}^{2+}] = [\text{TH}] - [\text{Mg}^{2+}]$$

Les crochets représentent les concentrations en meq /l.

La critique des données a été effectuée à l'aide du bilan ionique. En effet, la solution (chaque prélèvement) doit répondre à la règle d'électroneutralité selon laquelle:

$$\sum(\text{cations}) = \sum(\text{anions})$$

Il est possible de définir le bilan ionique comme (H. Schoeller; 1962):

$$\text{Bilan} = \frac{\sum(\text{cations}) - \sum(\text{anions})}{\sum(\text{cations}) + \sum(\text{anions})} \times 100$$

Pour les eaux karstiques et selon les méthodes décrites en annexe, le bilan ne doit pas excéder 1.5 à 2%. Si cependant, le bilan est, en valeur absolue, supérieur à ce pourcentage, un oubli ou une erreur d'analyse est certain.

Le bilan ionique a été calculé pour tous les échantillons analysés. Tous ceux qui présentaient un $|\text{bilan}| \geq 5$ ont fait l'objet de nouvelles analyses. Dans tous les cas, il s'agissait d'une erreur sur le TAC ou le TH.

En règle générale, le bilan obtenu sur chacun de nos échantillons est compris entre 0 et 3%. Il existe très peu de valeurs inférieures à zéro. Il existe donc un déficit apparent d'ion négatif.

Trois hypothèses peuvent être émises:

1^o erreur de mesure systématique

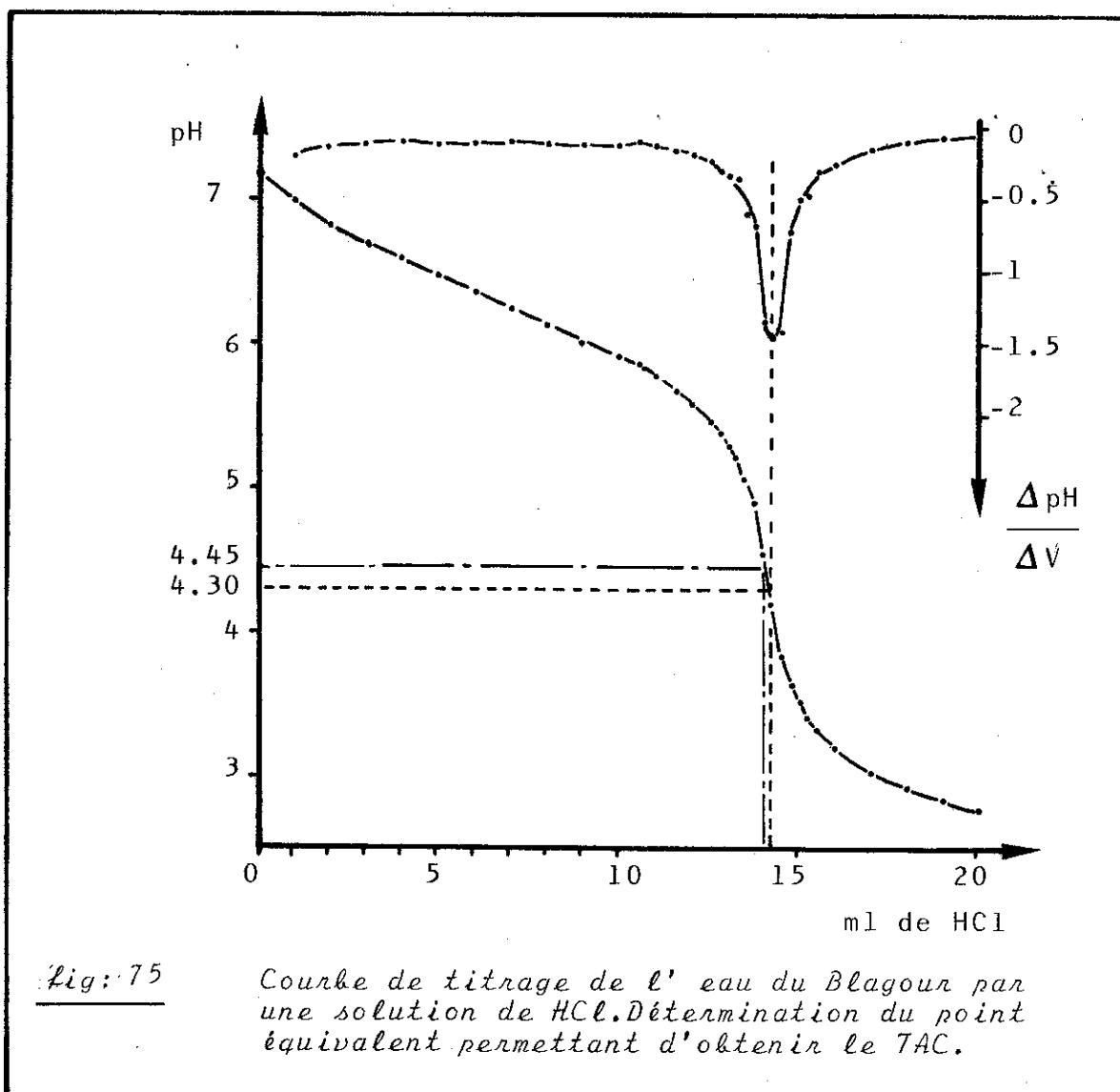
2 à 3% de la minéralisation représentent en moyenne 0.24 à 0.36 meq/l. Or, les teneurs en ions Cl^- , SO_4^{2-} , K^+ et Na^+ sont nettement inférieures à ces valeurs (cf. annexe VII). Une erreur systématique sur l'un de ces ions ne peut donc pas être envisagée pour expliquer la valeur positive du bilan.

Il en est de même pour l'ion Mg^{2+} , pour lequel une telle erreur représenterait une surestimation de 80 à 90%. Compte tenu de la méthode d'analyse employée, cette hypothèse doit être rejetée.

Il reste les ions HCO_3^- et Ca^{2+} pour lesquels une telle erreur supposerait une sous estimation de 6% pour HCO_3^- et une surestimation de 15% pour Ca^{2+} . Là encore, ces pourcentages d'erreur sont forts surtout pour Ca^{2+} .

On peut également penser que nous avons commis

deux erreurs systématiques, de quelques pourcents l'une dans le sens d'une sous-estimation de HCO_3^- , l'autre dans le sens d'une surestimation de Ca^{2+} . Une sous-estimation de HCO_3^- revient à dire que le point équivalent donnant le fin du dosage a été mal estimé. La valeur de pH correspondante serait inférieure à 4.45. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons tracé la courbe $\text{pH} = f(\text{VHCl})$ (cf. fig. 75).



Le point équivalent permettant de déterminer le "TAC", a pour pH 4.30. En prenant 4.45 comme pH marquant la fin du titrage nous avons sous-estimé la valeur du "TAC" de 1.5%. Cette sous-estimation est loin du déficit anionique recherché. Enfin, une surestimation des concentrations en Ca^{2+} implique une mauvaise appréciation du virage du noir ériochrome T. Même si une imprécision existe à ce niveau, elle ne peut en aucun cas, dépasser 1 à 2%.

2° Un ou plusieurs ions négatifs ont été oubliés

Les seuls ions négatifs qui pourraient, semble-t-il, exister, dans les eaux karstiques, en concentration suffisante sont les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-) et les orthophosphates (PO_4^{2-}).

La recherche d'orthophosphate a montré que cet ion existait en teneurs très faibles ($< 0.1\text{mg/l}$).

Sur quelques échantillons, nous avons analysé les nitrates. Les *tableau n° 29 et 30* rassemblent ces résultats pour les sources du Blagour et du Sorpt.

On remarque que le bilan s'améliore avec la prise en compte de l'ion nitrate. Le bilan n'est pas encore équilibré, mais, pour la source du Sorpt en particulier, il est le plus souvent inférieur à 2%.

3° Nous avons rencontré un problème analytique

Lors du dosage complexométrique, permettant d'obtenir le TH, nous avons observé la formation d'un précipité assez dense sur les parois du bêcher. Nous avons minimisé ce phénomène, certainement dû à une évaporation de CO_2 lors du dosage, en mesurant les paramètres de l'équilibre calco-carbonique sur les échantillons pris un par un et non sur des séries d'échantillons.

Pour conclure, on peut dire que l'analyse des échantillons est entachée d'une erreur globale comprise entre 2 et 3%. Cette erreur va dans le sens d'une surestimation des cations par rapport aux anions. Comme J.P. Fabre (1983), il nous a été impossible d'en déterminer la cause exacte. Toutefois, une telle erreur est tout à fait acceptable pour le type d'étude que nous allons mener.

DATES	NO_3^- mg / l	1 ^o BILAN	2 ^o BILAN	DATES	NO_3^- mg / l	1 ^o BILAN	2 ^o BILAN
31-03-81	1.25	2.30	2.12	23-11-81	4.58	3.35	2.73
27-04-81	3.40	1.86	1.41	21-12-81	3.46	0.63	0.13
15-06-81	0.00	-0.21	-0.21	18-01-82	2.05	3.01	2.64
27-07-81	2.00	1.33	1.08	15-03-82	1.25	2.66	2.44
17-08-81	2.12	-0.28	-0.54	24-05-82	2.06	2.10	1.80
14-09-81	2.72	1.64	1.27	21-06-82	4.10	2.76	2.15
28-09-81	4.30	-0.24	-0.83	30-08-82	5.10	2.49	1.82
09-11-81	2.54	2.54	2.22				

Tableau: 29 Valeurs de concentrations de l'ion nitrate dans les eaux du Blagour, ainsi que le bilan ionique avant (1^e Bilan) et après (2^e Bilan) la prise en compte de cet ion.

DATES	NO_3^- mg / l	1 ^o BILAN	2 ^o BILAN	DATES	NO_3^- mg / l	1 ^o BILAN	2 ^o BILAN
31-03-81	1.40	1.95	1.77	23-11-81	5.00	2.08	1.36
27-04-81	4.90	1.46	0.83	21-12-81	3.70	1.05	0.56
15-06-81	3.15	-0.20	-0.59	18-01-82	3.44	0.72	0.28
27-07-81	4.90	0.91	0.26	15-03-82	2.94	1.05	1.67
17-08-81	4.52	1.44	0.92	24-05-82	4.84	2.18	1.57
14-09-81	2.90	1.27	0.84	21-06-82	4.80	2.48	1.84
28-09-81	3.24	0.66	0.30	30-08-82	5.64	2.57	1.76
09-11-81	4.14	1.56	1.04				

Tableau: 30 Valeurs de concentrations de l'ion nitrate dans les eaux de la source du Sorpt, ainsi que le bilan ionique avant (1^e Bilan) et après (2^e Bilan) la prise en compte de cet ion.

5.2.2.3 Minéralisation et conductivité

De nombreux auteurs ont montré que la conductivité électrique d'une solution était linéairement liée à sa minéralisation.

Nous avons tracé cette relation (cf. fig. 76) pour les échantillons prélevés au Blagour (n°1), au Sorpt (n°2), à la Cressonnière du Blagour (n°4) et à la source de Fontille (n°3). La relation est significative au seuil de 1% pour le Blagour et au seuil de 5% pour le Sorpt. Pour la Cressonnière du Blagour et la source de Fontille, cette relation n'est pas significative au seuil de 5%.

Trois causes peuvent expliquer cette relation médiocre entre la conductivité et la minéralisation.

- 1° La faible variabilité des deux paramètres par rapport à la précision des mesures peut engendrer cette relation médiocre entre minéralisation et conductivité.
- 2° La conductivité dépend de la nature des ions présents dans la solution. Si la proportion de chacun d'eux varie, la pente de la relation variera également. De ce fait, la relation peut apparaître globalement non significative.
- 3° Les appareils employés présentaient un défaut de fonctionnement se produisant aléatoirement.

Comme nous n'avons pas pu déterminer la cause exacte de cette mauvaise relation entre conductivité et minéralisation, nous utiliserons, dans la suite de ce travail, la somme des ions analysés pour caractériser la minéralisation totale. Cette assimilation nous semble possible puisque les bilans ioniques sont équilibrés à quelques pourcents près.

REMARQUE: La silice qui, sous nos climats, ne se trouve pas sous forme d'ion libre, n'a pas été prise en compte dans le calcul de la minéralisation, puisqu'elle ne contribue pas à la conductivité.

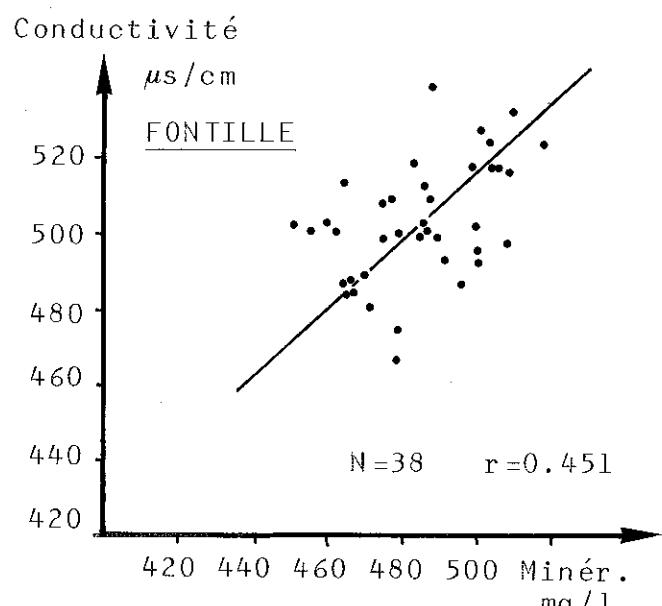
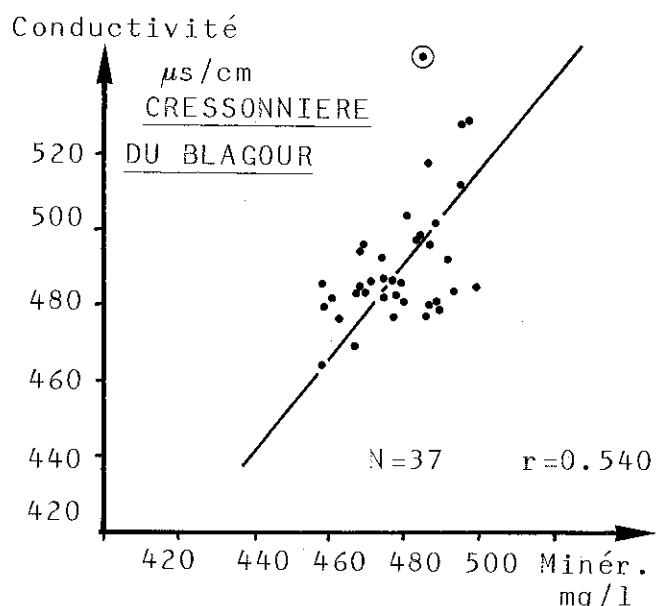
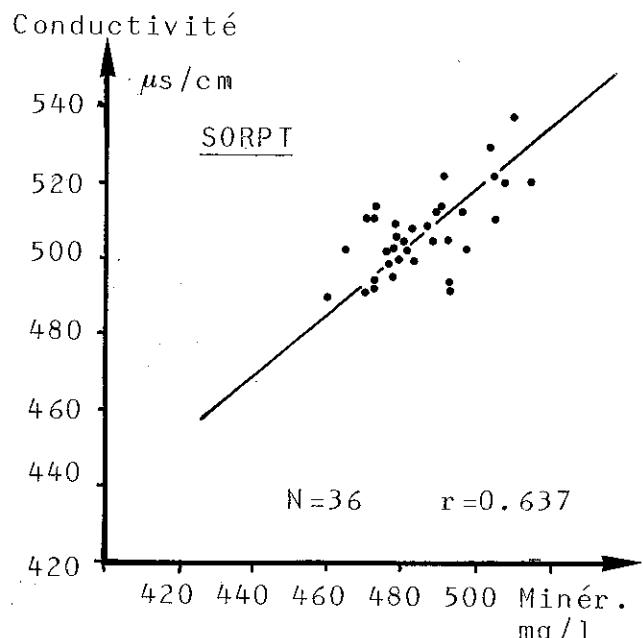
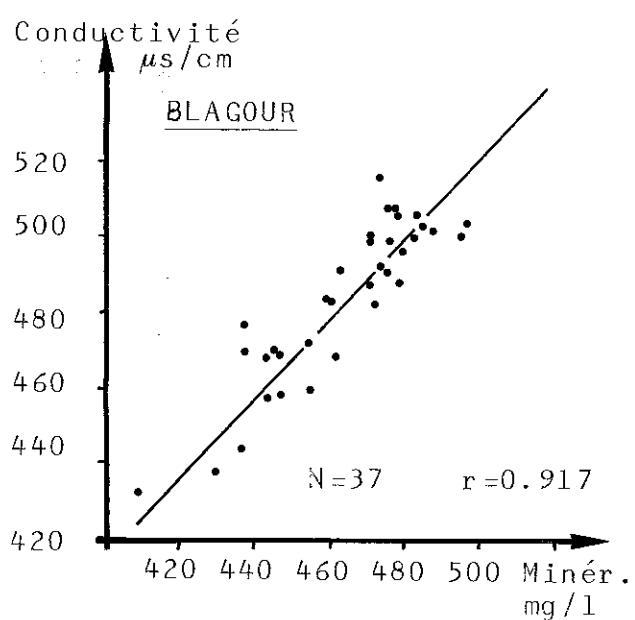


Fig: 76 Relations entre la conductivité électrique et la minéralisation des eaux du Blagour, du Sorpt, de la Cressonnière du Blagour et de Fontille

5.3 Composition chimique moyenne des eaux des sources du secteur étudié pour le cycle 1982.

Le tableau 31 regroupe les caractéristiques physiques et chimiques (moyennes, maximales et minimales) des eaux aux divers points de prélèvement.

La moyenne sur l'échantillonnage choisi ne peut donner qu'une approximation de la moyenne réelle. De plus, il serait illusoire de vouloir décrire la chimie des eaux du secteur seulement par la moyenne et les valeurs extrêmes. Toutefois, il est possible de formuler un certain nombre de remarques générales.

1° Les eaux de surface, représentées par les eaux de la Perte de la Couze (n°7) et de Lacoste (n°9), se différencient nettement des eaux provenant de l'aquifère karstique. Elles sont beaucoup moins minéralisées que les eaux karstiques. En outre, les valeurs de température et de minéralisation de ces eaux de surface subissent des variations plus grandes que celles des eaux karstiques.

2° Parmi les sources qui ont fait l'objet de prélèvements, l'Event d'Entrecors (n°6) se singularise par de grandes variations de concentrations.

3° Si l'on excepte l'Event d'Entrecors (n°6); on remarque que c'est la source du Blagour (n°1) qui, parmi les sources prélevées présente les plus fortes variations de minéralisation. Il en est de même pour la température. On remarque également qu'en général les valeurs moyennes de minéralisation et de température sont plus faibles.

4° Les éléments qui, habituellement, caractérisent dans les sources des eaux provenant de la surface ou de la zone d'infiltration ou y ayant séjourné longtemps (K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) sont présents en plus grande concentration dans les eaux du Blagour et du Sorpt, mais surtout de l'Event d'Entrecors.

5° Pour les différentes sources prélevées, on remarque que les pCO_2 équilibrantes varient entre 0.7 et 3.6×10^{-2} atm. Les valeurs moyennes sont de 1.5 à 2×10^{-2} atm. De telles valeurs sont de l'ordre de grandeur de celles qui ont été obtenues au

STATIONS	T°	Cl ⁻ mg / l	SO ₄ ²⁻ mg / l	HC0 ₃ ⁻ mg / l	K ⁺ mg / l	Na ⁺ mg / l	Ca ⁺⁺ mg / l	Mg ⁺⁺ mg / l	SiO ₂ mg / l	Minér. mg / l	pH	ρCO ₂ 10 ⁻²
BLA GOUR N°1	13.1	5.71	10.6	352.6	1.84	3.54	113.5	7.47	6.12	497.6	0.354	2.73
	12.35	5.32	7.7	331.3	1.17	3.13	104.8	6.52	5.57	463.1	0.159	1.47
SORPT N°2	13.35	6.20	13.6	372.1	1.99	3.56	117.0	10.59	6.26	515.5	0.200	3.57
	12.9	5.5	9.1	349.0	0.98	2.94	109.2	7.78	5.48	487.4	0.071	2.07
FON TILLE N°3	13.3	4.85	9.8	373.3	1.68	2.94	119.2	10.06	4.59	4.74	466.4	-0.120
	13.1	4.43	7.1	349.6	0.94	2.71	110.8	6.21	5.53	484.8	0.074	1.51
CR. DU BLAGOUR N°4	13.0	4.75	8.7	363.6	0.98	2.71	119.2	8.03	6.44	517.8	0.198	2.82
	12.2	4.33	7.4	344.1	0.63	2.55	109.2	5.80	4.74	455.1	-0.007	2.14
E. D'ENTRECORPS N°6	12.3	4.01	5.8	328.2	0.43	2.46	104.8	5.23	4.14	458.8	0.020	1.72
	11.3	4.01	5.8	329.5	0.63	2.51	109.2	8.21	5.47	500.9	0.531	2.08
PERTE DE LA COUZE (N°7)	12.3	4.89	10.7	358.7	3.12	3.12	109.6	11.80	7.36	497.1	0.178	3.39
	11.4	4.04	8.9	329.5	0.63	2.51	98.2	9.53	5.57	447.5	0.012	1.84
PERTE DE LACOSTE (N°8)	10.7	1.66	6.1	148.8	0.12	1.03	46.7	3.28	3.26	220.5	-0.570	0.58
	9.2	6.17	10.3	36.9	446.7	3.09	4.36	115.0	21.0	8.15	619.5	0.806
	4.1	5.0	13.4	211.1	1.99	3.75	56.51	11.04	6.22	298.1	0.017	0.98
			10.0	128.1	1.48	3.40	34.1	7.2	4.88	180.3	-0.733	0.365
	20.7	7.67	12.9	339.1	2.34	3.77	107.0	8.54	8.19	335.2	1.109	0.64
	12.3	5.32	10.6	281.3	0.78	2.80	88.58	5.53	6.22	397.3	0.777	0.247
	5.6	4.25	8.3	234.2	0.43	2.23	70.7	4.76	3.95	335.2	0.207	0.09

Tableau: 31 *Caractéristiques physiques et chimiques moyennes, maximales et minimales des eaux des divers points de pluviométrie.*

moyenne

minimum

ρCO₂ exprimée en atmosphères

sud du Causse de Martel par J.P Fabre (1983). Elles sont également proches de celles proposées par H.Roques (1963) pour le Quercy.

6° Hormis l'Event d'Entrecors et la source du Sorpt qui présentent des eaux légèrement sous-saturées par rapport à la calcite, les autres points de prélèvement révèlent des eaux à l'équilibre ou sursaturées.

REMARQUE: Le chimisme des eaux de la perte de Lacoste est très particulier: Ces eaux sont fortement chargées en HCO_3^- et Ca^{2+} . En outre, elles sont le plus souvent fortement sursaturées. En réalité, les eaux se perdant dans la doline de Lacoste ne sont pas les eaux d'un bassin versant de surface, mais celles d'un petit système karstique dont l'exutoire principal (source de Lacoste; n°7 cf. carte couleur n°3 paragraphe III.3) est situé à 1.5 Km environ en amont de la perte, à la base des calcaires Bajociens. Les eaux prélevées sont donc des eaux karstiques ayant perdu une grande partie de leur CO_2 le long du cours superficiel qui sépare la source de la perte de Lacoste (n°17 et n°9). A cause du faible débit de ce ruisseau et surtout à cause de la remarque précédente nous n'avons pas traité dans la suite de cette étude les valeurs obtenues à la perte de Lacoste.

5.4 Distribution des fréquences de minéralisation

Les courbes des variations de la minéralisation au cours d'un cycle peuvent, comme nous l'avons déjà vu, être considérées comme une fonction aléatoire de la variable régionalisée "minéralisation". La distribution des fréquences des valeurs de cette variable représente la loi de probabilité définissant la fonction aléatoire.

Dans la pratique, nous ne connaissons qu'un nombre réduit de valeurs de cette variable. Lorsque la représentativité de l'échantillonnage est vérifiée, les courbes de distribution de fréquence de minéralisation sont une approche de la loi de probabilité définissant la fonction aléatoire étudiée (M. Bakalowicz; 1979).

M. Bakalowicz a montré que la forme des distributions des fréquences de minéralisation renseignait sur l'état d'organisation du système karstique étudié. Comme les distributions sont souvent plurimodales, aucune quantification mathématique n'est possible pour caractériser ces courbes. De ce fait, l'interprétation est menée à partir d'un catalogue de distribution, catalogue présenté sur la *figure 77*. Lorsque les distribu-

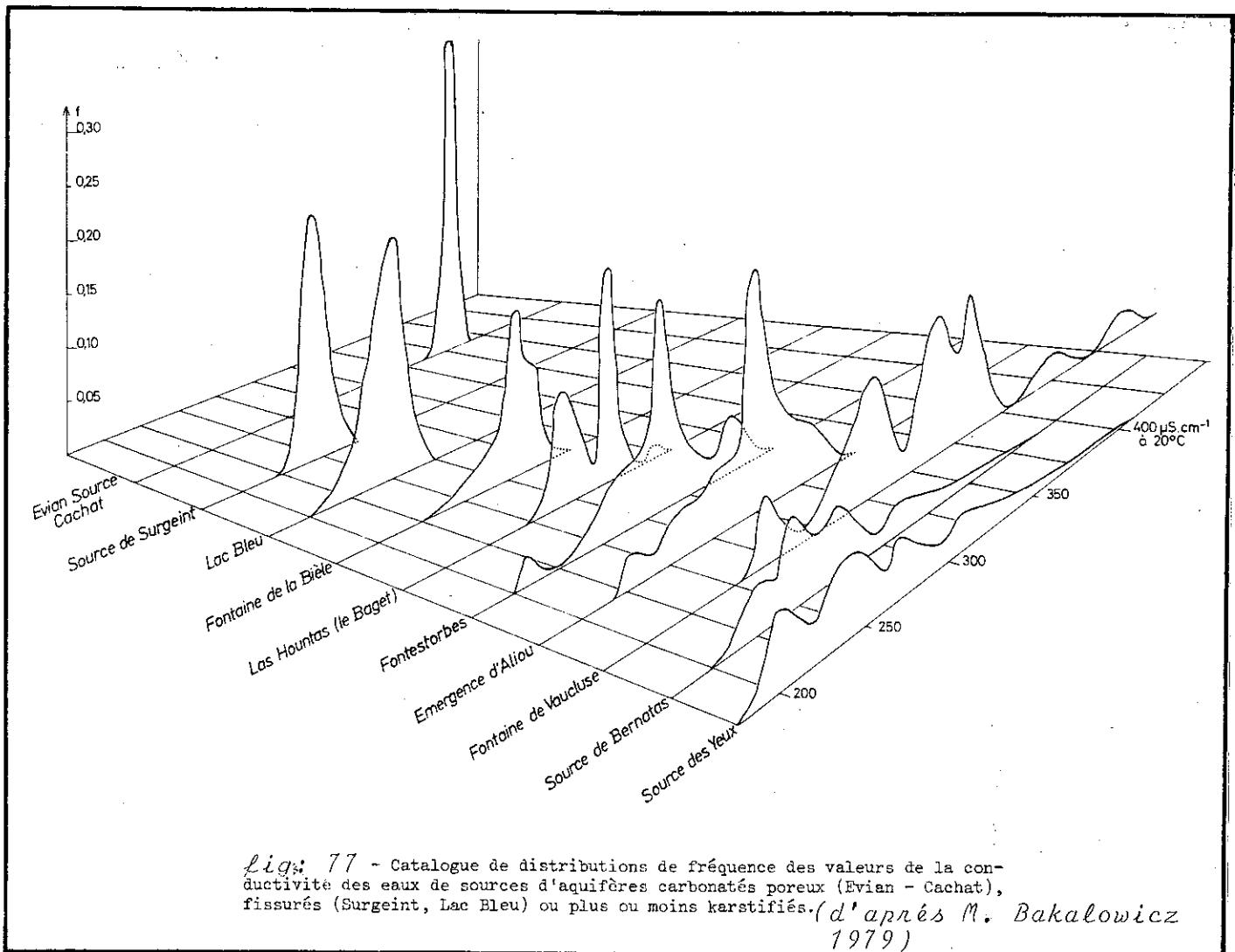
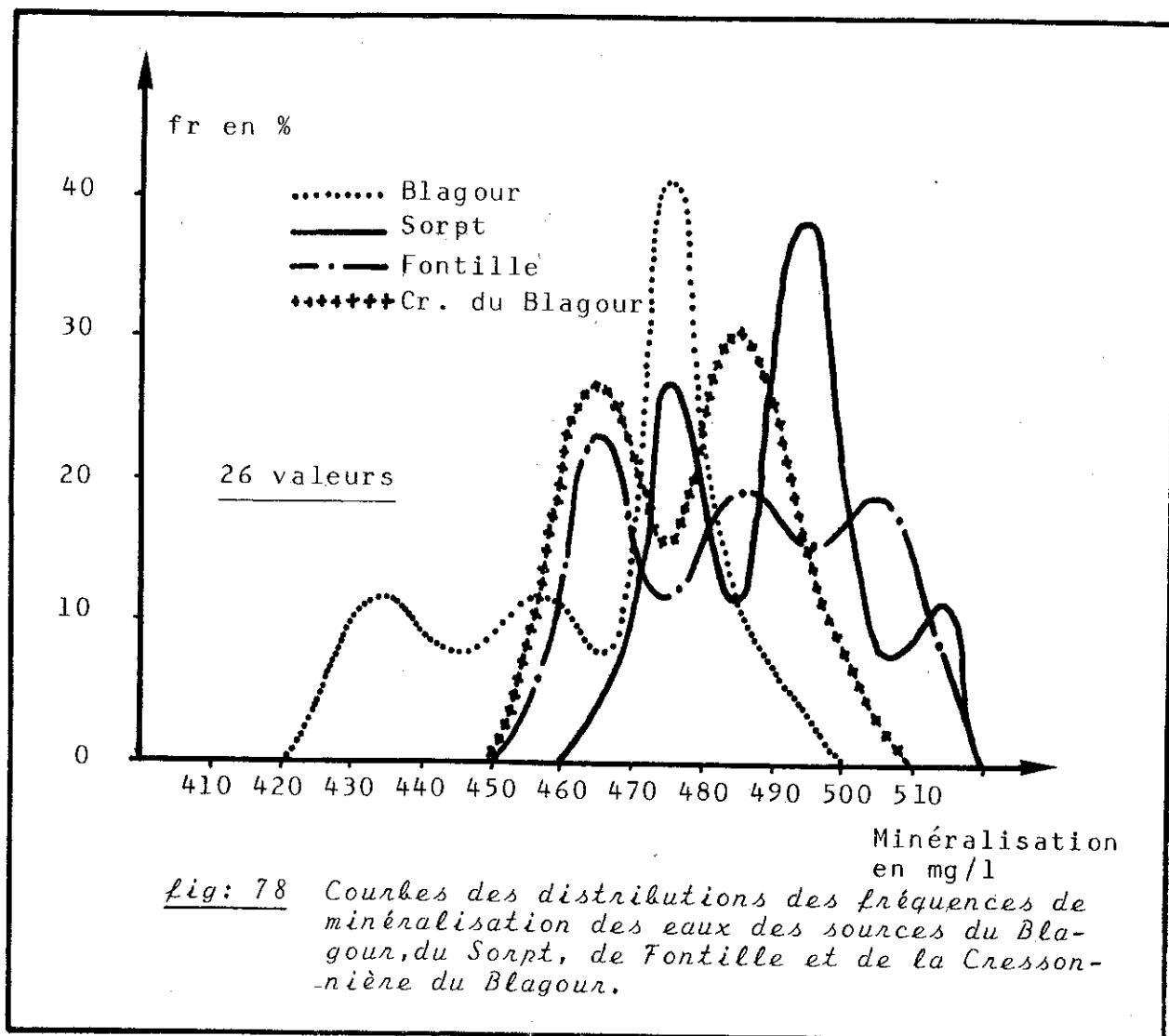


fig: 77 - Catalogue de distributions de fréquence des valeurs de la conductivité des eaux de sources d'aquifères carbonatés poreux (Evian - Cachat), fissurés (Surgeint, Lac Bleu) ou plus ou moins karstifiés. (d'après M. Bakalowicz 1979)

tions sont unimodales et peu étalées, le système est , soit un système de milieu carbonaté poreux fissuré, soit un système karstifié mais dont la karstification n'est plus fonctionnelle. A l'opposé, les distributions plurimodales et très étalées caractérisent des aquifères très karstifiés.

Les courbes de distribution des fréquences de minéralisation des eaux provenant des sources du Blagour, du Sorpt, de Fontille et de la Cressonnière du Blagour sont présentées sur la figure 78.



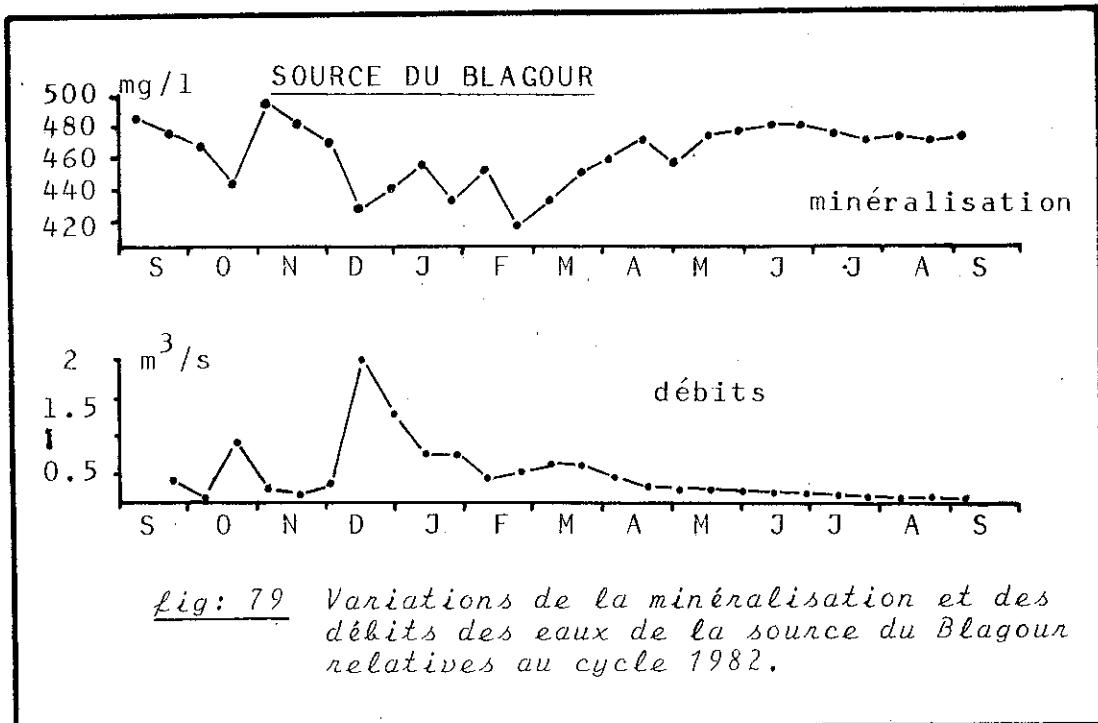
Les distributions des fréquences de minéralisation sont trimodales pour les sources du Blagour, du Sorpt et de Fontille et bimodales pour la Cressonnière du Blagour. La minéralisation s'étale sur une plage de 80mg/l pour la source du Blagour, de 70mg/l pour la source de Fontille et de 60mg/l pour les sources du Sorpt et de la Cressonnière du Blagour. Toutefois, la source du Blagour présente des minéralisations nettement plus basses

que celles qu'on observe sur les autres sources.

D'une manière générale, la forme et l'étalement de ces courbes sont, lorsqu'on les compare à ceux du catalogue (cf. fig. 77), caractéristiques de systèmes karstiques dont l'organisation des écoulements s'apparente à celle du système du Baget (cf. fig. 77). Ainsi, les systèmes étudiés présentent un certain degré d'organisation des écoulements. Toutefois, le chimisme observé n'est pas celui de systèmes très karstifiés ou fonctionnant comme tels.

Pour chaque source on peut rechercher à quels types d'eaux correspondent chaque mode.

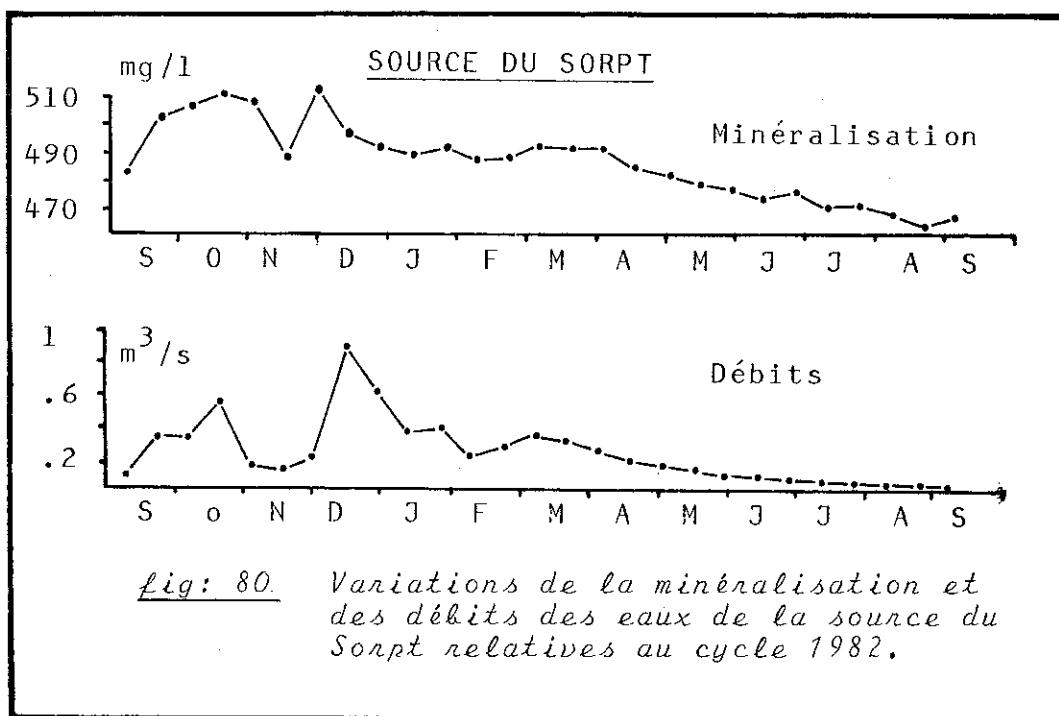
Pour la source du Blagour, c'est la minéralisation la plus fréquente centrée sur 475 mg/l (470-480 mg/l) qui caractérise les eaux d'étiage (cf. fig. 79). Les deux autres modes,



centrés sur 455 et 435 mg/l caractérisent les hautes et moyennes eaux.

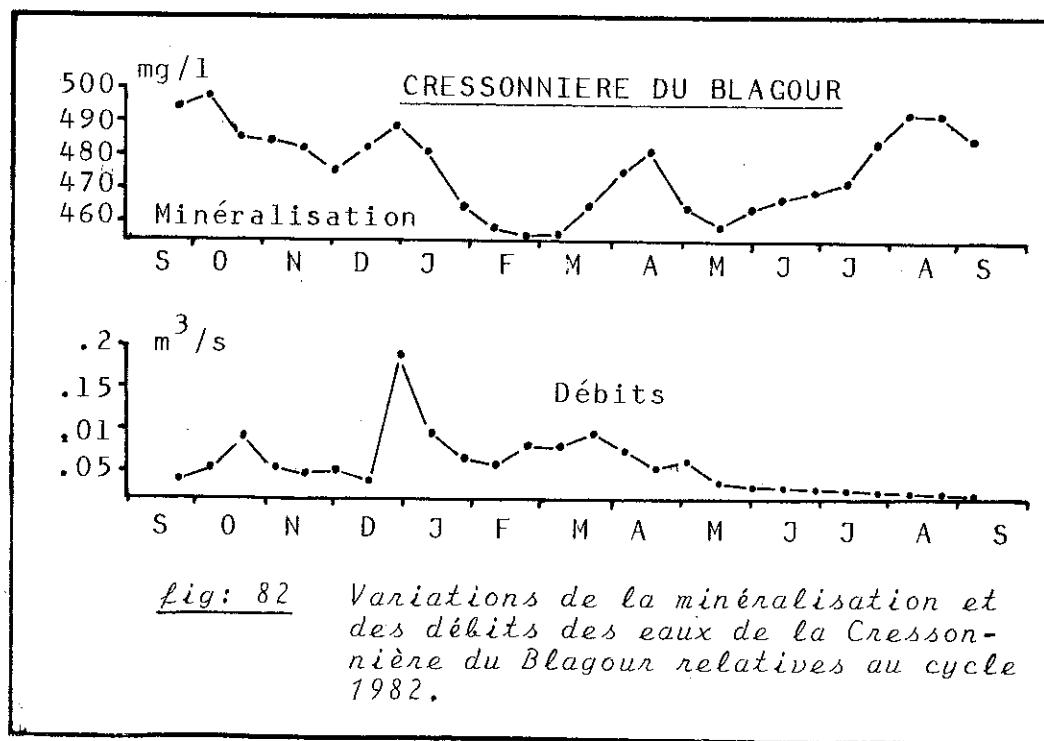
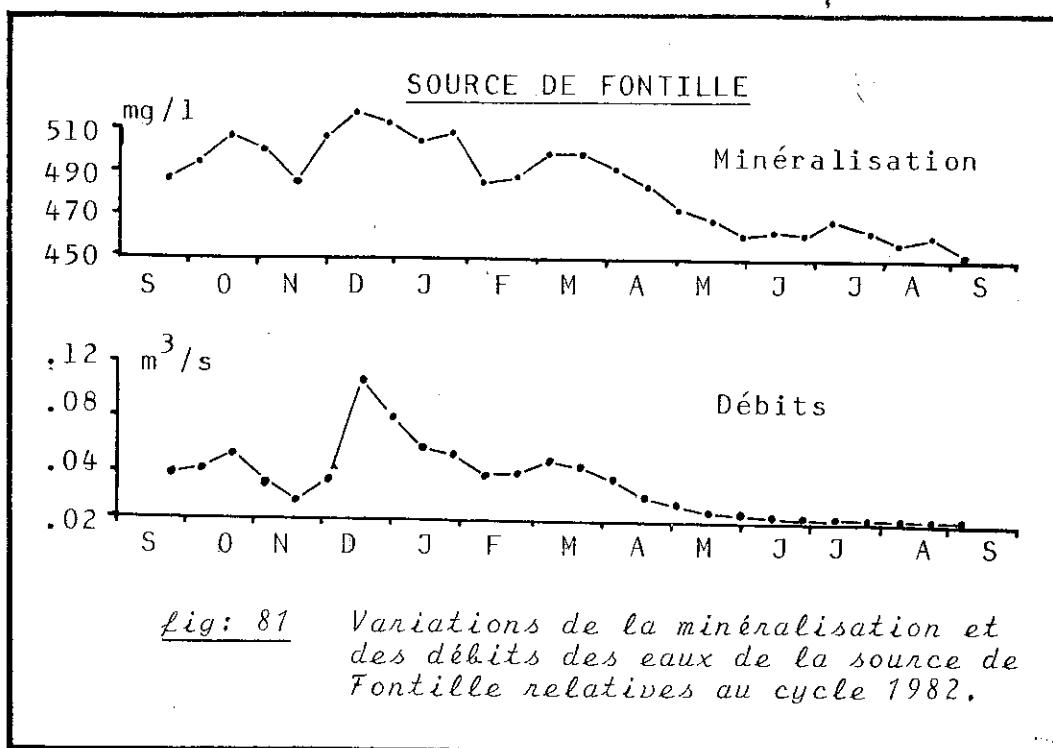
Pour la source du Sorpt, la minéralisation la plus fréquente, centrée sur 495 mg/l (490-500 mg/l) caractérise les moyennes et hautes eaux hivernales. Les basses eaux sont marquées par un pic de minéralisation s'étalant de 460 à 485 mg/l.

(cf. fig: 80). Elles ont donc des charges minérales plus faibles que les hautes et moyennes eaux hivernales. Ce résultat paraît



paradoxal: En effet, théoriquement les eaux qui arrivent à la source durant l'étiage, n'étant plus directement alimentées par les précipitations, ont longuement séjourné dans l'aquifère. De ce fait, les basses eaux devraient posséder une charge minérale plus importante que les hautes eaux. Toutefois, cette charge minérale reste forte puisqu'elle est la même que celle enregistrée à la source du Blagour pour la même période (cf. fig: 78). Il existe donc une évolution particulière de la minéralisation en étiage pour la source du Sorpt. Le troisième mode centré sur 515 mg/l caractérise les hautes eaux d'automne et, d'une manière générale, le début des hautes eaux.

La Source de Fontille montre trois modes de fréquence de même amplitude. Le premier mode centré sur 465 mg/l caractérise les eaux d'étiage (cf. fig: 81). Les deux autres modes caractérisent les moyennes et hautes eaux. Il existe un certain nombre de similitudes entre le chimisme de cette source et celui de la source du Sorpt.



La distribution des fréquences de minéralisation de la cressonnière du Blagour montre deux modes. Les minéralisations les plus fréquentes, centrées sur 490 mg/l, caractérisent les très basses eaux estivales et les moyennes eaux du début de cycle (cf. fig: 82). Le second mode centré sur 460 mg/l, caractérise les hautes eaux hivernales.

5.5. Etude des variations du chimisme des eaux.

5.5.1. Généralités

Les données hydrogéochimiques brutes se présentent sous forme d'un tableau appelé "matrice des données". Cette matrice est de dimension (n,p); n y représente le nombre d'échantillons (ou unités statistiques: US) et p le nombre de variables (T° , HCO_3^- , Ca^{2+} , Q, etc..). La représentation graphique des "n" US de cette matrice n'est possible que dans un espace à "p" dimensions (autant que de variables). Au-delà de trois variables cette représentation graphique est impossible. On peut alors représenter cette matrice de manière séquentielle, c'est à dire, variable par variable. Une telle représentation rend très délicates la description et l'interprétation des résultats hydrogéochimiques, car il est difficile de mettre en relation les US et les variables entre elles. On peut également travailler sur les valeurs maximales, minimales et moyennes, ou encore sur une variable intégrant toutes les autres, par exemple, la minéralisation. Mais, en procédant ainsi, on élimine une partie de l'information contenue dans les variations de certains ions, en particulier, les ions caractéristiques. De nombreux auteurs (M.Bakalowicz, 1979; M.Lepiller, 1980; B.Petitfils, 1981; JL. Chery, 1983; JP.Fabre, 1983) ont montré que les variations de la concentration des ions présents dans les eaux karstiques étaient directement liées à la structure et au fonctionnement de l'aquifère. Pour extraire le maximum d'informations des données hydrogéochimiques, il faudra donc employer une méthode statistique capable à la fois de synthétiser la matrice des données et de conserver les variations (donc la variance) des différentes variables.

La méthode statistique la plus adéquate pour résoudre ce genre de problème est l'analyse en composantes principales (ACP).

5.5.2 Analyse en composantes principales (ACP)

5.5.2.1 Modèle

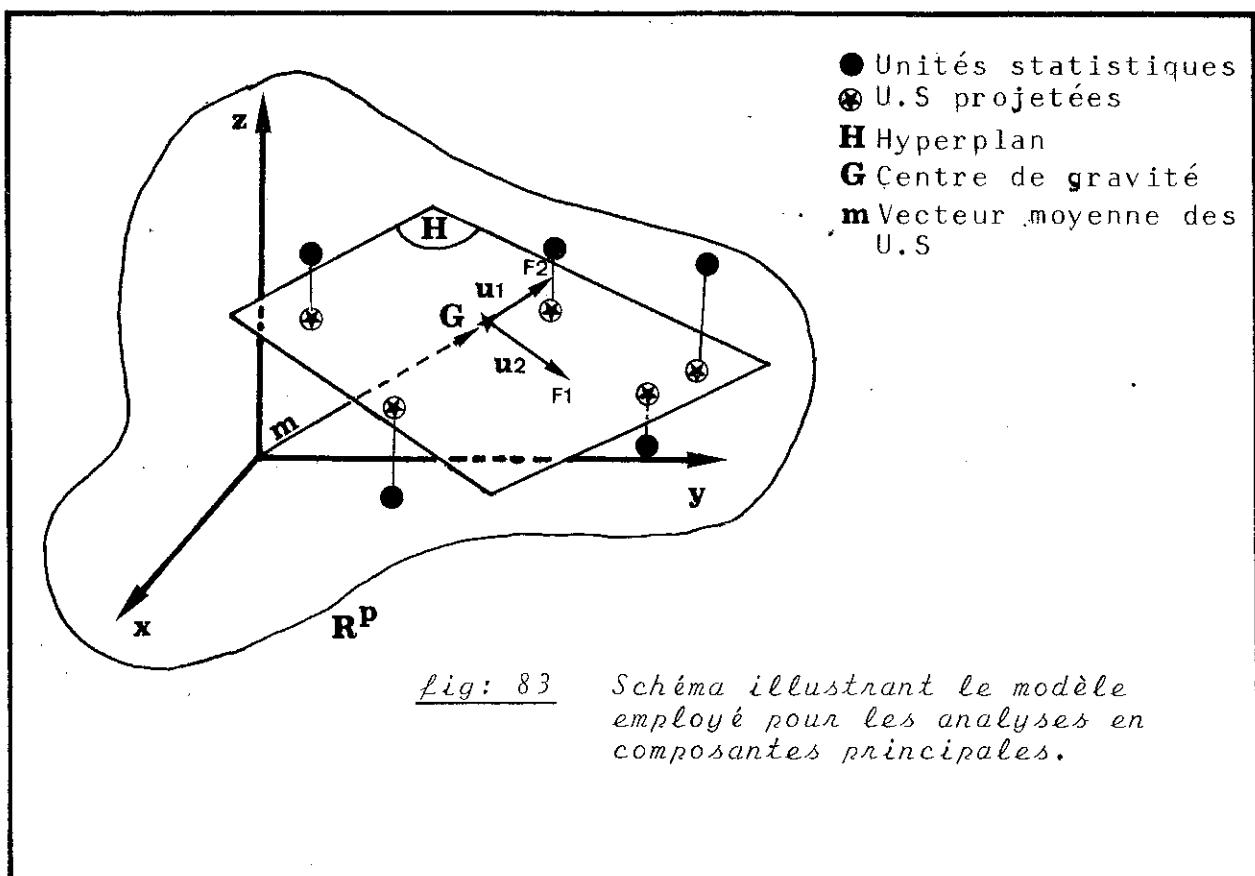
Le principe de l'analyse en composantes principales (ACP) consiste à effectuer un changement de base et à projeter les U.S dans un espace à p' dimensions, dans lequel la visualisation du nuage sera possible.

Faire une projection revient à diminuer les distances. Deux objectifs sont visés :

1° Limiter les erreurs en projetant le nuage dans le nouveau repère.

2° Conserver au maximum la forme du nuage.

Pour minimiser l'erreur, l'hyperplan de projection passe par le centre de gravité du nuage (cf. fig. 83). Pour con-



server au maximum la forme du nuage, donc son inertie par rapport au centre de gravité, on projette les U.S sur l'axe exprimant l'inertie la plus forte. L'inertie d'un point par rapport au centre de gravité étant sa variance, l'axe de projection exprimera donc le maximum de variance. On projette ensuite le nuage sur l'axe décrivant le maximum de variance non exprimé et ainsi de suite. Ces axes, appelés facteurs, sont orthogonaux.

Le traitement du problème vectoriel s'effectue par le calcul matriciel. Nous ne développerons pas ici cet aspect de la méthode. Toutefois, pour l'interprétation des résultats, il est bon de savoir que les axes exprimant le plus de variance sont les vecteurs propres de la matrice des variances covariances (ou matrice des corrélations pour l'ACP- centrée réduite) et que la valeur propre associée correspond à l'inertie de la projection du nuage par rapport au centre de gravité (J.M Bouroche et G. Saporta; 1980, A. Mangin; 1980). Elle permet ainsi de déterminer le pourcentage de variance exprimé par le facteur associé.

5.5.2.2 Utilisation du modèle

En règle générale, on projette les U.S jusqu'à ce que 90% environ de la variance totale soient exprimés. Toutefois, si ce quota est atteint avec le premier facteur, il sera intéressant d'étudier la manière dont sont répartis les 10% restant.

A chaque axe factoriel est associé un facteur. En mettant en évidence les principaux facteurs responsables de la structure observée, l'ACP permet de décrire le nuage. Cette description se fait graphiquement, soit dans l'espace factoriel des variables (en fait, la visualisation se fait sur des plans définis par deux facteurs perpendiculaires, le plus souvent F1-F2), soit dans celui des U.S.

* L'espace des variables

Les variables initiales sont projetées dans les différents plans factoriels. Les saturations sont leurs nouvelles coordonnées dans cet espace.

Dans le cas d'une ACP centrée-réduite, les variables se projettent dans un cercle de rayon 1 appelé cercle des

corrélations, puisque la distance entre le centre du cercle et une variable est proportionnelle à la corrélation multiple avec le facteur engendrant l'espace. Plus une variable est située près du cercle et mieux elle est représentée dans le plan considéré.

A partir de ce graphique sont définis les facteurs responsables de la structure observée. Les facteurs sont indépendants entre eux

* L'espace des U.S

Les U.S possèdent, dans les différents plans factoriels, de nouvelles coordonnées appelées composantes principales. Cette représentation permet de synthétiser la position des U.S entre elles et par rapport aux facteurs, donc aux variables.

La description des graphiques sert de base à l'interprétation de la structure mais le dépouillement nécessite l'étude des tableaux de résultats.

Ces tableaux sont les suivants:

Espace des variables

- Matrice des corrélations
- % de variance exprimée
- Saturations
- Carré des corrélations multiples variables-variétés factorielles

Espace des U.S

- Contribution des US à la détermination des facteurs
- Contribution des US à l'inertie du nuage
- Composantes principales
- Carré des m-cosinus

5.5.2.3 Interprétation

L'ACP n'est qu'un outil de description destiné à faciliter l'interprétation. En aucun cas une analyse même bien menée ne permettra une interprétation correcte sans une bonne connaissance du sujet traité. De ce fait, il est toujours nécessaire lors de l'interprétation de revenir aux données brutes. Ces données doivent être critiquées. En effet, l'ACP est guidée par les valeurs présentant les variances les plus importantes.

Les tableaux de contribution des US à l'inertie du nuage et à la détermination des facteurs permettent de mettre en évidence des valeurs extrêmes. Le problème est alors de savoir si ces US font partie de la structure générale des données ou sont des valeurs abérrantes. Cette détection est déjà un début d'interprétation. Il est nécessaire de reprendre plusieurs fois l'analyse de façon à cerner au mieux par approches successives la structure des données.

Enfin, il faut garder en mémoire que l'analyse des US et des variables doit se faire simultanément, mais que l'ACP consiste à résumer les US et non les variables. Celles-ci permettent la définition des facteurs.

5.5.3 Description des courbes de variation et détermination des caractères dominants

Pour mener à bien cette description, nous avons employé l'ACP sur les données brutes des différents points de prélèvement retenus. Pour traiter ces données de nombreuses ACP ont été nécessaires. Nous ne pourrons pas toutes les présenter dans le texte. Seules les plus intéressantes et les plus caractéristiques ont été retenues (Tous les tableaux correspondant à ces ACP se trouvent en annexe VIII). Les tableaux 32 et 33 rassemblent respectivement les ACP menées sur les données bimensuelles et sur les épisodes de crues. Ces tableaux synthétiques permettent une vision d'ensemble du sujet traité.

De façon à ne pas donner plus de poids à une variable par rapport aux autres nous avons mené une ACP centrée-réduite. Nous avons arrêté le traitement au 4^o facteur ou lorsque 90% de la variance étaient exprimés.

Le nombre de variables de base pour les ACP que nous avons menées est de 13. Ce sont: T°, Cl⁻, HCO₃⁻, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, SiO₂, SO₄²⁻, Q (débit ou hauteur piézométrique selon les cas), B (balance ionique), DpH (Δ pH), pCO₂.

La minéralisation, la conductivité, le pH et le pH équi. ont été éliminé des analyses car ces variables étaient partiellement redondantes d'une part avec HCO₃⁻ et Ca²⁺ pour la

Lieu	Nom	NU	NU	US	VS	F1	F2	F3	F4	%v	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	Observations
Blaigour N° 1	ACP1	37	13			31.6	25.1	8.9	8.6	74.2	T, HC03-, Ca++, -Q, (DpH, Mg++)	K+, Na+, PCO2, (-DpH, SO4--), -B)	-pCO2, DpH, SO4--, SiO2,	-B, SiO2, Mg++ Cl-	1,18	12,13	7	7	
	ACP2	37	12	B		34.3	25.7	9.6	8.9	78.5	K+, PCO2, Na+, (-DpH, SO4--)	-pCO2, SO4-- SiO2, DpH	SiO2, Cl-, Mg++	18,1,10	12,13	7,17	7		
	ACF3	36	12	12	B	35.6	21	11.8	8.6	77.0	K+, PCO2, Na+, (-DpH, Mg++)	Mg++, (-DpH, SO4--)	Mg++, (-DpH, SO4--)	SiO2, (Cl-, SO4--)	18,1	13	17,10	7	
	ACP4	34	12	7,10,11	B	38.0	27.1	9.0	7.2	81.3	K+, PCO2, Na+, (-SO4--, DpH)	-pCO2, DpH, SO4--, Mg++, (Na+)	-Cl-, Mg++(K+)	18,1,19	12,13	13,17,23	15,27,35		
	ACP5	18	12	1/2	B	40.3	28.2	8.1	7.3	83.9	K+, PCO2, K+, (DpH, T)	SO4--, Cl-, DpH	SiO2	18	12	10	2	1/2 Cause SO4--	
	ACP6	14	12	1-->9 11-->15 18-->26	B	34.6	19.5	14.8	12.3	81.3	K+, PCO2, -Q, Mg++, DpH, (T, SO4--, SiO2)	SO4--, -K+, T, -SiO2, (DpH, (HC03-, SiO2))	-DpH, PCO2, Cl-, Mg++, (Na+, Cl-)	17,37	16,28	35,36,10	27,16	Etiage	
	ACP7	10	8	1-->27	B, Cl-, Na+, K+, SO4--	43.2	38.6	9.4		91.2	K+, PCO2, K+, (HC03-, SiO2)	PCO2, -DpH HC03-, Ca++ (SiO2)	Ca++, DpH, (SiO2)	28,37	28	31,34		Etiage 1982	
Sorpt N° 2	ACP1	38	13			39.7	21.3	10.5	8.0	79.4	Mg++, Ca++, Q, -SiO2, -T, SO4-- HC03-, (-B, PCO2)	Na+, K+, -DpH, PCO2	Cl-, DpH, (K+, PCO2)	HC03-, (-SO4--, DpH, T)	13,37	13	13,4	16,10	
	ACP2	38	12	B		40.6	22.9	11.3	8.5	83.4	Mg++, Ca++, Q, -SiO2, -T, HC03-, (SO4--, PCO2)	Na+, -DpH, PCO2 K+	Cl-, DpH, (K+, PCO2)	HC03-, (-DpH, SO4--, Ca++, T, Q)	13,19	13	10,13	10,14	
	ACP3	12	12	1-->27	B	38.3	17.6	10.1	5.4	91.4	Ca++, -Mg++, Q, -T, SO4--, HC03-, PCO2, (Na+, SiO2)	-DpH, Cl-, K+, (PCO2)	-K+, SiO2, Na+, -DpH	Na+, Cl-, DpH -T	27,37,38	27,30	30,34	36,38	Etiage
	ACP4	24	12	11,12, 27-->38	B, Cl-, Na+, K+, SO4--	31.3	25.0	14.9	11.8	83.0	Na+, PCO2, K+, (Ca++, -Mg++)	Na+, PCO2, -Q, (SiO2)	HC03-, (-Cl-, Ca++, (-K+))	DpH, Ca++, -SiO2, (-pCO2, K+)	13	19,17	13,1,12	10,18,23	Hauts eaux
	ACP5	11	8	1-->27	B, Cl-, Na+, K+, SO4--	73.1	11.9	8.4		93.4	Mg++, Q, Ca++, -T, PCO2, HC03, (-DpH, -SiO2)	DpH, -PCO2	SiO2	28	30,28	34		Etiage 1982	
Fontille N° 3	ACP1	38	13			45.7	16.1	9.4	8.1	79.3	-HC03-, Mg++, -Ca++, -Q, Na+, Cl-, (-SO4--, T, SiO2)	-DpH, PCO2, K+	-B, SO4-- B, T, K+	18	12,3	8,21	14		
	ACP2	37	12	B		49.1	17.2	9.4	5.9	81.6	Mg++, -HC03-, -Ca++, Na+, (T, -SO4--)	PCO2, -DpH, K+, DpH	T, SO4--, K+, (DpH, -pCO2)	SiO2	18,19	12,3	22,21	2	
	ACP3	32	12	2	B	53.5	17	9.2	6.4	86	Mg++, -HC03-, -Ca++, Na+, SiO2, -Q, Cl-, (T, -SO4--)	PCO2, -DpH, K+, DpH	T, SO4--, K+, (DpH, -pCO2)	SiO2, Cl-, (Na+, SiO2)	18,37	12,3,1	22,12,21	1,8	Etiage
	ACP4	15	12	1-->8 12-->25	B	53.7	16.3	13	7.2	90.2	-Ca++, SiO2, -HC03-, Mg++, Na+, -SO4--, (Cl-, -DpH)	-pCO2, DpH, -Q	K+, Cl-, (Na+, SiO2)	9, (-pCO2, K+)	26,37,9	11,2,31	11,26,29	31,29	
	ACP5	22	12	8,10,11 25-->37	B	36.8	19.3	11.3	9.4	79.9	Mg++, -HC03-, -Ca++, Na+, Na+, -SO4--, (Cl-, -DpH)	-DpH, PCO2, K+, DpH	T, SO4--, Na+, DpH	7,18,19	12,1	2,14,21	12,1	Hauts eaux	
	ACP6	10	8	1-->27	B, Cl-, Na+, K+, SO4--	62.4	23.0	7.9		93.2	-SiO2, -Mg++, Q, HC03-, Ca++, (Na+, SiO2)	DpH, -pCO2, -T	T	28,37	33,37	28,37		Etiage 1982	

Tableau: 32 Tableau présentant l'ensemble des analyses en composantes principales menées sur les prélèvements hémisulaires des différents points prélevés.

NUL = Nombre d'US de l'analyse

$VV = \text{Nombre de variables.}$

US = N° des US supprimées

/S = Nom des variables supprimées

$\sigma^2 = \text{variance exprimée par le facteur}$

$\sigma^2 = \%$ de variance cumulé exprimé par les 4 facteurs

F1 = variables fondamentales corrélées à l'axe F1

$$\mathcal{F}^3 = \mathcal{F}^1 \cap \mathcal{F}^2$$

1 = us fortements corrigées à l'axe F1

Lieu	Date	Plan	Nu	NJ	US	VS	F1	F2	F3	F4	%V	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	Observation
Blagour N°1	Jul 10 81	ACP1	14	12		B	67.3	10.2	9.2	6.7	93.5	HC03-, Ca ⁺⁺ , -T, Q, DpH, -SO4--, (K ⁺ Na ⁺ , Mg ⁺⁺ , SiO2)	C1-, -PC02, (DpH PC02)	C1-, -PC02, (Mg ⁺⁺ -Na ⁺ , SiO2, (T))	1,2,3	3,5,12	1,5,12	7,8,11	cru eestivale orage violent	
	Sep 22 81	ACP1	16	12		B	37.1	22.8	18.2	7.0	85.2	-HC03-, -Ca ⁺⁺ , (-Mg ⁺⁺)	SO4--, -DpH, -T DpH	SO4--, -DpH, -T DpH	3,5,1	3,4	1,3	10,12	1 ^{er} cru du cyc1	
	ACP2	15	12	3		B	41.2	26.4	11.9	6.9	86.3	-Ca ⁺⁺ , -HC03--, Na ⁺ , (Cl ⁻ , SO4--, -Mg ⁺⁺ , -DpH, Q)	PC02, -T, -Q, Na ⁺ , SO4--, -DpH	C1-, K ⁺ , -pCO2, DpH	SiO2, -T, -K ⁺ , Q DpH	1,2	1,4,16	12,5	1,2	1 ^{er} cru du cyc1
	ACP3	14	12	3,16		B	44.6	21.8	14.1	7.4	87.9	-HC03-, -Ca ⁺⁺ , (-DpH, Na ⁺ , (-Mg ⁺⁺ , SO4--, Cl- Q))	-T, SO4--, -Q, DpH, Na ⁺ , PC02, (Mg ⁺⁺ , SiO2)	K ⁺ , Cl ⁻ , -pCO2, (DpH)	SiO2, -T DpH	1,4,2,5	1,4,15,	12,5,7	10,1	1 ^{er} cru du cyc1
Oct 2 81	ACP1	20	12	2,4,6		B	38.2	22.3	19.9	6.0	86.5	-Q, HC03-, Ca ⁺⁺ , pCO2	DpH, -pCO2, Na ⁺ , (-T, HC03-, SiO2)	SiO2	9,10,14	13,14,23	1,23,22	18,15,21		
	ACP2	23	10			B, DpH, PC02	43.1	26.9	11.9	6.4	88.3	Cl-, K ⁺ , Na ⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , SO4--, T, SiO2, HC03-, SO4--, (T, -Ca ⁺⁺ , -K ⁺)	HC03-, Ca ⁺⁺ , -Q Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , Ca ⁺⁺ , -Q, DpH, (-SO4--, Ca ⁺⁺ , -K ⁺)	-T, (SiO2, Q)	SO4--, (SiO2, -T DpH, T, (SO4--))	9,14,15	13,14,9	22,23,13	18,15,17	
Dec 7 81	ACP1	40	12			B	45.0	19.4	18.5	5.3	88.2	HC03-, T, Na ⁺ , Mg ⁺⁺ , (SO4--, -K ⁺)	K ⁺ , Mg ⁺⁺ , Cl ⁻ , -DpH, Ca ⁺⁺ , SiO2)	PC02, -SiO2, -DpH, T, (SO4--)	C1-, SO4--	1,31,2	4,20,5	19,1,2	18,28,20	
	ACP2	25	12	26->40		B	48.8	26.8	7.5	5.6	88.6	-Q, DpH, HC03-, Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , SiO2 -SO4--, Ca ⁺⁺ , -K ⁺)	-T, Cl ⁻ , -Ca ⁺⁺ , (Mg ⁺⁺ , HC03-, K ⁺ , Na ⁺)	PC02, <-DpH, Cl ⁻ , T)	SO4--, -K ⁺ , T	1,21,24	4,5	2,23	19,5	
	ACP3	14	12	1->26		B	54.9	17.9	15.7	4.5	92.9	HC03-, Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , SiO2 -SO4--, (T, -Q, Na ⁺ , (-SO4--))	Mg ⁺⁺ , SiO2, (-Q) DpH, -K ⁺ , -Q, Na ⁺ , (-SO4--)	C1-, -pCO2, SO4--, (-SiO2)	pCO2, Cl ⁻ , (-SiO2)	31,27	28,32,40	26,35	30,29,38	
Avr 1 82	ACP1	11	12			B	46.5	16.8	14	9.5	88.9	HC03-, Mg ⁺⁺ , DpH, -Q, -Q, (-SO4--)	T, pCO2, (SO4--, -Q, -DpH)	K ⁺ , Cl ⁻ , (-Q, -Na ⁺)	SiO2, -Cl ⁻	1,32,5	8,3,1	3,8,11	10,5,1	
	ACP2	10	12	8		B	50.8	16.7	11.4	10.2	89.2	HC03-, Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , DpH, -Q, K ⁺)	pCO2, T, (SO4--, -Q, K ⁺)	K ⁺ , Cl ⁻ , (SiO2, -T)	SiO2, -Cl ⁻	1,3,2,5	6,11,1	11,3	10,1,5	
Sept 22 81	ACP1	13	12	1,16		B	52.1	23.7	10.9	5.9	92.5	(Na ⁺ , Cl ⁻)	Cl-, Na ⁺ , HC03-, DpH, HC03-, -Na ⁺ Ca ⁺⁺ , -Q, (SO4--, -T)	SiO2, T, HC03-, (SiO2, DpH)	SiO2, -Cl ⁻	2,3	7,14,6	4,3	14,2	
Dec 7 81	ACP1	39	12			B	44.5	21.5	14.6	6.8	85.3	HC03-, Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , -Q, T	pCO2, -DpH, -SiO2, SO4--	-SO4--, Cl ⁻ , -DpH, Na ⁺	-K ⁺ , SO4--, Cl ⁻	2,32,33	2,11,12	31,32	32,31	
	ACP2	26	12	29->39		B	52.8	19.7	10.8	6.3	89.7	Mg ⁺⁺ , SiO2, Na ⁺ , Ca ⁺⁺ , (Cl ⁻ , DpH, -SO4--)	pCO2, K ⁺ , (-DpH, Ca ⁺⁺ , (HC03-, -SiO2))	DpH, SO4--, Cl ⁻ , Ca ⁺⁺ , (HC03-, -SiO2)	SO4--, Cl ⁻	27,28	2,11,10	14,124	2,6	
	ACP3	11	12	1->28		B	51.7	22.1	14.2	5.8	93.8	HC03-, Mg ⁺⁺ , -Q Ca ⁺⁺ , SiO2, DpH, SO4--, (-Q)	pCO2, Na ⁺ , Cl ⁻ , (-T, (-DpH))	Cl-, Na ⁺ , Cl ⁻ , -pCO2, DpH	SO4--, Cl ⁻	32,39,33	31,36,37	31,32,38	29,39,30	
Mar 16 82	ACP1	20	12			B	58.3	15	11.5	4.9	90.1	HC03-, Mg ⁺⁺ , DpH SiO2, T, Na ⁺ , -Q Cl ⁻)	K ⁺ , Q, Na ⁺ , SO4-- Cl ⁻)	pCO2, Ca ⁺⁺ -DpH	-K ⁺ , Q, pCO2, -DpH	1,7,8	6,7,5	1,17,19	2,5,20	
Fontille N°3	Jul 10 81	ACP1	14	12		B	53.6	24.2	8.7	5.2	91.7	-K ⁺ , Mg ⁺⁺ , SO4-- -O, Na ⁺ , (Cl ⁻ , T, SiO2)	pCO2, -DpH, (Ca ⁺⁺ , HC03-)	Cl ⁻ , Cl ⁻ , -HC03-, -DpH	T, Cl ⁻ , -HC03-, SO4--	2,1,12,2	13,1,5	12,4,14	10,12,4	
	Avr 1 82	ACP1	12	12		B	43.7	32.7	11.5	5.8	92.9	-HC03-, SiO2,	Q, DpH, -pCO2	-Cl ⁻ , -SO4--	T	3,1,2,9	1,12,6,4	12,8,3	6,5,10	

Lieu	Date	Nom	NU	NU	US	VS	F1	F2	F3	F4	Z _p	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	Observations
E.Entrecois	Jul 10 81	ACP1	13	12	B	50.4	24.6	12	6	92		Na ⁺ , -Ca ⁺⁺ , K ⁺ , (Mg ⁺⁺ , SO ₄ --)	-Mg ⁺⁺ pCO ₂)							

Tableau: 33 Tableau présentant l'ensemble des analyses en composantes principales menées sur les prélèvements de crue des différents points prélevés.
(même légende que sur le tableau 32)

conductivité et la minéralisation, d'autre part avec la pCO_2 équi. pour le pH et pH équi.

Enfin, les US ont la même numérotation sur les graphiques séquentiels et sur les graphiques de l'ACP, ainsi que dans les tableaux de résultats. A chaque numéro correspond une date figurant sur les tableaux de résultats de l'ACP (cf. Annexe VIII).

5.5.3.1 Le système du Blagour

Quatre sources (source du Blagour n°1, Cressonnière du Blagour n°4, Source de Fontille n°3, Event d'Entrecors n°6) et une perte (la Perte de la Couze, n°7) de ce système ont fait l'objet d'un suivi bimensuel. Des prélèvements ont été effectués sur cinq crues à la source du Blagour et sur une crue à la source de Fontille.

Nous commencerons par étudier les variations du chimisme des eaux au niveau de la Perte de la Couze (n°7). Puis nous traiterons les données relatives aux différentes sources en commençant par celle du Blagour.

a) La Perte de la Couze

Sur les figures 84, 85 et 86 sont présentées les variations de la chimie des eaux au niveau de la Perte de la Couze. Deux ACP ont permis de traiter ces données (cf. tableau: 32). La représentation des variables et des US dans le plan F1-F2 de l'ACP est fournie par la figure 87.

Deux ensembles de variables corrélées entre elles peuvent être définis (cf. figure 87):

1° Les variables SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , et DpH sont fortement corrélées à l'axe F1 (F1 exprime 56% de la variance).

2° Les variables Cl^- , Na^+ , K^+ , SiO_2 et pCO_2 sont liées positivement aux facteurs F1 et F2 (F2 exprime 15% de la variance).

Le débit (Q) est lié négativement au facteur F1 et positivement au facteur F2. Ainsi, le débit est inversement cor-

PERTE DE LA COUZE

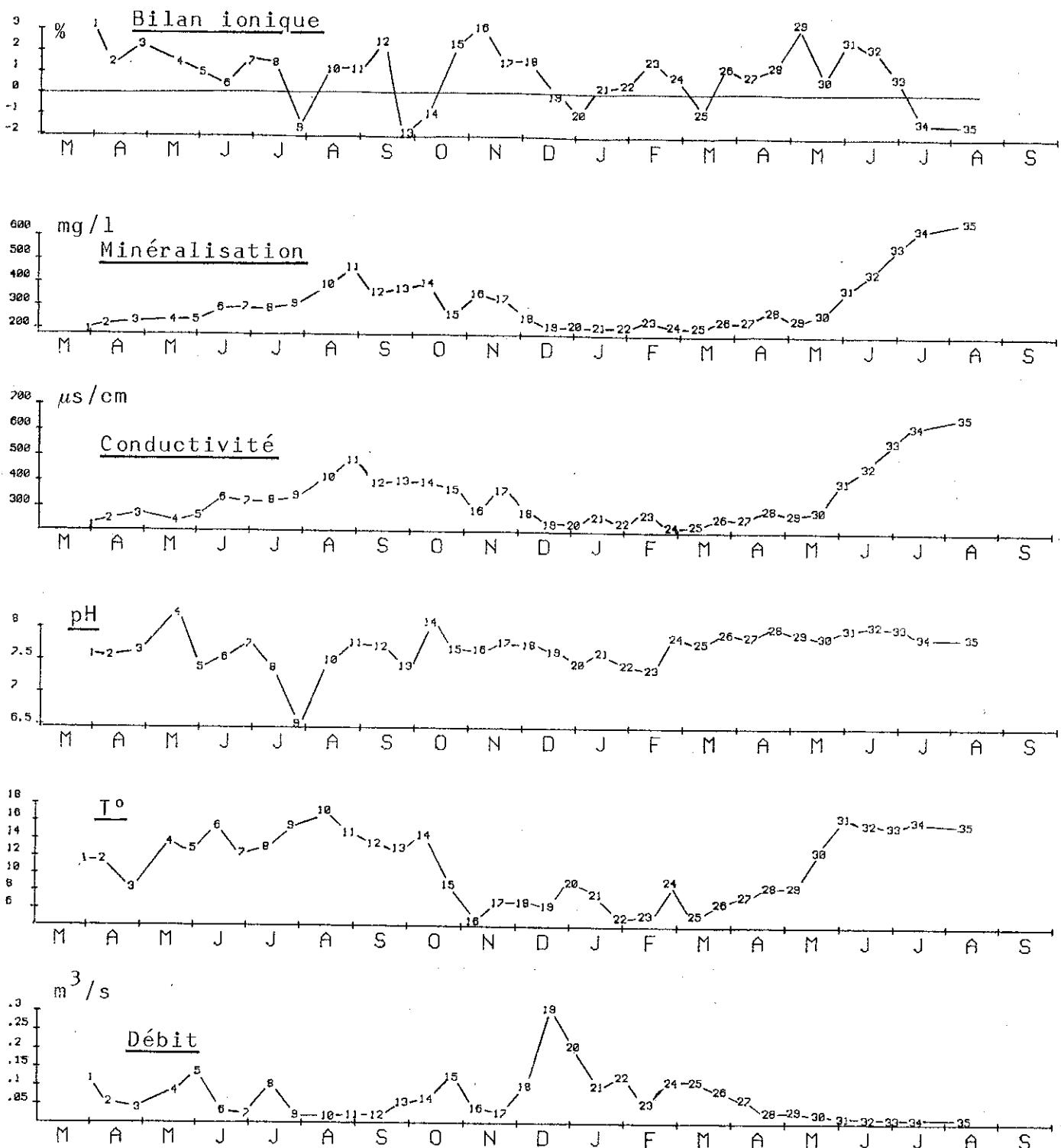


fig: 84 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Perte de la Couze

PERTE DE LA COUZE

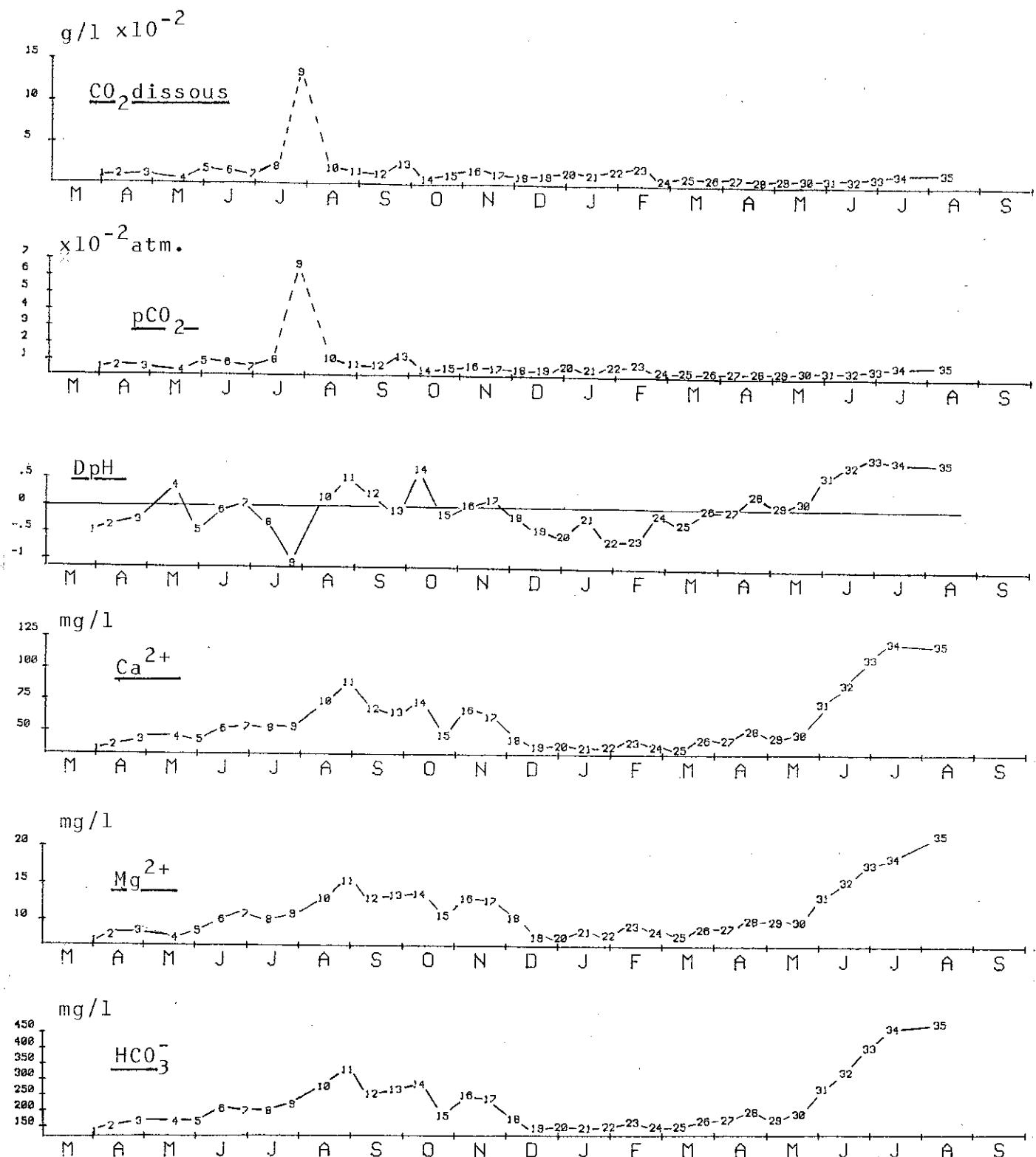


fig: 85 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Perte de Couze.

PERTE DE LA COUZE

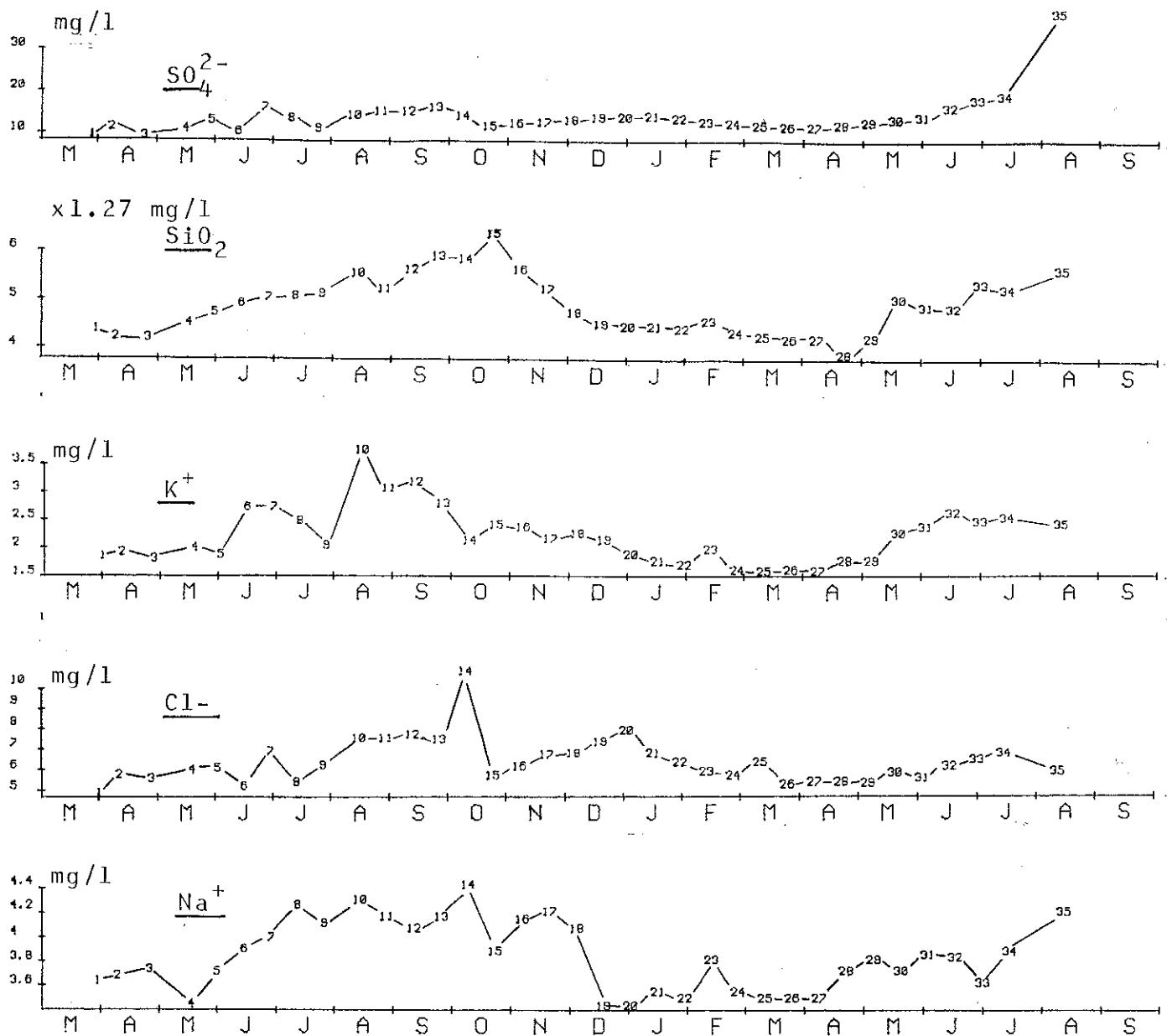
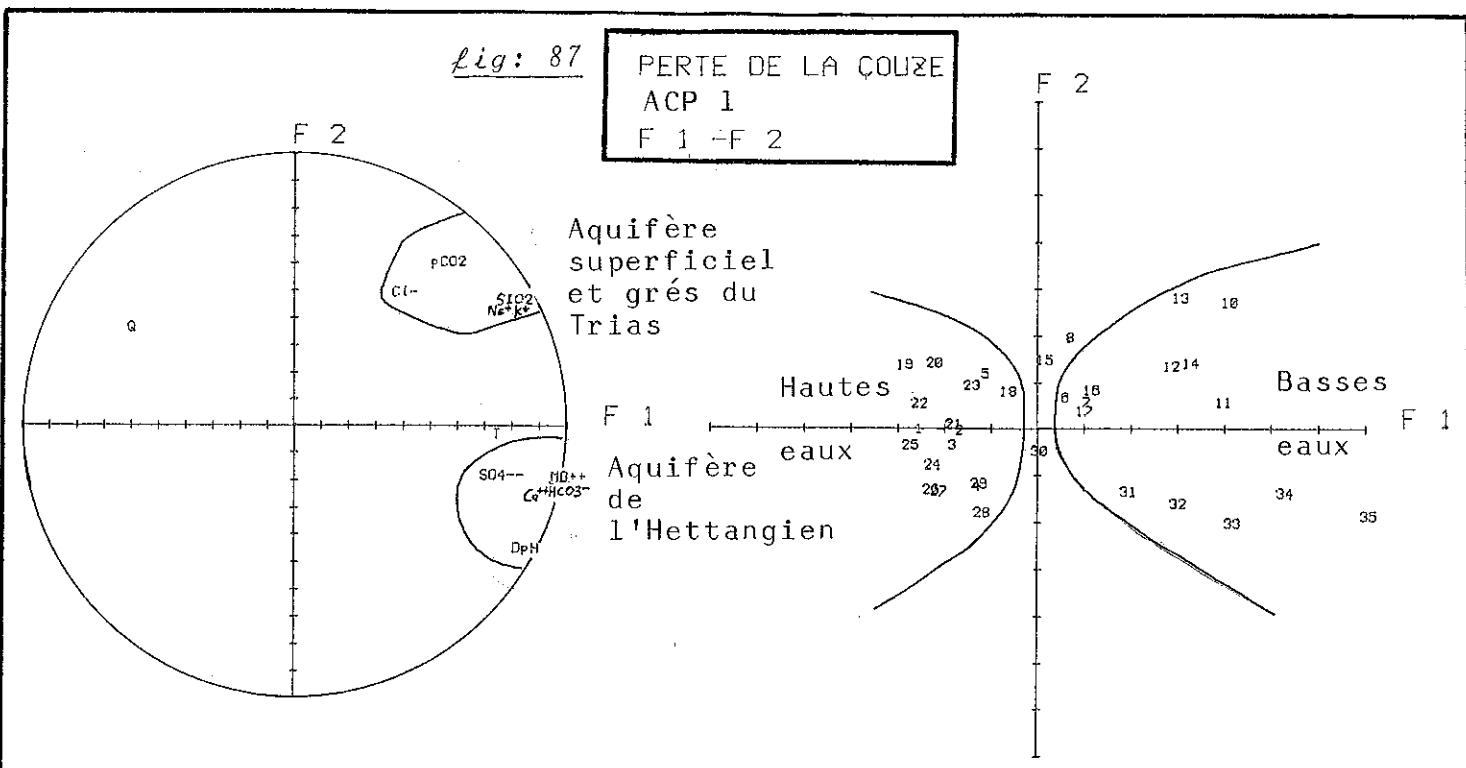


fig: 86 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Perte de la Couze.

fig: 87

PERTE DE LA COUZE
ACP 1
F 1 - F 2



rélé à HCO_3^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} et DpH. En revanche, cette opposition est moins marquée avec le deuxième ensemble de variables (pCO_2 , Cl^- , SiO_2 , K^+ , et Na^+). Nous n'avons pas tenu compte de la température, qui, à la perte de la Couze, dépend essentiellement de la saison et des conditions météorologiques précédant la date du prélèvement.

Dans l'espace des U.S., les prélèvements de hautes eaux sont situés à l'extrême négative de l'axe F1. Les prélèvements de moyennes et basses eaux se placent à l'extrême positive de l'axe F1 (cf. fig. 87). Les prélèvements du début de cycle (US: 11, 12, 13, 14) se placent vers les valeurs positives de F2, alors que les prélèvements d'étiage (US: 31, 32, 33, 34, 35) se placent vers les valeurs négatives de F2. De ce fait, les eaux de début de cycle sont marquées par une augmentation importante des concentrations en Cl^- , SiO_2 , pCO_2 , Na^+ et K^+ . Les eaux d'étiage sont également marquées par une faible augmentation de ces éléments et par une forte augmentation des concentrations en SO_4^{2-} , Ca^{2+} , HCO_3^- et du DpH (cf. fig: 84, 85 et 86). Les hautes eaux sont surtout caractérisées par une chute de la minéralisation (cf. fig: 84, 85 et 86).

En très basses eaux, les concentrations en Ca^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} et SO_4^{2-} augmentent très rapidement. Elles atteignent des valeurs importantes qui ne peuvent pas être dues à un séjour prolongé de l'eau au contact des grés du Trias composant la majorité partie du bassin d'alimentation. Un tel type d'eau ne peut, provenir que de formations carbonnées magnésiennes, comme on en trouve à l'aval du bassin versant de la Couze-perte; ce sont les calcaires et dolomies hettangiennes (cf. paragraphe II.1.1.3). Ainsi, lors des étiages très prononcés, seules les eaux de cet aquifère atteignent la perte de la Couze. Les teneurs en Mg^{2+} et SO_4^{2-} obtenues durant l'étiage 1982 à la perte de la Couze sont du même ordre de grandeur que celles obtenues plus à l'est dans des forages traversant les mêmes formations hettangiennes (Ph. Muet, 1982). Les fortes concentrations en sulfates sont à rapprocher de la présence de pyrite dans les niveaux marneux des formations hettangiennes.

L'association Na^{2+} , K^+ , Cl^- et pCO_2 est caractéristique d'eaux à séjours longs dans des aquifères superficiels (cf. paragraphe III 5.1.2). La présence de SiO_2 dans ce groupe de variables est certainement liée à des minéraux argileux.

L'interprétation des résultats de cette analyse en composantes principales est donc la suivante:

- Le facteur F1, exprimant 56% de la variance peut-être interprété comme le "temps de séjour-dilution". En effet, les prélèvements d'étiage et de hautes eaux se répartissent à chaque extrémité de cet axe.

- Le facteur F2, exprimant 15% de la variance, représente la participation aux écoulements des eaux des différents petits aquifères superficiels se développant sur les grès du Trias. Cette participation, indépendante du temps de séjour, donc du débit, se manifeste surtout en début de cycle et au début de l'étiage.

En conclusion, les eaux pénétrant dans l'aquifère karstique au niveau de la perte de la Couze possèdent deux origines que leur minéralisation permet de distinguer:

1° Les différentes nappes alluviales et superficielles, caractérisées par les ions Na^+ , Cl^- et la silice et possèdent de fortes pCO_2 contribuent au débit de base de la Couze-perte.

2° Les cargneules de l'Hettangien, dont les eaux sont riches en Mg^{2+} et SO_4^{2-} contribuent au débit de la Couze-perte. Cet aquifère est de faible superficie par rapport à l'ensemble du bassin versant de la Couze-perte. C'est pourquoi les éléments caractéristiques de cet aquifère (SO_4^{2-} , Mg^{2+}) ne se retrouvent en quantité dans les eaux que lors de l'étiage, lorsque les autres apports deviennent faibles. En outre, il semble que cet aquifère possède un pouvoir régulateur plus important que celui des grés du Trias.

Enfin, les variations de la minéralisation sont importantes. Elles sont liées au temps de séjour et à la dilution; les eaux de ruissellement sont peu minéralisées.

b) La source du Blagour

Les *figure 88, 89, 90* présentent les variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Blagour pour le cycle 1982. La *figure 91* replace les prélèvements par rapport aux évènements hydrologiques.

L'analyse en composantes principales a été utilisée pour synthétiser les principales variations de ces données hydrogéochimiques. Sept analyses ont été effectuées (*cf. tableau 32*). Les quatre premières nous ont servi à éliminer les US présentant les valeurs erronées. C'est ainsi que les US7, 10 et 11 ont été supprimées, l'US7 à cause d'une valeur anormalement basse en silice attirant à elle d'axe factoriel 4, les US n° 10 et 11 pour des valeurs trop fortes de pH introduisant de faibles pCO_2 et de forts pH. En revanche, l'ACP3 nous a permis de conserver l'US n°12 présentant des valeurs très fortes pour les ions caractéristiques de l'aquifère (*cf. tableau 32*).

De ce fait, c'est à l'aide de l'ACP4 que nous décrivons les variations chimiques des eaux du Blagour. Le traitement a été poussé jusqu'à 4 facteurs. A ce stade du traitement, 81.3% de la variance totale ont été exprimés.

BLAGOUR

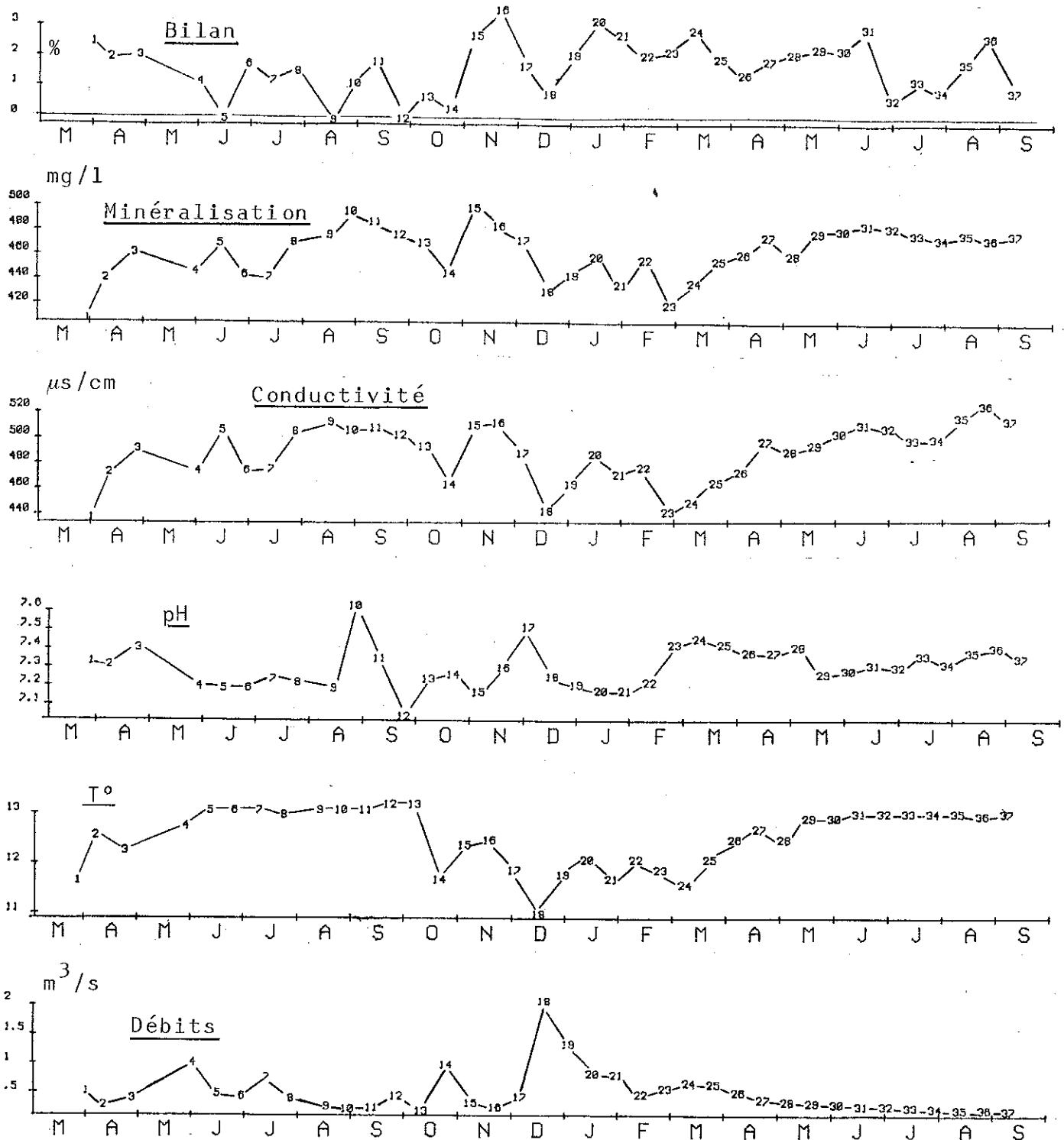


fig: 88 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Source du Blagour(n°1).

BLAGOURL

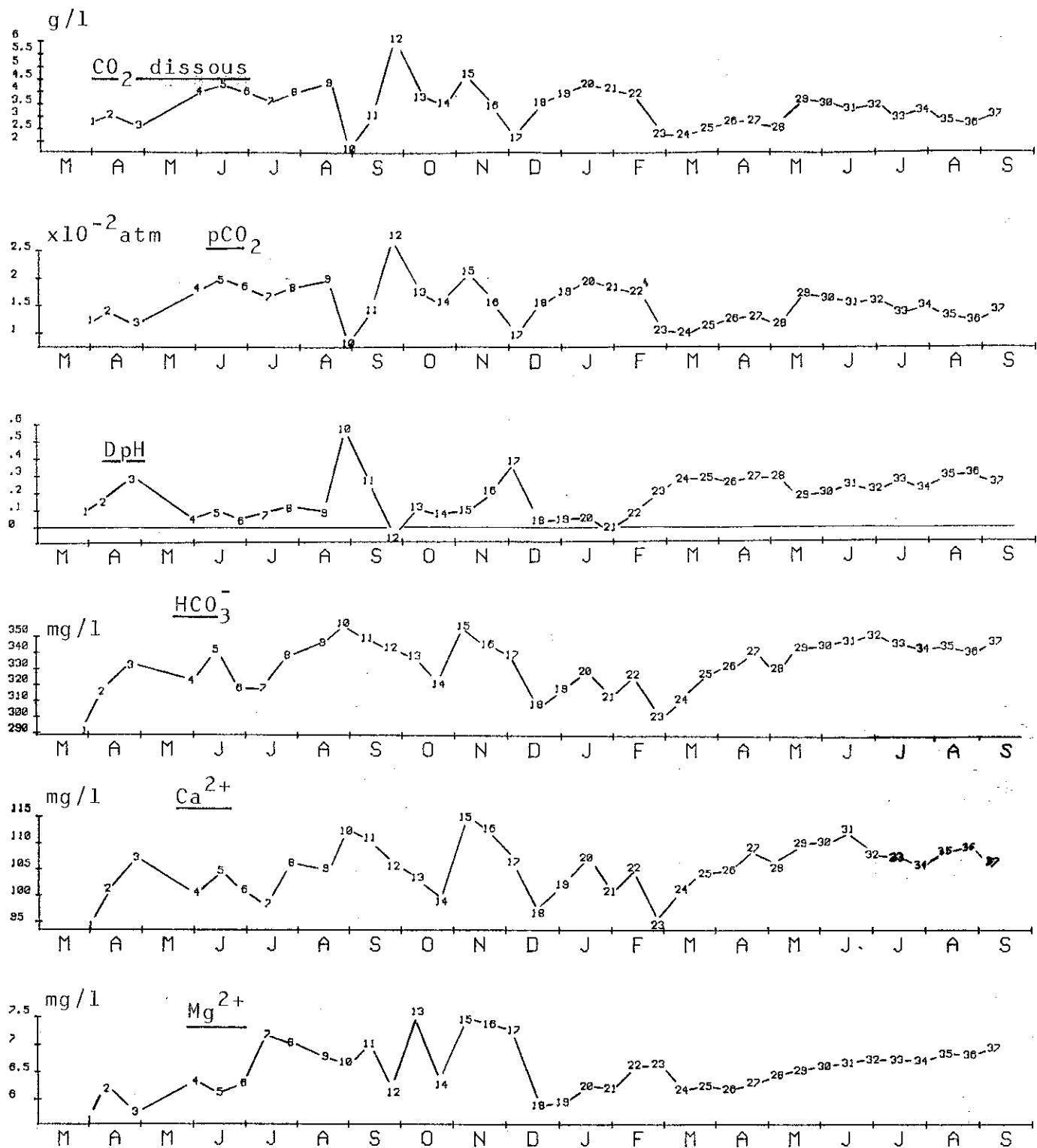


fig: 89 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Blagour(n°1)

BLAGOUR

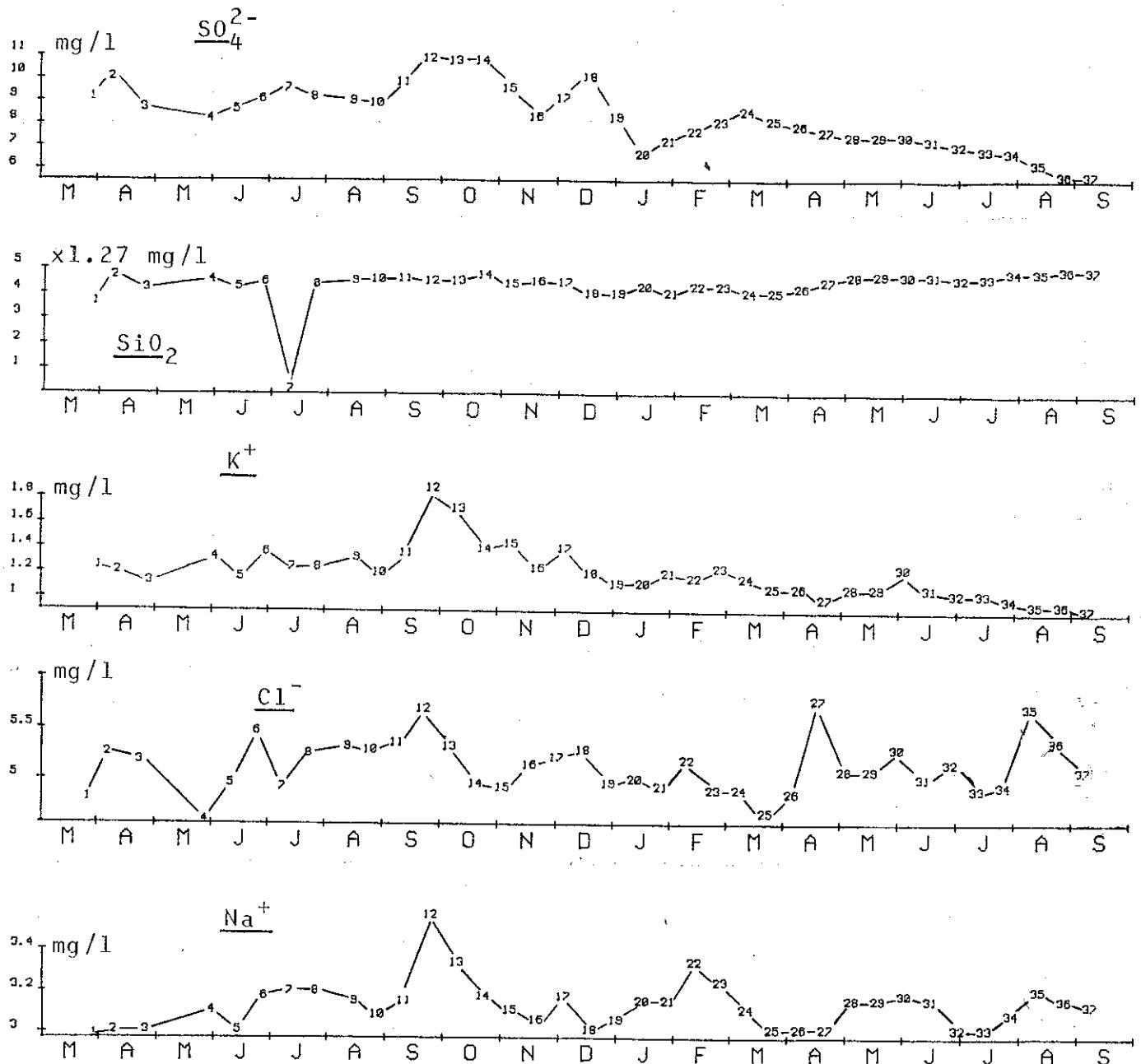
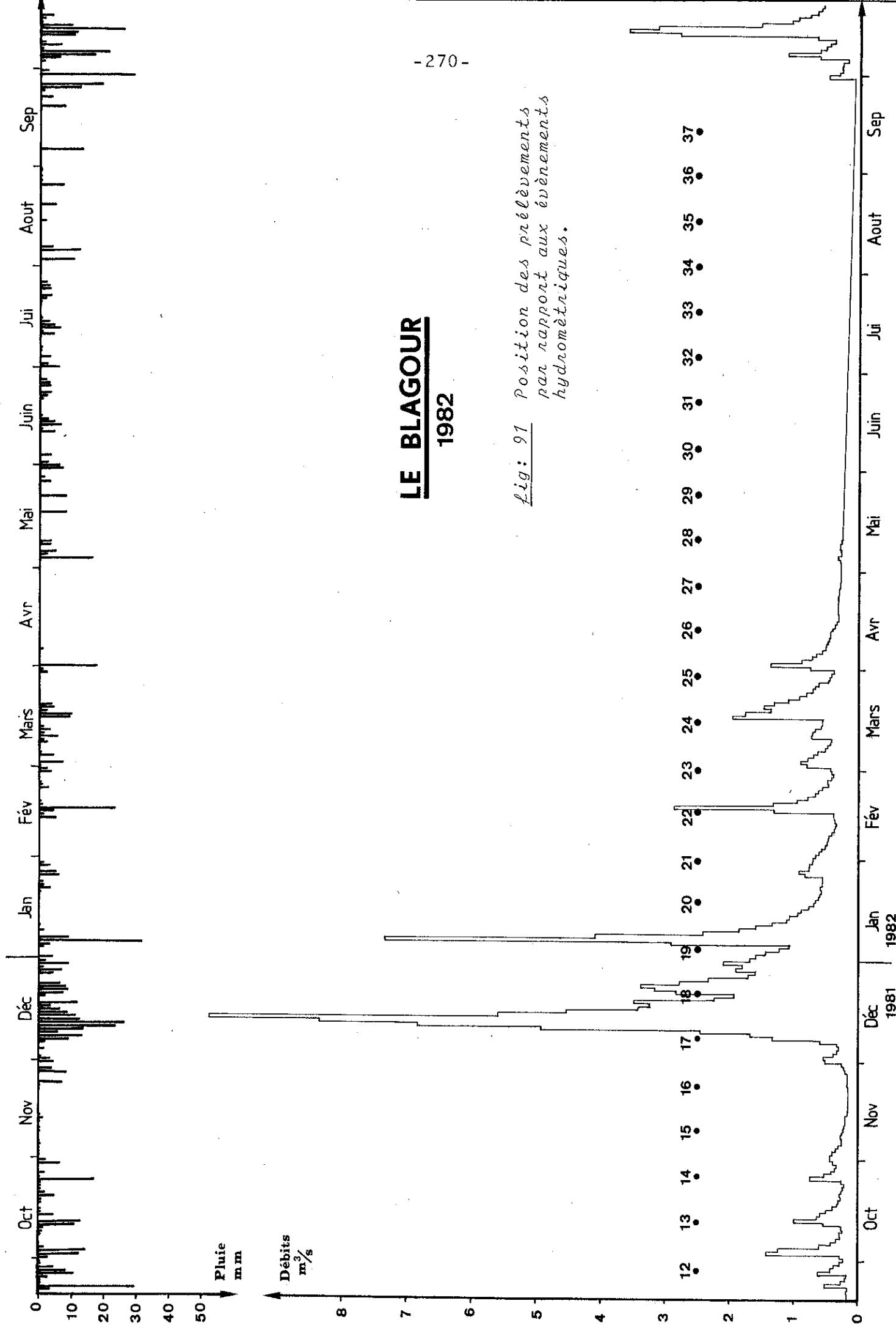


fig: 90 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Blagour (n°1).

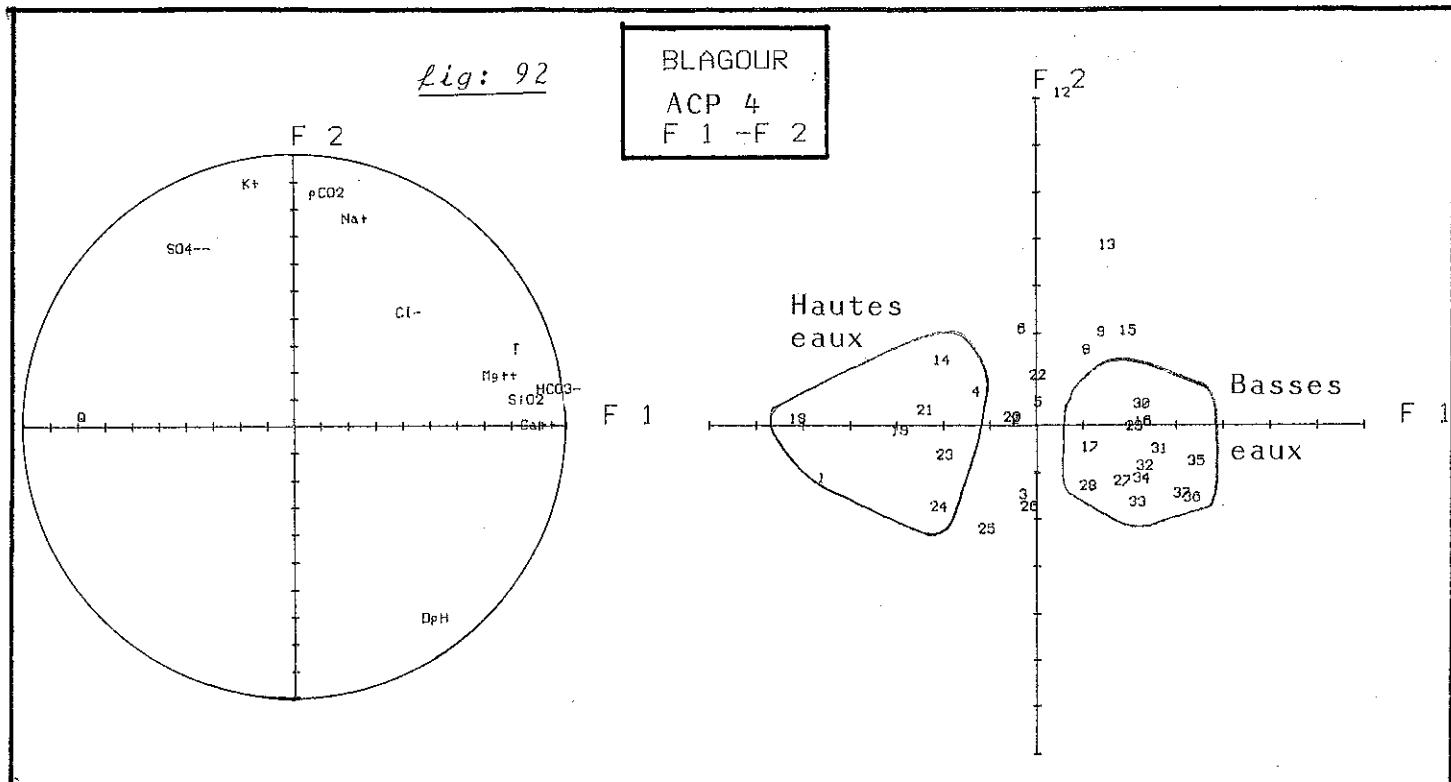
LE BLAGOUR
1982

Fig: 91 Position des prélèvements par rapport aux événements hydrométriques.



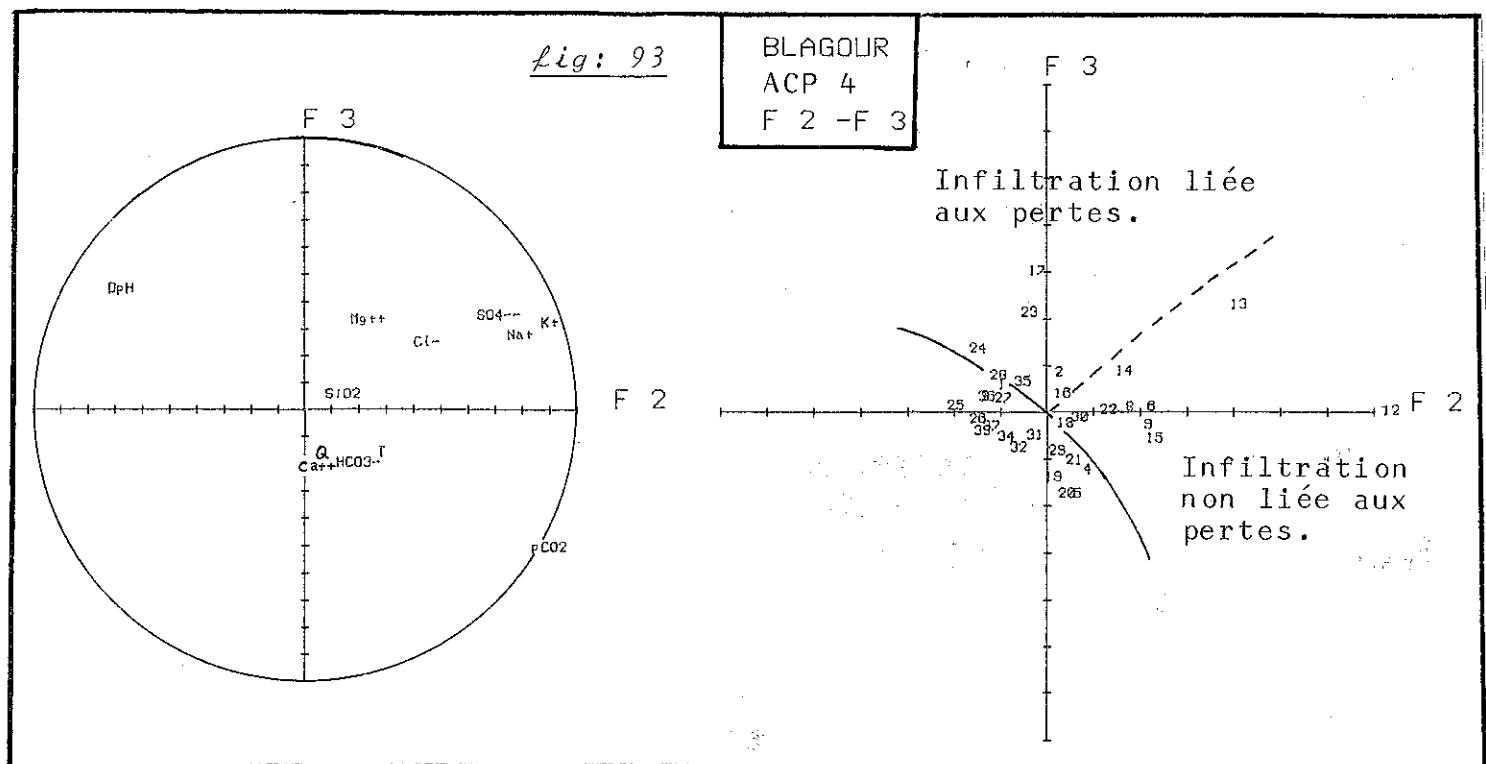
Les figures 92 et 93 permettent de visualiser la projection des US et des variables des plans F1-F2 et F2-F3. Les différents tableaux sont fournis en annexe VIII.

Le facteur F1 exprime 38% de la variance. Dans l'espace des variables, cet axe oppose les ions HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} ,



la silice et la température au débit. Dans l'espace des US, cet axe permet de différencier les eaux d'étiage des hautes eaux hivernales. Les hautes eaux hivernales sont caractérisées par une chute des teneurs en Mg^{2+} , SiO_2 , HCO_3^- et Ca^{2+} et des températures en baisse. A l'opposé, lorsque le débit diminue ces différents paramètres augmentent.

Le facteur F2, exprime 27% de la variance. Il oppose les variables K^+ , pCO_2 , Na^+ et SO_4^{2-} au DpH. Dans l'espace des US, ce facteur permet d'individualiser les premières crues du cycle (automne 1982). Les US 12 et 13, en particulier, se singularisent par une forte augmentation de la pCO_2 équilibrante ainsi que des teneurs en K^+ , Na^+ et SO_4^{2-} , et par une diminution de la sursaturation (Le DpH est pratiquement toujours positif: cf. fig 88, 89, et 90).



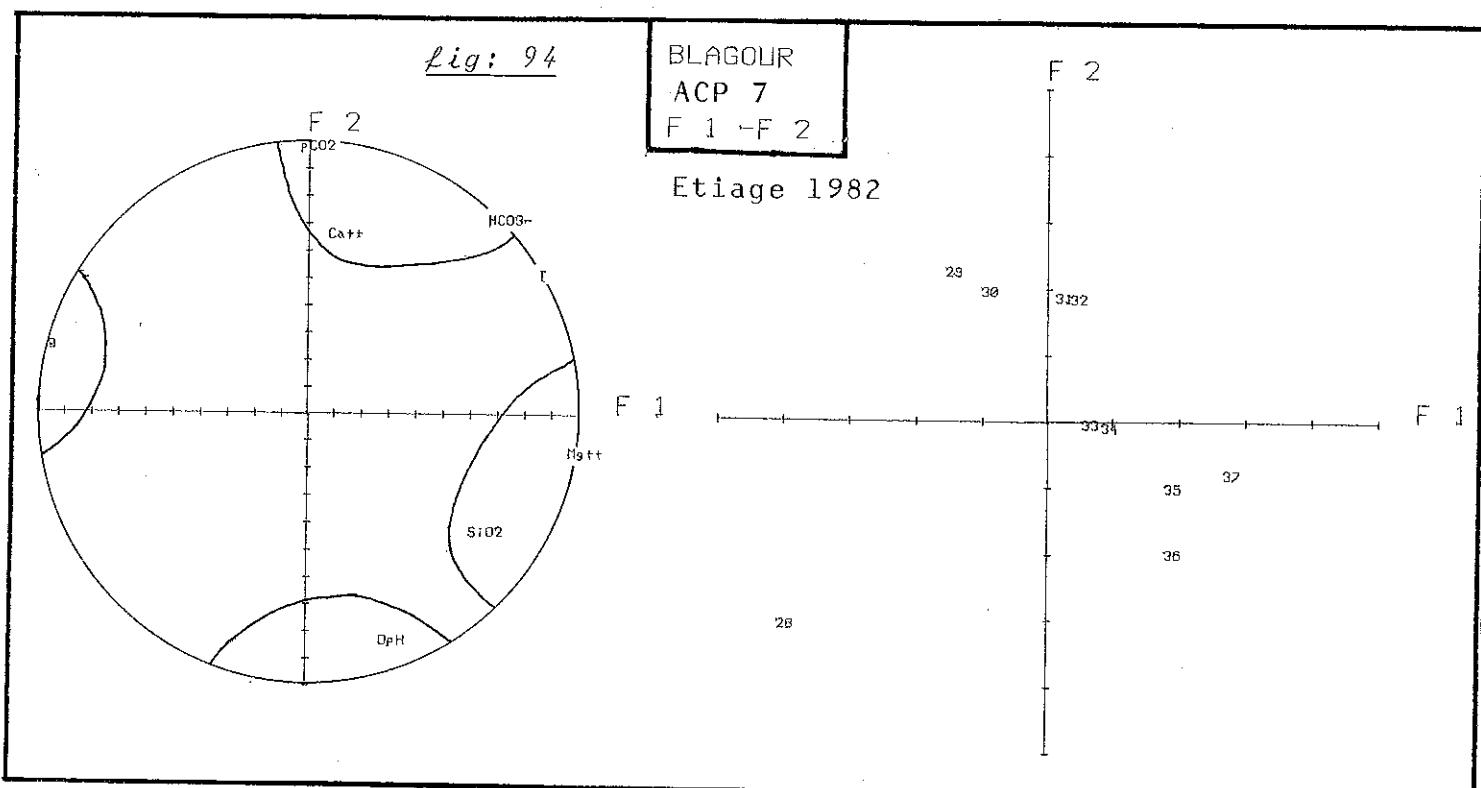
Le facteur F3 décrit 9% de la variance. Dans l'espace des variables, cet axe oppose le DpH et les ions Mg^{2+} , SO_4^{2-} et K^+ à la pCO_2 . Dans l'espace des US le facteur F3 sépare les prélèvements de début de crue (par exemple les US n°17, 13, 23 et 24) des prélèvements de décrue (par exemple US 19-20. cf. fig. 91). Les prélèvements de début de crue sont caractérisés par une augmentation de la sursaturation et des concentrations en Mg^{2+} et SO_4^{2-} (cf. fig. 88, 89, et 90) ainsi que par une diminution de la pCO_2 . En fin de crue, on assiste au phénomène inverse.

Le facteur F4 exprime 7% de la variance. Dans l'espace des variables, il oppose le magnésium au chlorure. L'US 15 est caractérisée par une augmentation de la concentration en magnésium et une diminution de celle des chlorures. L'inverse se produit pour les US 27 et 35 en particulier.

Le facteur F_1 peut être interprété comme le temps de séjour de l'eau dans l'aquifère. En effet, lorsque le débit diminue, donc que l'apport par les précipitations devient négligeable, les concentrations des éléments dont le cinétique de

dissolution est lente augmentent à l'exutoire (Mg^{2+} et SiO_2). De plus, l'augmentation de la température et des concentrations en HCO_3^- et Ca^{2+} permettent la même interprétation. Toutefois, si l'on observe les courbes de variations des ions Ca^{2+} , HCO_3^- et Mg^{2+} (cf. fig. 89) on s'aperçoit qu'à partir du prélèvement 31 l'augmentation des concentrations observées précédemment s'arrête. La concentration en HCO_3^- reste constante alors que celle en Ca^{2+} décroît légèrement. Dans le même temps, les teneurs en Mg^{2+} et SiO_2 continuent à croître.

C'est ce qu'exprime le plan F1-F2 de l'ACP7 (cf. fig. 94 et tableau 32) avec laquelle nous avons étudié les varia-



tions des US 28 à 37 pour les variables pCO_2 , DpH , SiO_2 , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- et le débit Q .

Le facteur F1 (ACP7) oppose le magnésium et la silice au débit. Le facteur F2 (ACP7) oppose la pCO_2 , HCO_3^- et Ca^{2+} au DpH .

Dans l'espace des US, la solution montre une évo-

lution depuis le prélèvement 28, moins minéralisé, jusqu'au prélèvement 32, fortement marqué par l'augmentation de la concentration en ions HCO_3^- et Ca^{2+} . Du prélèvement 32 au 37, seules les variations des ions Mg^{2+} et SiO_2 caractérisent ces US.

Le facteur F1 (ACP7) peut être interprété comme le temps de séjour. Le facteur F2 (ACP7) caractérise pour sa part une évolution des équilibres du système calcocarbonique indépendant du temps de séjour. On peut interpréter l'arrêt de l'augmentation de la minéralisation comme une précipitation de Ca CO_3 par évaporation de CO_2 .

Revenons à l'ACP4. Le facteur F2 caractérise les échanges "air-solution". L'opposition PCO_2 -DpH traduit un appauvrissement en CO_2 de la solution au cours de son transit. Cet appauvrissement ne peut pas être dû à une évolution post-prélèvement puisqu'il est associé à K^+ , Na^+ et SO_4^{2-} . Ces échanges air-solution sont un phénomène majeur dans l'acquisition du chimisme des eaux du Blagour. Ils traduisent la présence d'une phase gazeuse associée, donc la prédominance des mécanismes d'infiltration dans le fonctionnement de cet aquifère. Le DpH est toujours positif. Il est indépendant du temps de séjour. Ainsi, il n'existe pratiquement pas d'eau sous-saturées associées aux hautes eaux (cf. fig. 89).

Les pCO_2 équilibrantes sont tout au long du cycle assez élevées. Les ions K^+ et Na^+ , fortement liés à ce facteur, ont, pour origine comme nous l'avons vu, la partie superficielle de l'aquifère. Les fortes pCO_2 associées à ces éléments et apparaissant lors des premières crues du cycle trouvent donc leur origine dans la partie superficielle de l'aquifère. La présence des sulfates et des chlorures sur cet axe confirme cette interprétation.

Le prélèvement n°12 fortement corrélé à ce facteur possède des teneurs en K^+ de 1.8mg/l. Compte tenu des concentrations observées dans l'eau de pluie (<0.1mg/l) et même en tenant compte de l'évapotranspiration, on ne peut expliquer de telles teneurs que par stockage puis lessivage du potassium au niveau des sols.

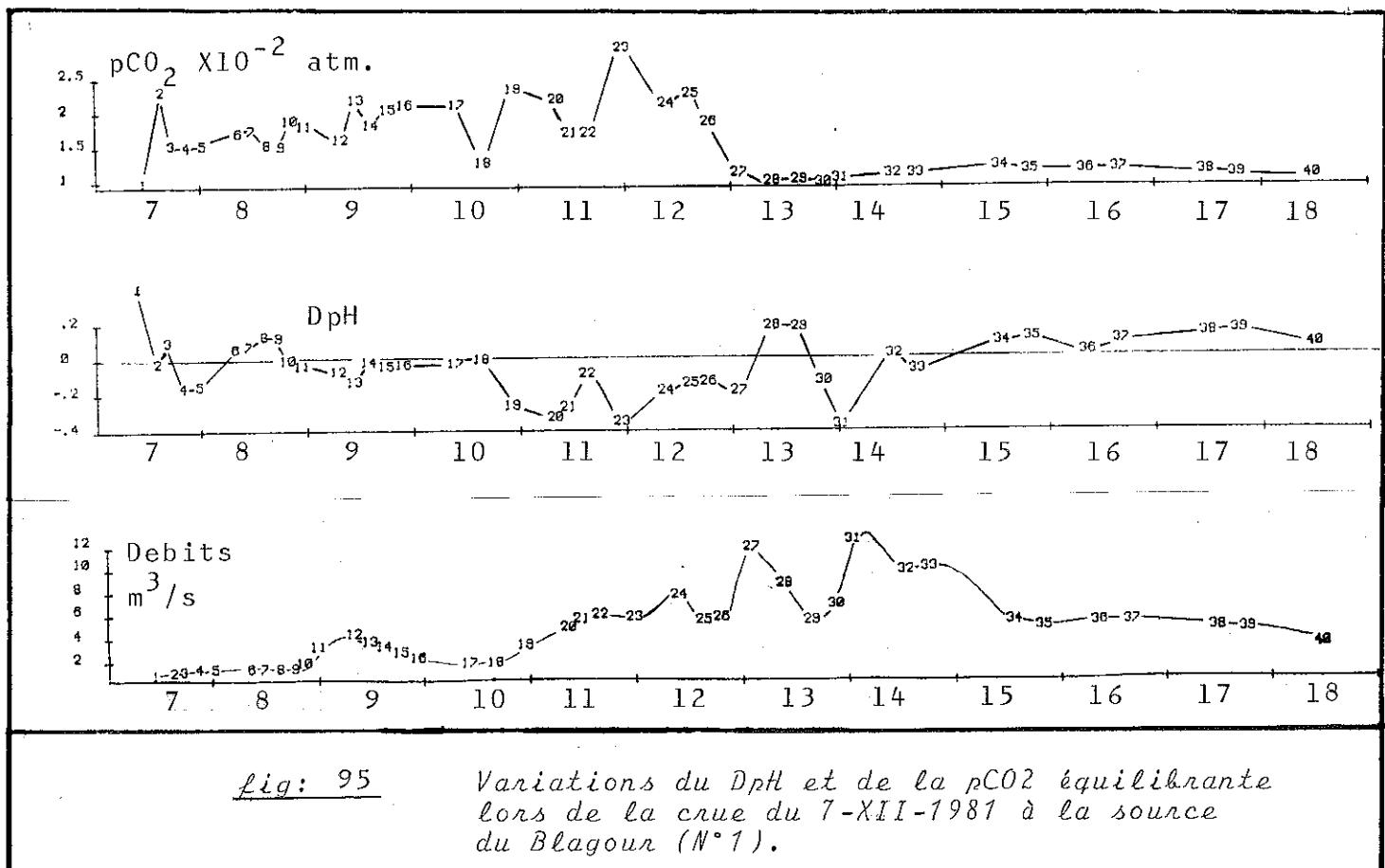
Enfin, l'information liée à la partie supérieure de l'aquifère arrive, lors des premières crues du cycle sans être masquée par le fonctionnement du reste de l'aquifère.

Les premières crues du cycle sont décrites en annexe VIII. Durant ces épisodes de crue, le DpH reste toujours positif (en dehors du prélèvement n°3 de la crue du 22-09-81). Pour ce prélèvement, la valeur du pH est certainement erronée.). Les pCO_2 sont également élevées, 2.5×10^{-2} atm, et l'ordre de grandeur de leurs valeurs reste la même après la crue. Les teneurs en K^+ , Cl^- , Na^+ et SO_4^{2-} restent également élevées. En début de crue il existe un effet de chasse, ou plutôt un maintien des caractéristiques de l'eau d'étiage jusqu'à la pointe de crue.

Le facteur F3 de l'ACP 4 caractérise l'infiltration directe à partir de la Perte de la Couze. En effet, l'association Mg^{2+} - SO_4^{2-} est, comme nous l'avons vu, caractéristique des eaux de l'aquifère de l'Hettangien. La faible pCO_2 équilibrante et la forte sursaturation de ces eaux montrent clairement qu'elles ont transité à l'extérieur de l'aquifère. Cet apport direct par la perte de la Couze est décelable au niveau du Blagour, le plus souvent en début de crues hivernales.

Le facteur F4 est délicat à interpréter; on peut penser qu'il caractérise un mode d'infiltration différent de celui du facteur F3.

A partir du 7-12-81 une suite de crues, associée à une pluviométrie exceptionnelle, a été observée. Les premières crues de cet épisode possèdent les mêmes caractéristiques que les premières crues du cycle (*cf. fig: 95 et crues du 22-09-81 et du 7-12-81; Annexes VIII*). Toutefois, la minéralisation des eaux est plus faible et lors des pointes de crue on observe des DpH nettement inférieurs à zéro traduisant un temps de séjour court. A la fin de cette période pluvieuse, après plusieurs pointes de crue, la pCO_2 décroît brutalement pour se stabiliser aux alentours de 1×10^{-2} atm, comme si le réservoir de CO_2 s'était partiellement vidé. Le DpH reste proche de l'équilibre (*cf. fig: 95*). Les crues suivantes, précédant l'étiage ne provoquent plus de remonté de la pCO_2 .



c) La Cressonnière du Blagour.

Sur les figures 96, 97 et 98 sont présentées les variations saisonnières du chimisme des eaux de la Cressonnière du Blagour. Une observation rapide de ces courbes montre que les variations sont moins brusques et plus faibles que pour la source du Blagour. D'une manière générale les variations du chimisme de cette source semblent lissées.

Les US 36, 37 et 38 montrent de brusques variations en magnésium. Ces variations semblant douteuses, nous avons éliminé ces U.S du traitement statistique. Il en est de même de l'US 11 dont le pH très fort ($= 7.7$) semble erroné (cf. fig: 96, 97 et 98).

Nous emploierons l'ACP 2 (cf. tableau: 32) pour décrire les variations du chimisme de cette source. Le traitement a été poussé jusqu'à quatre facteurs. Ils expriment 77.3% de la

CRESSONNIERE DU BLAGOUR

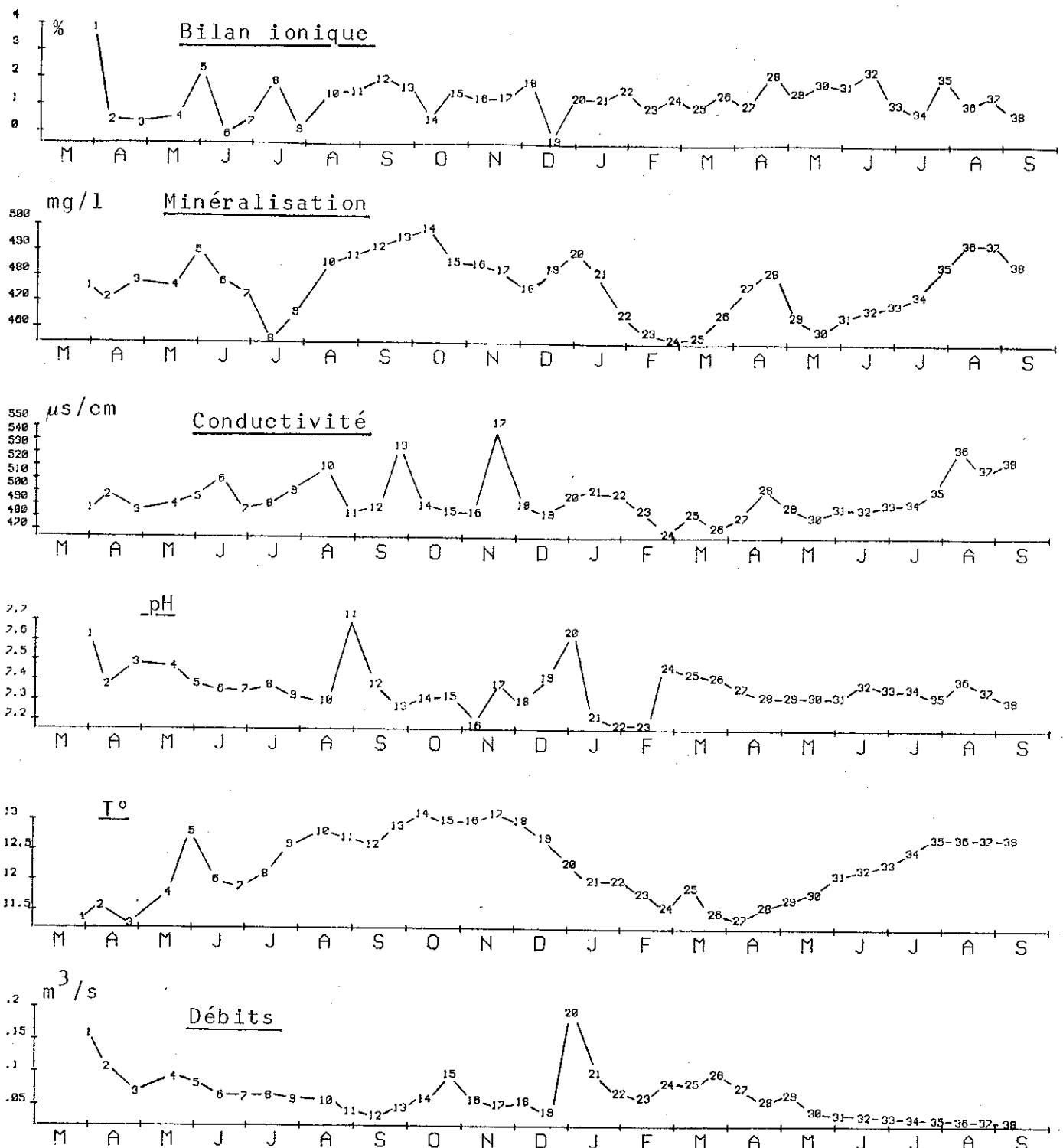


fig: 96

Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Cressonniere du Blagour.

CRESSONNIERE DU BLAGOUR

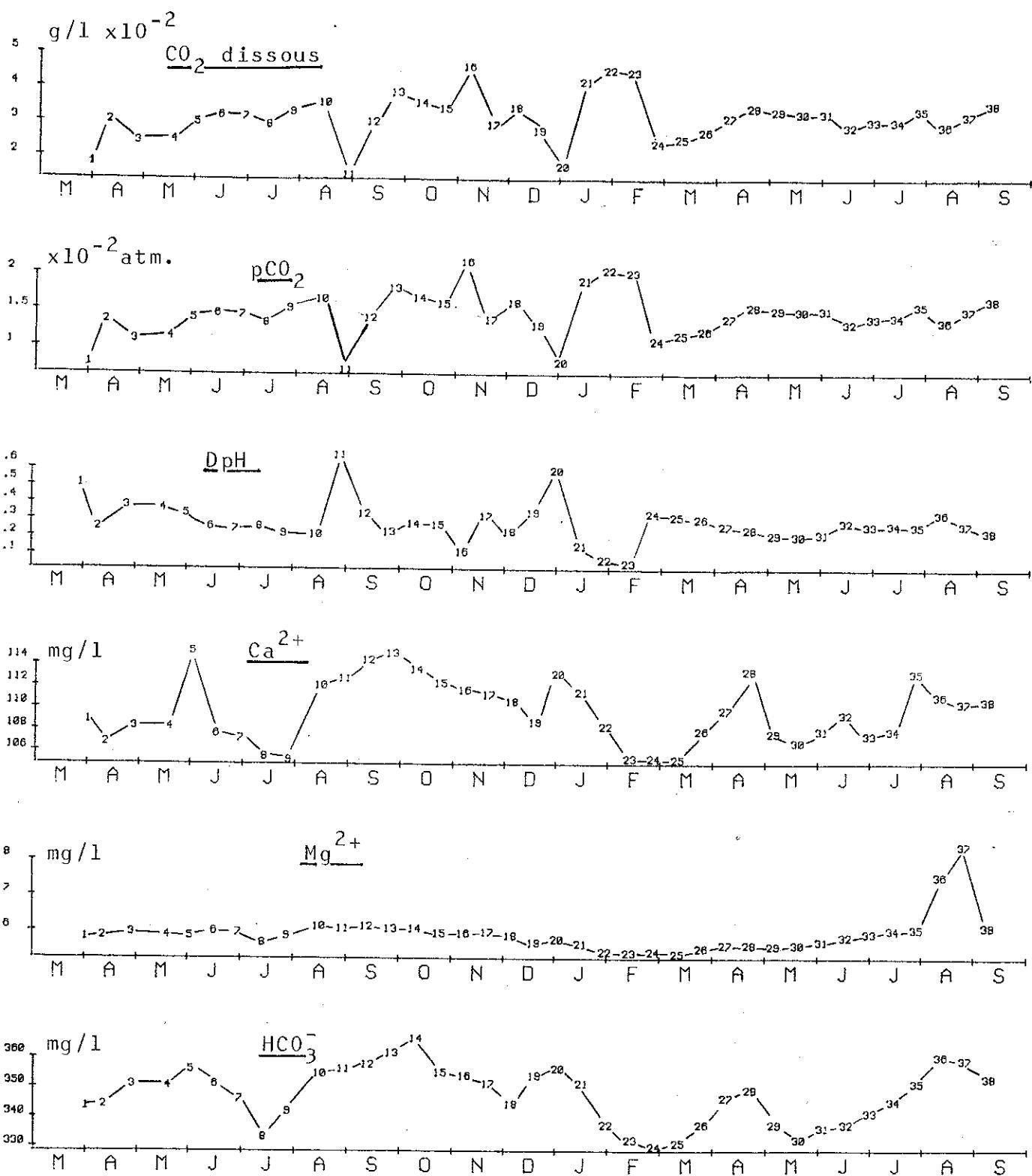


fig: 97 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Cressonnière du Blagour.

CRESSONNIERE DU BLAGOUR

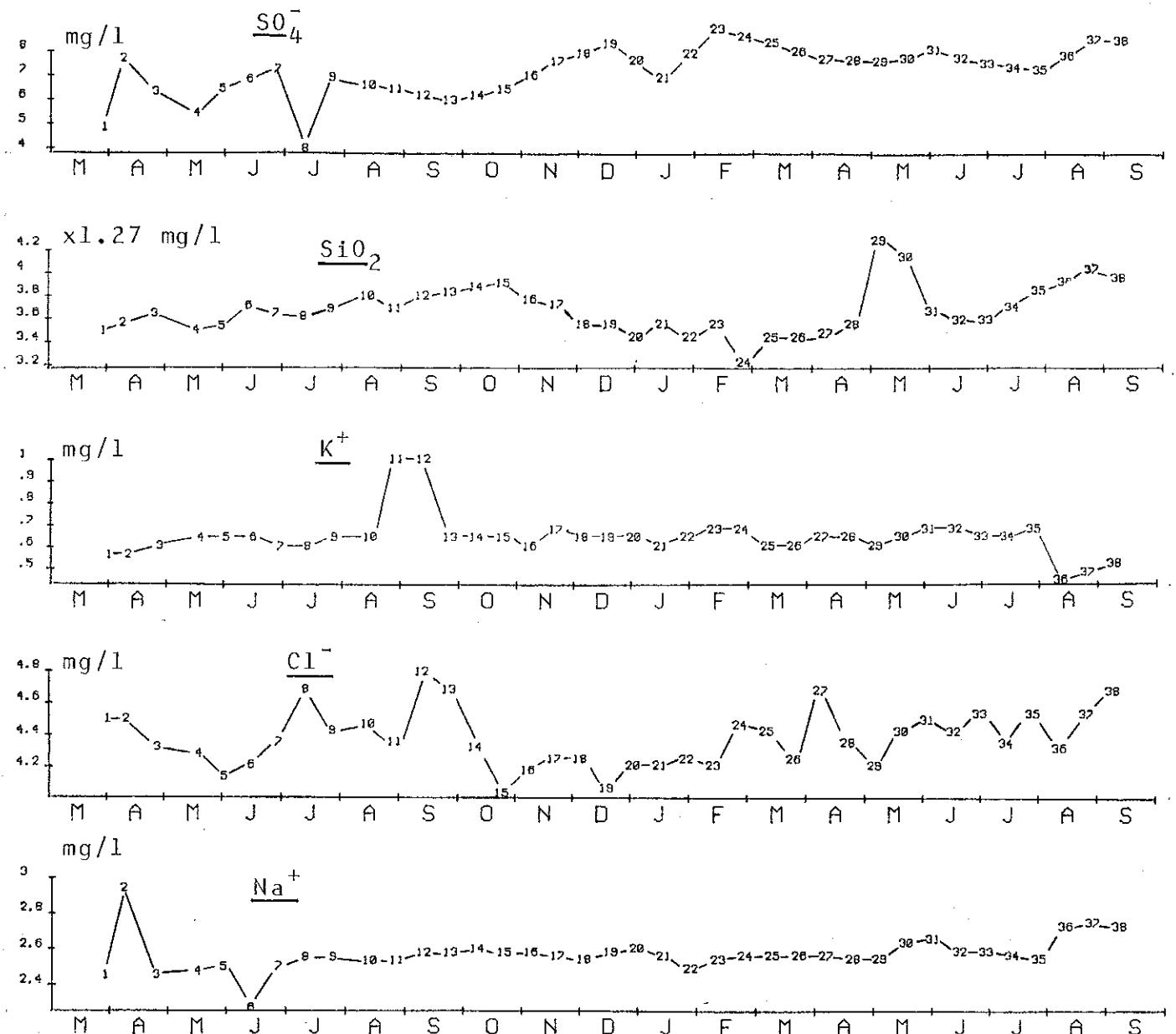
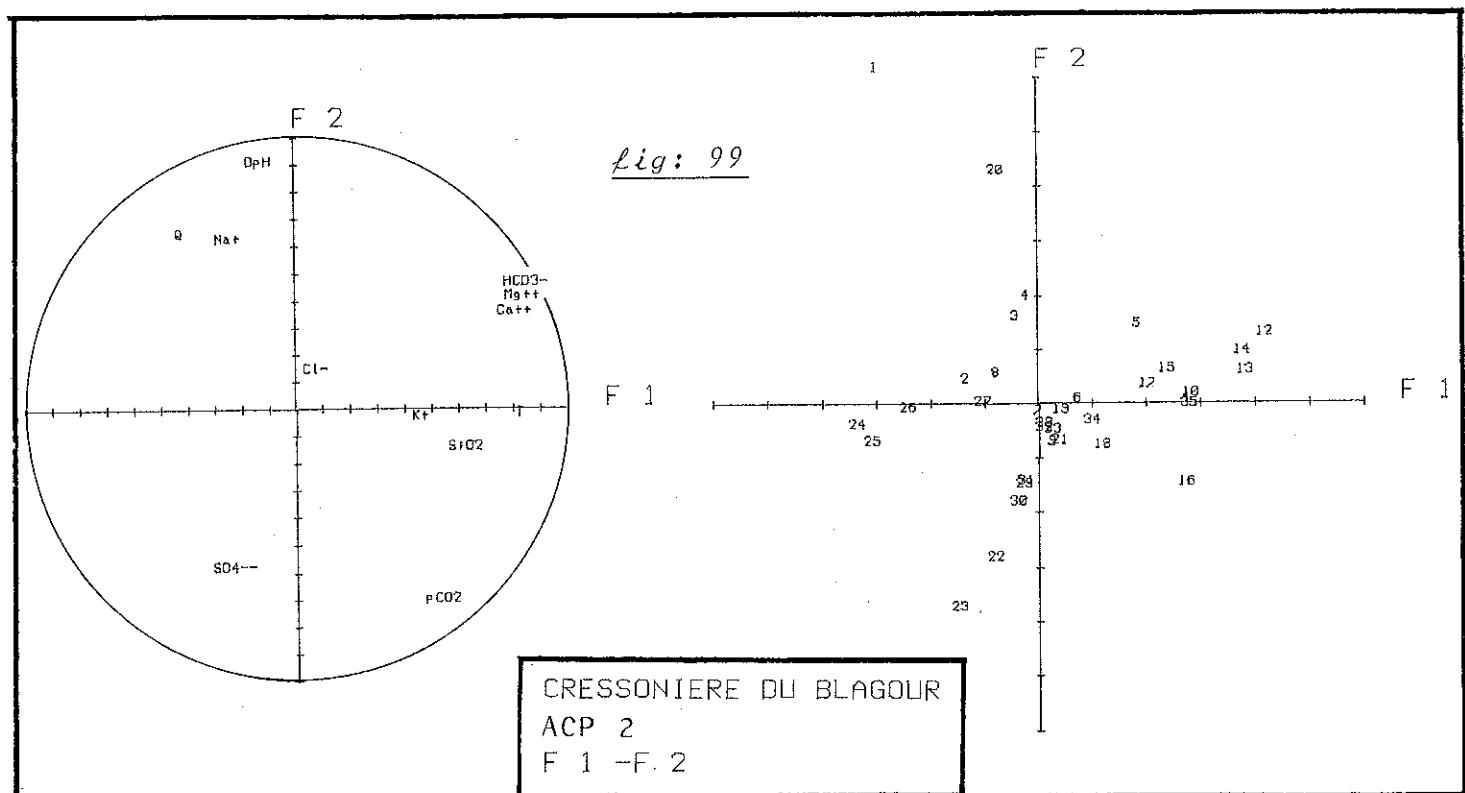


fig: 98

Variations saisonnières du chimisme des eaux
de la Cressonnière du Blagour.

variance totale. Au contraire de ce qui se passe au Blagour, où la structure est relativement bien marquée, les variations du chimisme de la Cressonnière du Blagour sont peu structurées; de nombreux facteurs sont responsables de ces variations.

Le facteur F1 (cf. fig:99), qui exprime 29.5% de la variance totale, regroupe vers son extrémité positive les ions



HCO_3^- , Ca^{2+} et Mg^{2+} ainsi que la silice et la température. Aucun élément n'est inversement corrélé à ce groupe de variables.

Dans l'espace des US le facteur F1 oppose les eaux du début de cycle aux hautes eaux hivernales. Les eaux du début de cycle sont marquées par une forte minéralisation. Les hautes eaux hivernales sont peu minéralisées.

Le facteur F2, qui exprime 24% de la variance, oppose le débit, le DpH et le sodium aux sulfates et à la pCO_2 .

Dans l'espace des U.S., ce facteur oppose les hautes eaux de décembre à la période de basses eaux hivernales observées en janvier et février. En particulier, l'U.S. 20 montre un débit très important associé à une baisse de la pCO_2 et à une augmentation de la sursaturation.

Le facteur F3 exprime 13% de la variance. Corré-lées positivement à cet axe, on trouve Cl^- et K^+ . Le débit, bien que mal exprimé, s'oppose à ces éléments.

De ce fait, dans l'espace des US, les prélèvements associés aux premières crues du cycle, marqués par une augmentation des teneurs en chlorures et en potassium, s'opposent aux hautes eaux (US 15 et 20).

Le facteur F4 n'a pas été interprété.

L'interprétation de cette ACP est la suivante:

Le facteur F1 peut être interprété comme le temps de séjour puisque les éléments à cinétique de dissolution lente (SiO_2 , Mg^{2+}) lui sont corrélés. La présence de HCO_3^- et Ca^{2+} confirme cette interprétation. Toutefois, le débit est mal exprimé par ce facteur. Si on observe les courbes de variation (*cf. fig. 96 et 86*) on remarque qu'il existe un déphasage entre l'acquisition de la minéralisation et son observation à l'exutoire. Il faut noter l'absence d'eaux sous-saturées.

Les échanges "air-solution" aboutissant comme au Blagour, à un appauvrissement en CO_2 de la solution au cours de son transit sont caractéristiques du facteur F2. Toutefois, ils ne se produisent pas à la même période du cycle. Là encore apparaît le déphasage, puisque, à ce facteur, est associé le débit. Enfin les pCO_2 équilibrantes sont plus faibles qu'au Blagour.

Le facteur F3 pourrait être rattaché à une modalité d'infiltration, mais cette information n'apparaît pas nettement à l'exutoire.

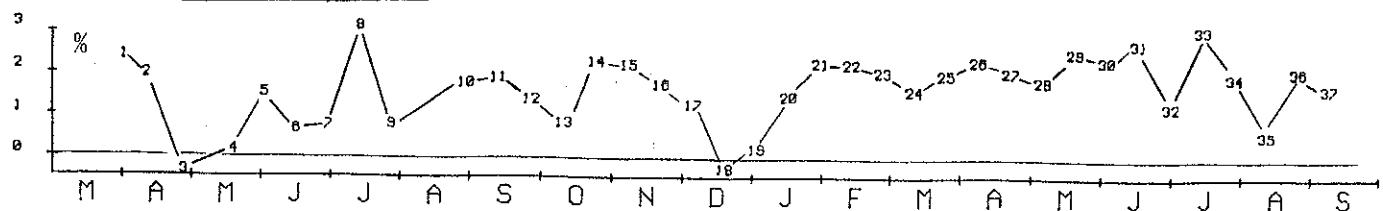
d) La source de Fontille

Les courbes des variations saisonnières du chimisme des eaux de la source de Fontille sont regroupées sur les figures 100, 101 et 102. Ces variations sont décrites par l'ACP3 (*cf. tableau 32*).

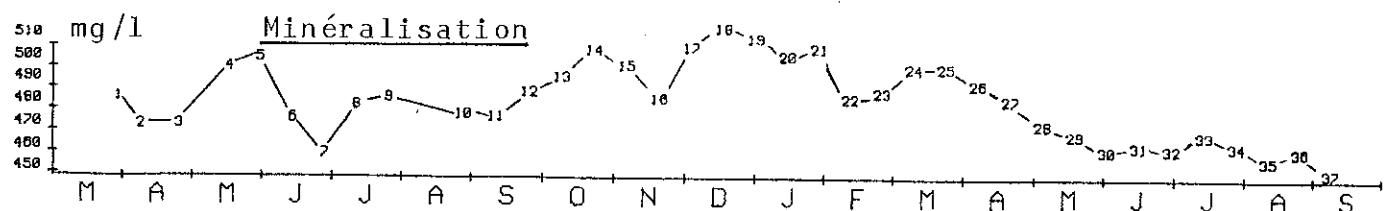
Le facteur F1 exprime 53.5% de la variance totale. Corré-lées positivement à cet axe se trouvent Mg^{2+} , SiO_2 , Na^+ et Cl^- . Corré-lées négativement, on trouve Ca^{2+} , HCO_3^- et le débit (*cf. fig. 103*). Dans l'espace des US cet axe permet de différencier les eaux d'étiage, marquées par une baisse des teneurs en

FONTILLE

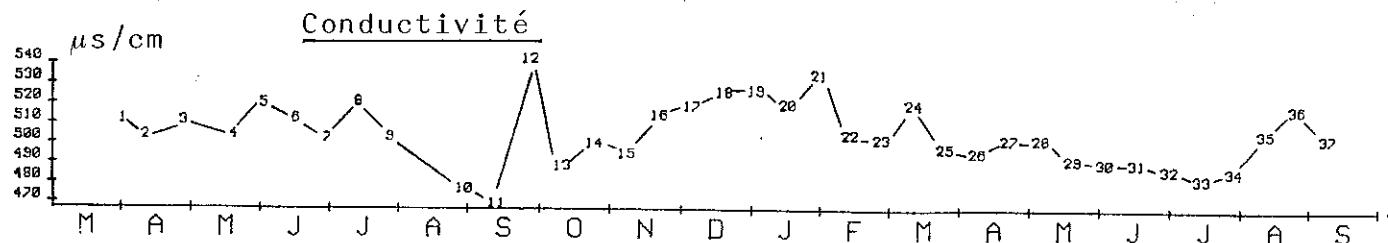
Bilan ionique



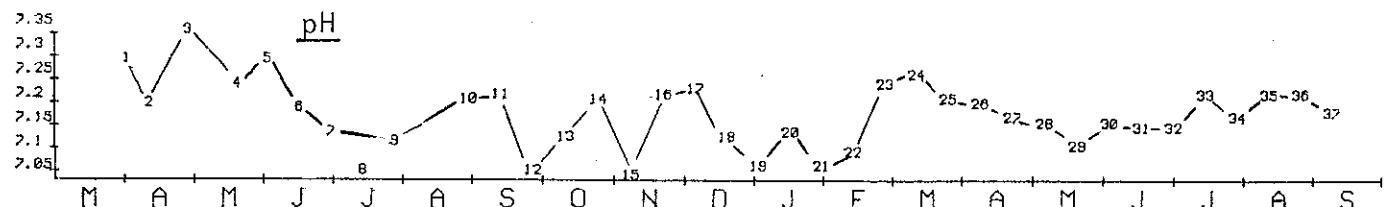
Minéralisation



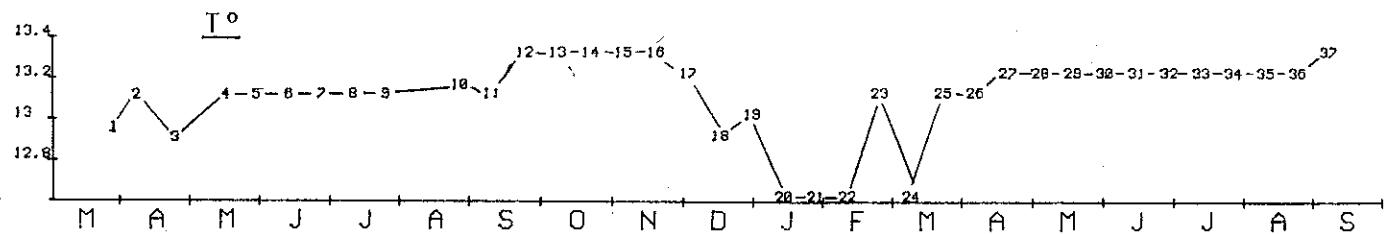
Conductivité



pH



T°



m³/s

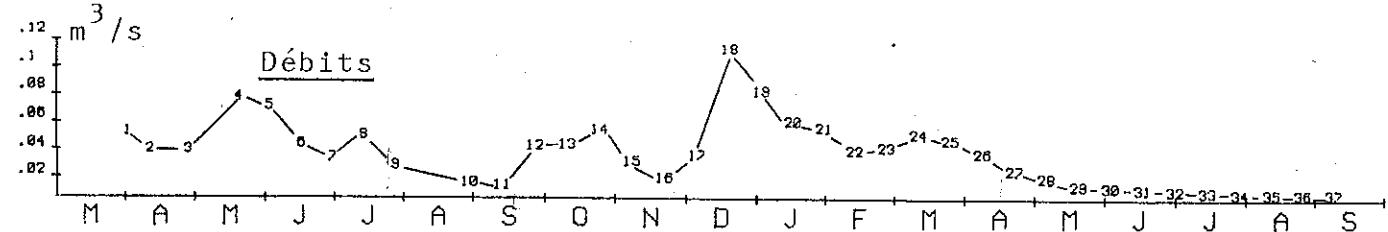


fig: 100

Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source de Fontille.

FONTILLE

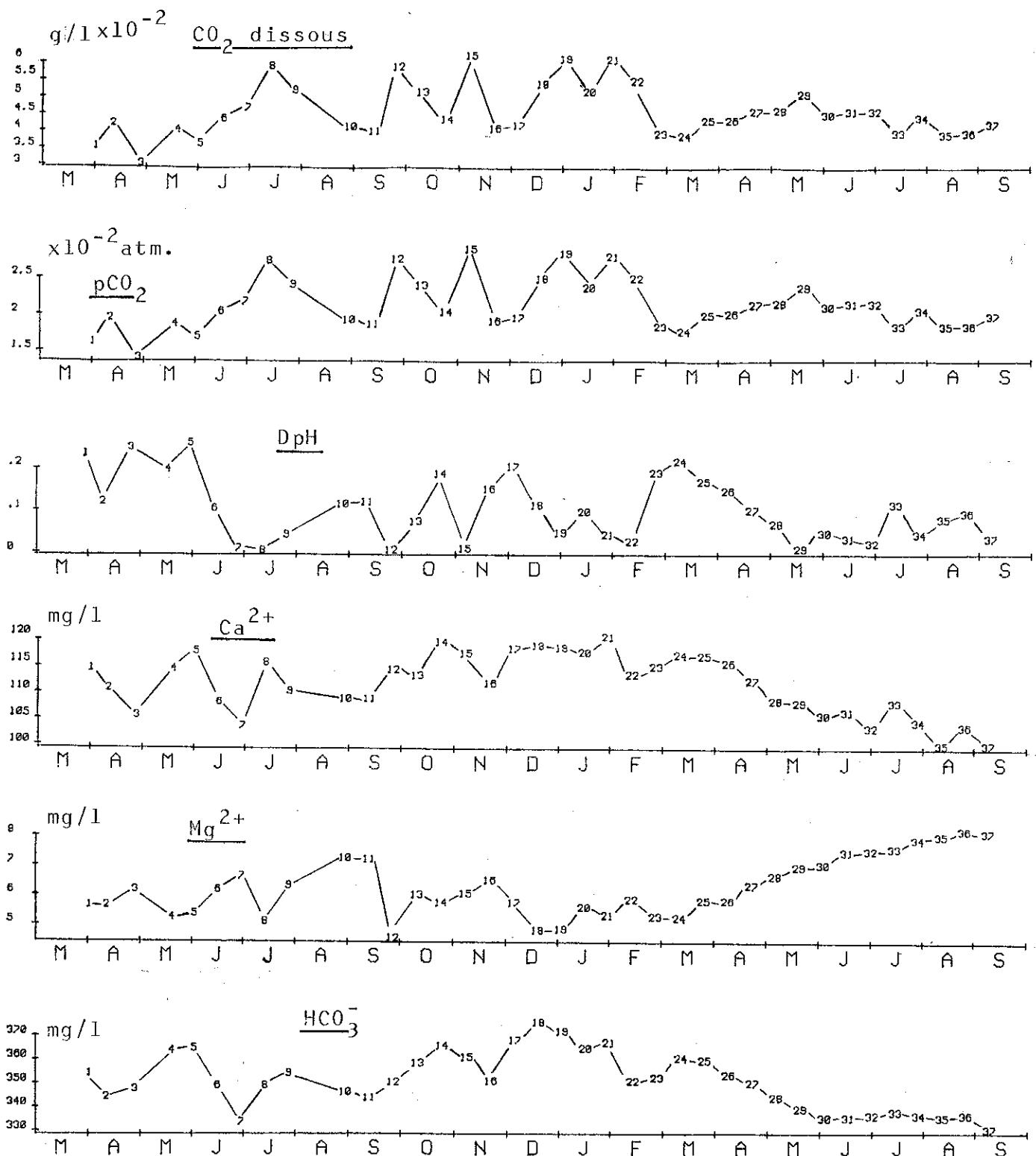


fig: 101

Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source de Fontille.

FONTILLE :

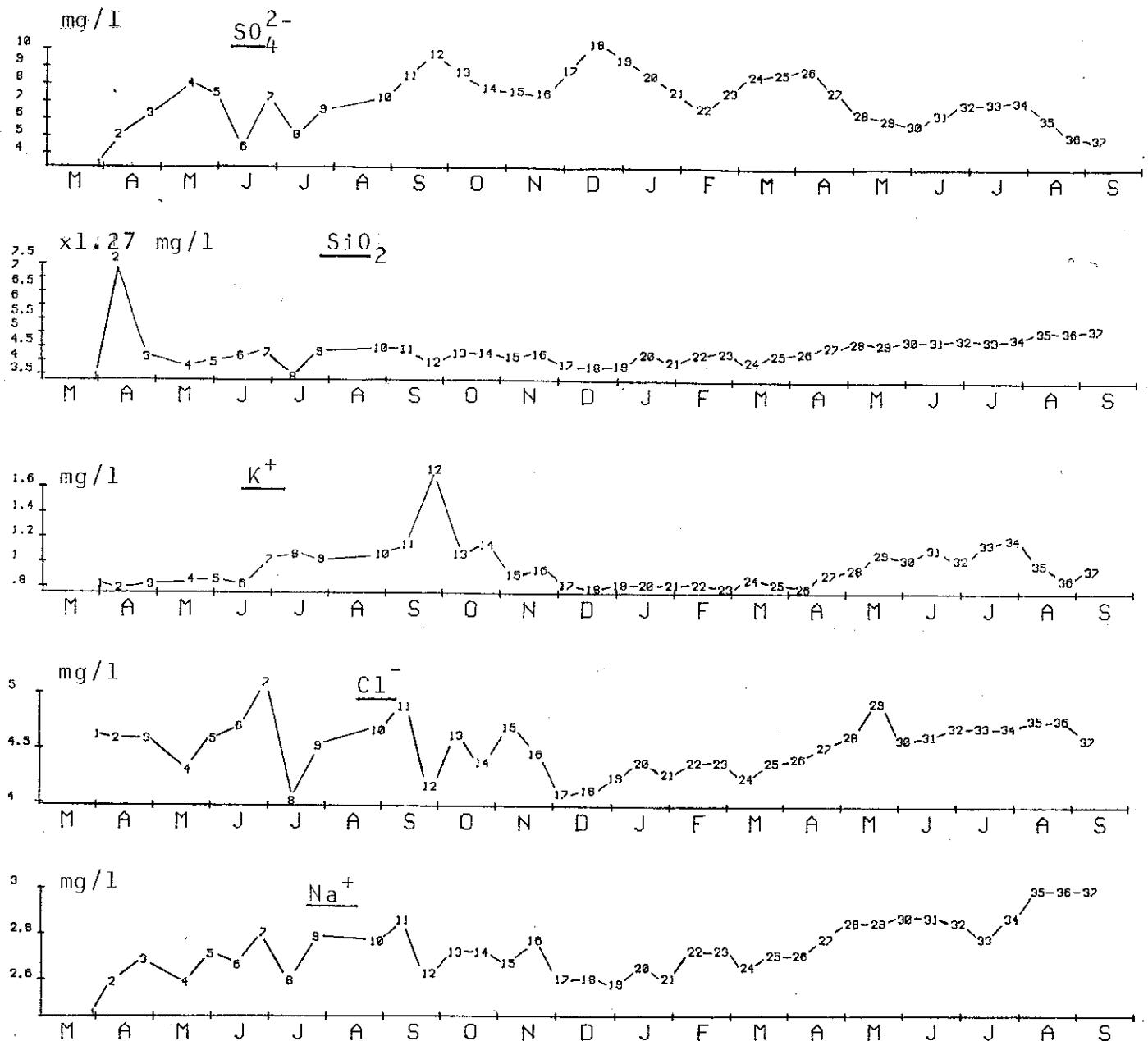
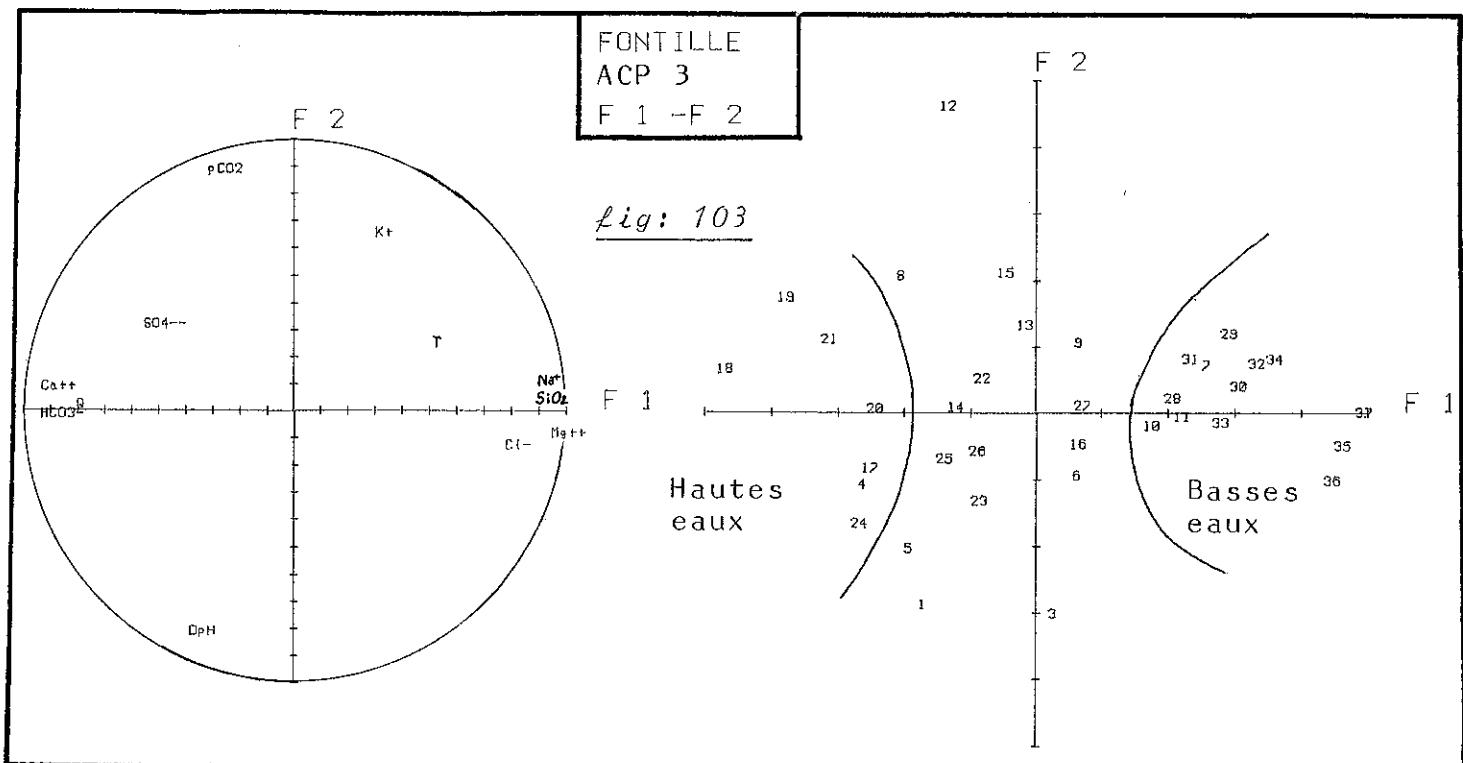


fig: 102 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source de Fontille.



HCO_3^- et Ca^{2+} et une augmentation en Na^+ , SiO_2 , Cl^- et Mg^{2+} , des hautes eaux hivernales dont les teneurs en ions HCO_3^- et Ca^{2+} sont plus fortes qu'en étiage.

Le facteur F2 exprime 17% de la variance totale. Il oppose les variations de la pCO_2 et du potassium au DpH. Comme pour la source du Blagour, ce sont les premières crues du cycle qui représentent le mieux ce type d'eau (US-12). Toutefois, le nombre des prélèvements marqués par cette association est plus faible. Cette information semble altérée par rapport aux sources précédentes.

Le facteur F3 exprime 9% de la variance totale. Les variations du DpH, de la température, des sulfates, et du potassium s'opposent à celles de la pCO_2 . Dans l'espace des US, les hautes eaux sont associées aux augmentations de la pCO_2 , et la fin des premières crues du cycle aux augmentations de DpH, T, SO_4^{2-} et K^+ .

Comme pour les autres sources, le facteur F1 représente le temps de séjour de l'eau dans l'aquifère, puisque

le magnésium et la silice lui sont associés. Toutefois, ce facteur temps de séjour diffère de celui du Blagour par deux points:

- 1° Le calcium et les carbonates sont corrélés au débit.
- 2° Les ions Na^+ et Cl^- , caractérisant habituellement des eaux provenant de la surface, apparaissent dans les eaux d'étiage.

La baisse des concentrations en Ca^{2+} et HCO_3^- durant l'étiage peut être interprétée comme la précipitation de Ca CO_3 par évaporation du CO_2 de la solution. Les eaux d'étiage possèdent des pCO_2 équilibrantes relativement basses par rapport au reste du cycle et le DpH reste proche de zéro; l'équilibre avec la nouvelle phase gazeuse est donc réalisé avant l'exutoire. En hautes eaux, cet équilibre par précipitation n'est pas atteint et la solution est sursaturée.

L'information liée à la zone superficielle de l'aquifère apparaît durant l'étiage et est associée à des marqueurs de temps de séjours longs (SiO_2 , Mg^{2+}). Il semble donc qu'en étiage l'eau qui émerge à la source de Fontille ait transité à proximité de la surface. La majorité de la minéralisation est acquise dans cette zone. Avant son arrivée à l'exutoire, l'eau rencontre des zones relativement aérées, il y a dégazage et le transit est suffisamment lent pour que l'équilibre soit atteint.

Le facteur F2 caractérise les échanges air-solution. Les fortes pCO_2 sont liées à la zone superficielle comme au Blagour. Toutefois, l'information liée à cette zone apparaît à deux périodes distinctes et selon deux types de fonctionnement. En effet, les concentrations de l'ion K^+ , par exemple, augmentent pendant les premières crues du cycle, mais également durant l'étiage.

Le facteur F3 caractérise les eaux d'infiltration. Cette information est fortement déformée avant son arrivée à l'exutoire. Il existe un déphasage entre l'augmentation des débits et la baisse de la température et des éléments marquant les eaux d'infiltration.

e) L'Event d'Entrecors

Les courbes des variations saisonnières du chimisme de l'eau de l'Event d'Entrecors sont présentées sur les *figures 104, 105 et 106*.

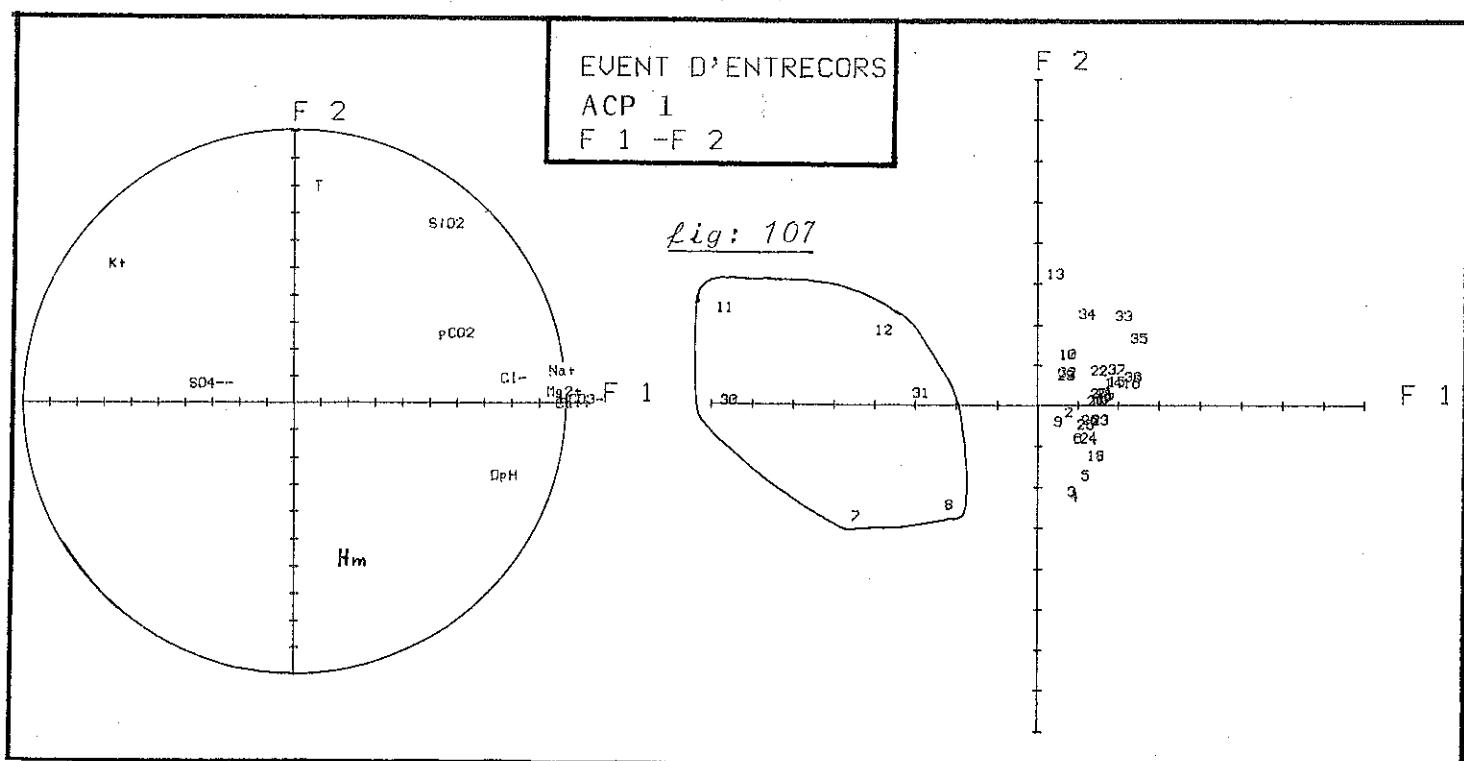
La minéralisation chute brutalement à trois reprises; fin juin 1981 (US7), mi-septembre 1981 (US 11-12-13) et début juin 1982 (US 30,31). Ces valeurs basses de la minéralisation ne sont pas associées à des augmentations de la hauteur limnimétrique et n'apparaissent qu'en basses eaux (*cf. fig. 104*).

Toutefois, ces décroissances brutales de la minéralisation peuvent être associées à des pluies importantes ayant affecté cette région sans pour autant déclencher de crues.

Lors de ces chutes de la minéralisation, les concentrations de tous les ions décroissent, sauf celles du potassium qui croît jusqu'à 3.5mg/l.

On peut interpréter ce phénomène comme un fonctionnement en perte de l'Event d'Entrecors (entrée du système). Ce fonctionnement n'est chimiquement décelable qu'en basses eaux car les relations de l'Event d'Entrecors avec l'aquifère sous-jacent sont mauvaises à cette période du cycle.

Le facteur F_1 de l'ACP1 présenté sur la *figure 107*



EVENT D'ENTRECORS

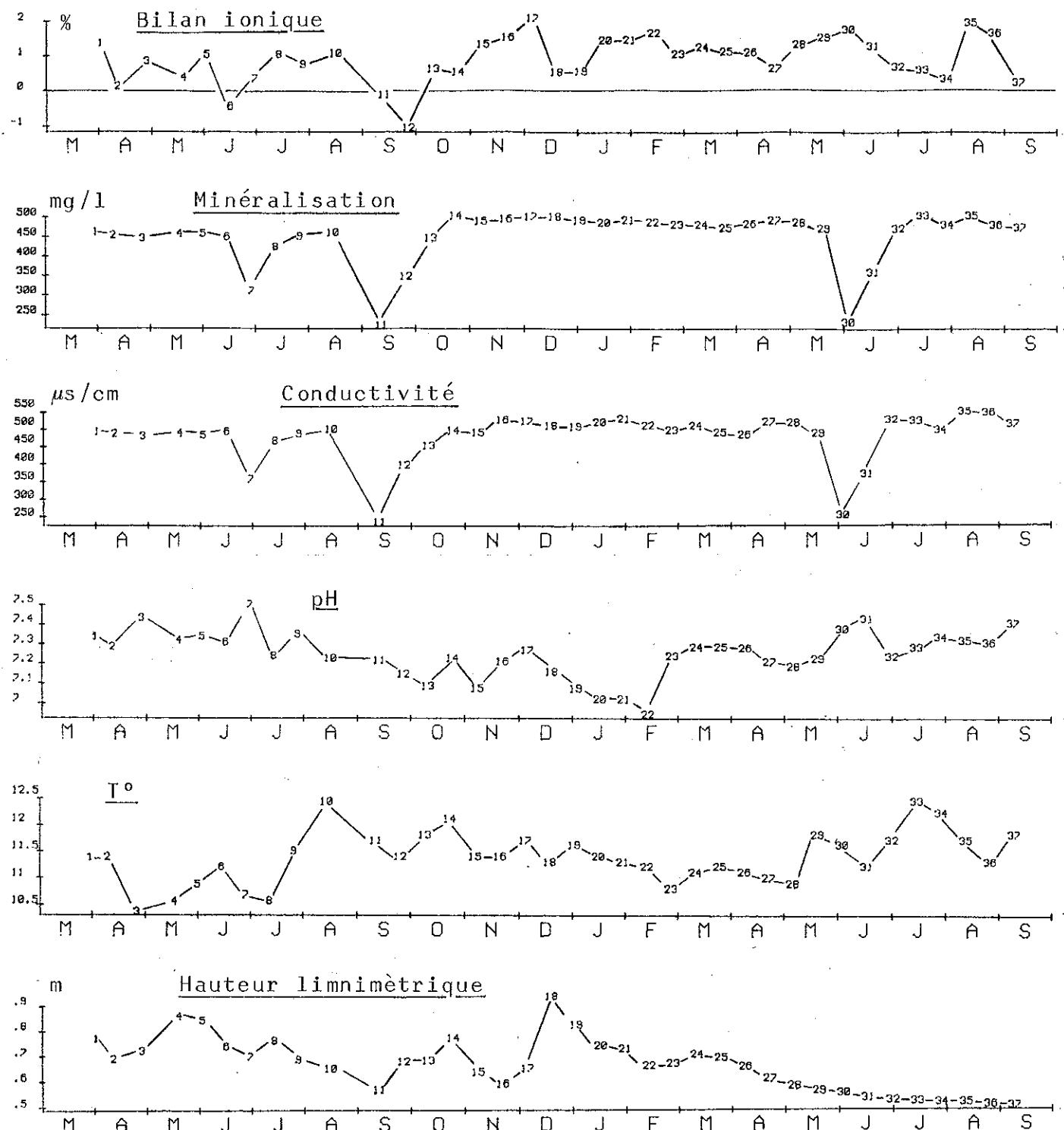


fig: 104 Variations saisonnières du chimisme des eaux de l'Event d'Entrecors.

EVENT D'ENTRECORPS

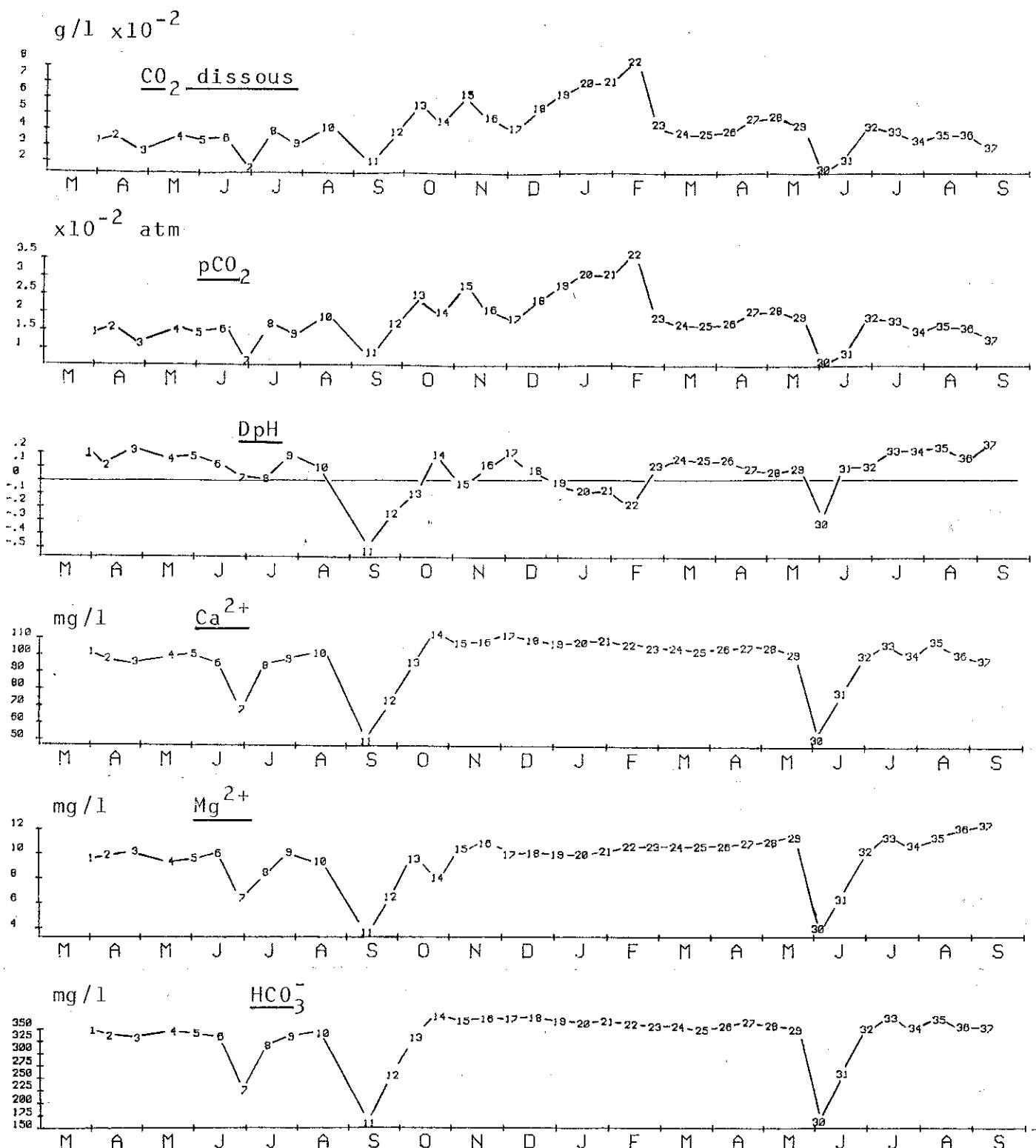


fig: 105 Variations saisonnières du chimisme des eaux de l'Event d'Entrecors.

EVENT D'ENTRECORS

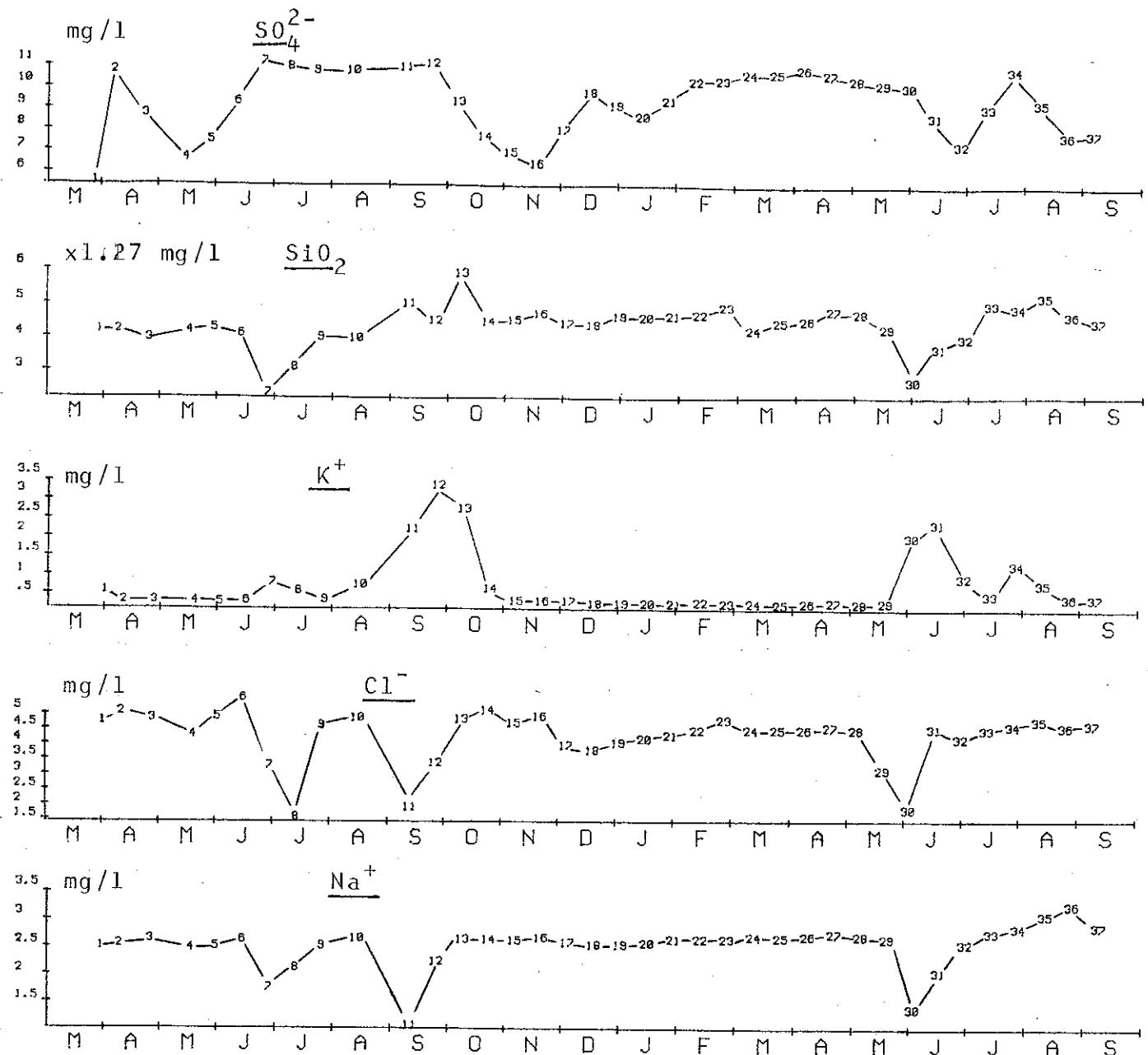


fig: 106 Variations saisonnières du chimisme des eaux de l'Event d'Entrecors.

exprime ce fonctionnement en "perte" de l'Event d'Entrecors. Dans l'espace des US, les prélevements caractéristiques du fonctionnement comme "perte" de l'Event d'Entrecors s'individualisent très bien le long de la partie négative de l'axe F1.

Le facteur F2 opposant la température aux hauteurs limnimétriques (H_m) représente certainement le temps de séjour. Toutefois, le fonctionnement complexe de cet Event en rend délicate l'interprétation.

f) Synthèse

A partir de l'étude des variations chimiques des eaux de la source du Blagour (n°1), exutoire principal du système du Blagour, il apparaît que ce système possède, des structures dont l'organisation est bien développée. En effet, les informations géochimiques liées, soit à la zone d'infiltration, soit à l'apport de ruissellement de surface par des pertes, apparaissent distinctement à l'exutoire. Ainsi, il n'y a pas homogénéisation des eaux avant leur sortie du système. Les informations géochimiques s'individualisent bien à l'exutoire. Ces informations sont les suivantes:

1° En étiage, les eaux apparaissant à l'exutoire, ont séjourné longuement dans le système. L'augmentation des teneurs en Mg^{2+} et SiO_2 en sont une preuve. Toutefois, une altération de cette information intervient à la fin de l'étiage par la précipitation de $CaCO_3$ due à une évaporation de CO_2 . Ainsi, l'eau, dont le temps de séjour est long dans l'aquifère, transite lentement dans des structures karstiques relativement pauvres en CO_2 donc aérées. Au début des premières crues du cycle, il existe un effet de chasse, maintenant jusqu'à la pointe de crue la valeur d'étiage de la minéralisation. Il faut donc en déduire que l'eau d'étiage est stockée à l'aval. La zone pauvre en CO_2 est donc située non loin de l'exutoire puisque l'information liée à cette zone arrive la première à la sortie du système.

2° Lors des premières crues du cycle, après l'effet de chasse, apparaissent des eaux fortement marquées par des éléments provenant de la partie superficielle de l'aquifère. De plus, elles témoignent d'un transit dans une zone riche en CO_2 . Leur minéralisation est assez importante. On en déduit qu'il

existe en surface une zone riche en CO_2 , en relation avec la végétation et dans laquelle l'eau acquiert une minéralisation carbonatée relativement importante. Ces eaux sont, soit à l'équilibre, soit sursaturées par rapport à la calcite. L'existence d'une hétérogénéité spatiale dans la répartition du CO_2 peut être à l'origine d'un dégazage permanent provoquant cette sursaturation des eaux. Cependant, la minéralisation relativement importante est l'indice d'un temps de séjour assez long dans cette zone. La partie superficielle de l'aquifère riche en CO_2 par laquelle transittent la plupart des eaux d'infiltration s'appauvrit en CO_2 pendant les épisodes pluvieux hivernaux.

3° Durant les hautes eaux hivernales apparaissent en début de crue à l'exutoire les eaux de l'aquifère héttangien situé sur les formations du Bassin de Brive. Ensuite, les eaux peu minéralisées et froides provenant du ruissellement de surface font chuter la température et la minéralisation. Cet apport par la perte de la Couze semble jouer un rôle important sur les variations chimiques des eaux du Blagour.

La Cressonnière du Blagour ne présente pas les mêmes caractéristiques que la source du Blagour. Les variations sont faibles et lissées. Les variations de la minéralisation ne sont pas corrélées à celles du débit. Ainsi, la Cressonnière du Blagour apparaît comme l'exutoire d'une partie mal drainée du système du Blagour. Toutefois, elle est en relation avec la zone superficielle de l'aquifère, qui dans le cas de cette source est peu riche en CO_2 . De plus, il existe également une zone plus pauvre en anhydride carbonique (CO_2) dans laquelle se produit une évaporation de gaz carbonique. Aucun phénomène de précipitation n'altère la minéralisation des eaux d'étiage.

La source de Fontille présente des caractéristiques hydrogéochimiques plus proches de celles du Blagour. Toutefois, deux informations diffèrent de celles que l'on tire des observations du Blagour :

1) La minéralisation en étiage est plus faible qu'en hautes eaux. Ceci est dû à la précipitation de CaCO_3 par évaporation de CO_2 . Les eaux d'étiage sont tout de même des eaux à temps de

séjour long puisque les éléments à cinétique de dissolution lente apparaissent en forte concentration durant cette période.

2° Les eaux d'étiage sont marquées par les éléments liés à la zone superficielle de l'aquifère.

Il faut en déduire que dans la région de la source de Fontille il existe des structures à écoulements lents, aérées et proches de la surface.

En conclusion, le système du Blagour apparaît hétérogène. Il semble exister deux zones à transits lents. La première, située à proximité de la surface, est riche en CO_2 . La seconde, située plus à l'aval, est relativement pauvre en CO_2 . Entre ces deux zones et même, peut-être, indépendamment, il existe des structures de drainage bien organisées.

En dehors de ces structures, l'organisation des écoulements est médiocre, en particulier à l'aval du système.

5.5.3.2 Le système du Sorpt

Un seul point d'observation au niveau de l'exutoire principal nous permet d'étudier ce système. Les figures 108, 109 et 110 présentent les variations saisonnières du chimisme des eaux du Sorpt. La figure 111 replace les différents prélèvements dans leur contexte hydrologique.

L'ACP2 (cf. tableau 32) va nous permettre de décrire synthétiquement les variations du chimisme des eaux de cette source. De plus, trois crues sont décrites en annexe VIII.

La structure des données n'est pas très forte car les quatre facteurs principaux rendent compte de moins de 80% de la variance totale.

Le facteur F1 (cf. fig. 112) exprime 40.6% de la variance totale. Dans l'espace des variables, l'axe F1 oppose Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , le débit et la pCO_2 équilibrante à Mg^{2+} , SiO_2 et à la température. Dans l'espace des US, cet axe permet de différencier les eaux d'étiage, caractérisées par une augmentation des concentrations en Mg^{2+} , SiO_2 et de la température, des hautes eaux caractérisées par une augmentation des concentrations en Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} et de la pCO_2 équilibrante.

LE SORPT

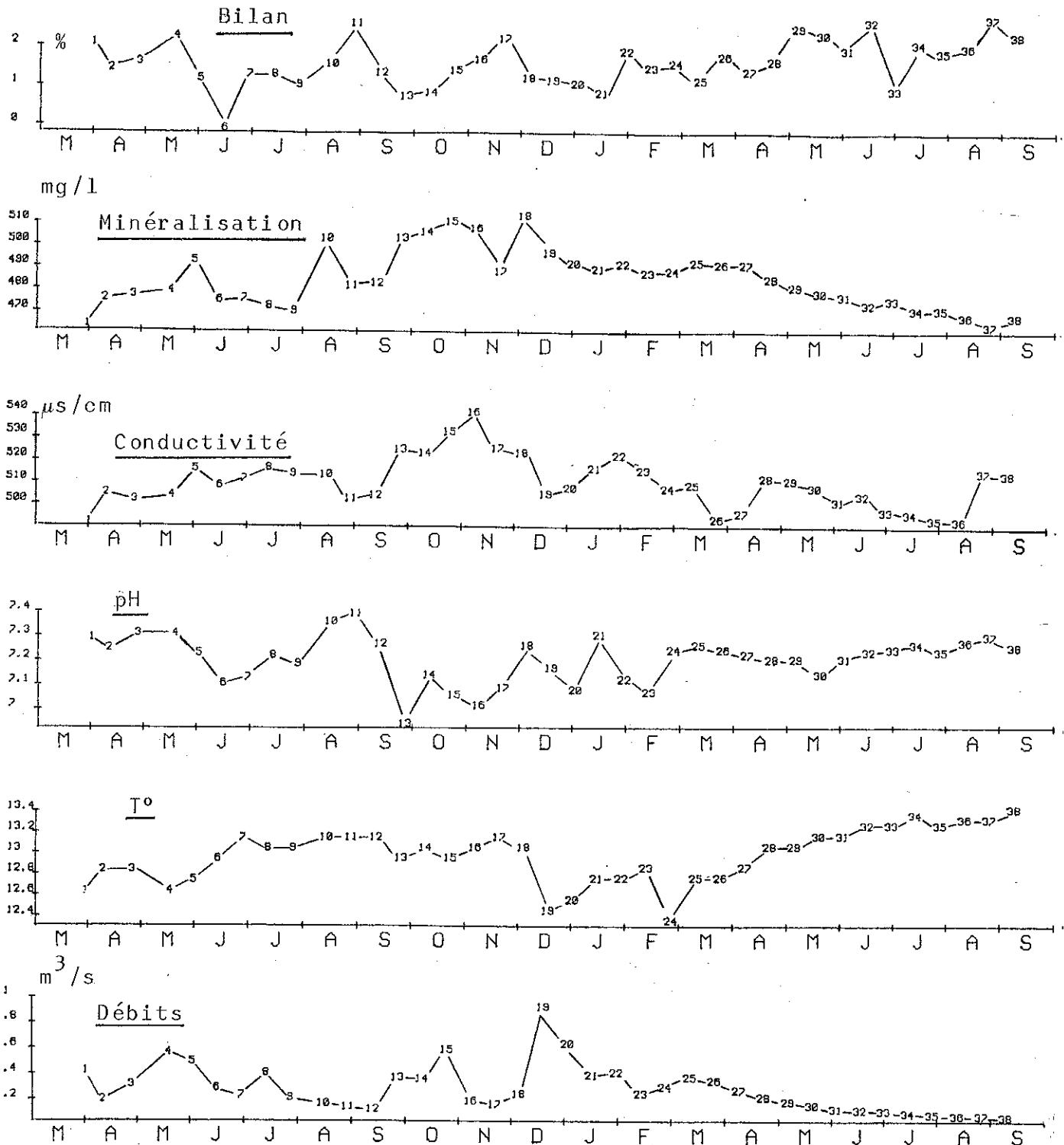


fig: 108 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Sorpt.

LE SORPT

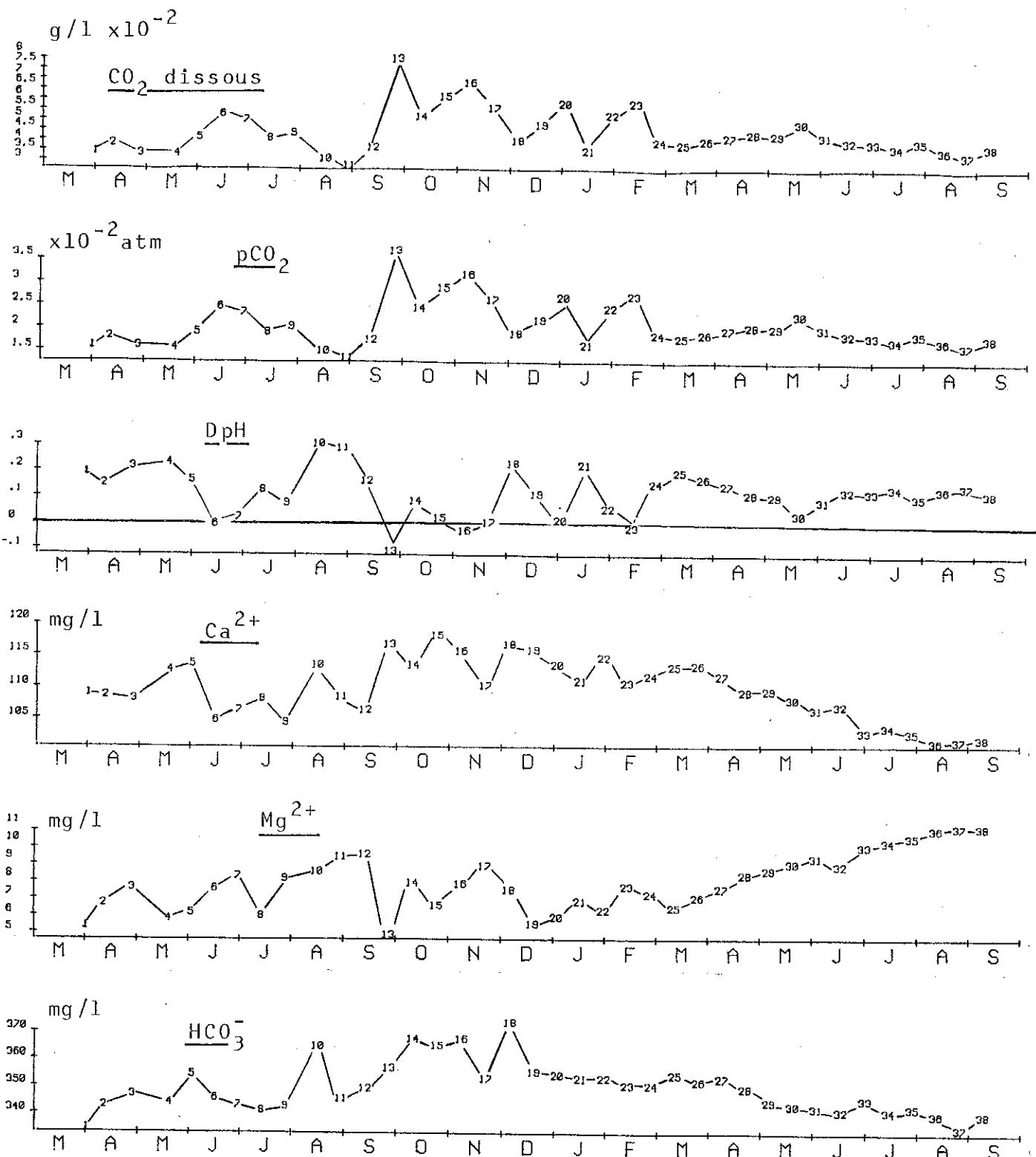


fig: 109

Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Sorpt.

LE SORPT

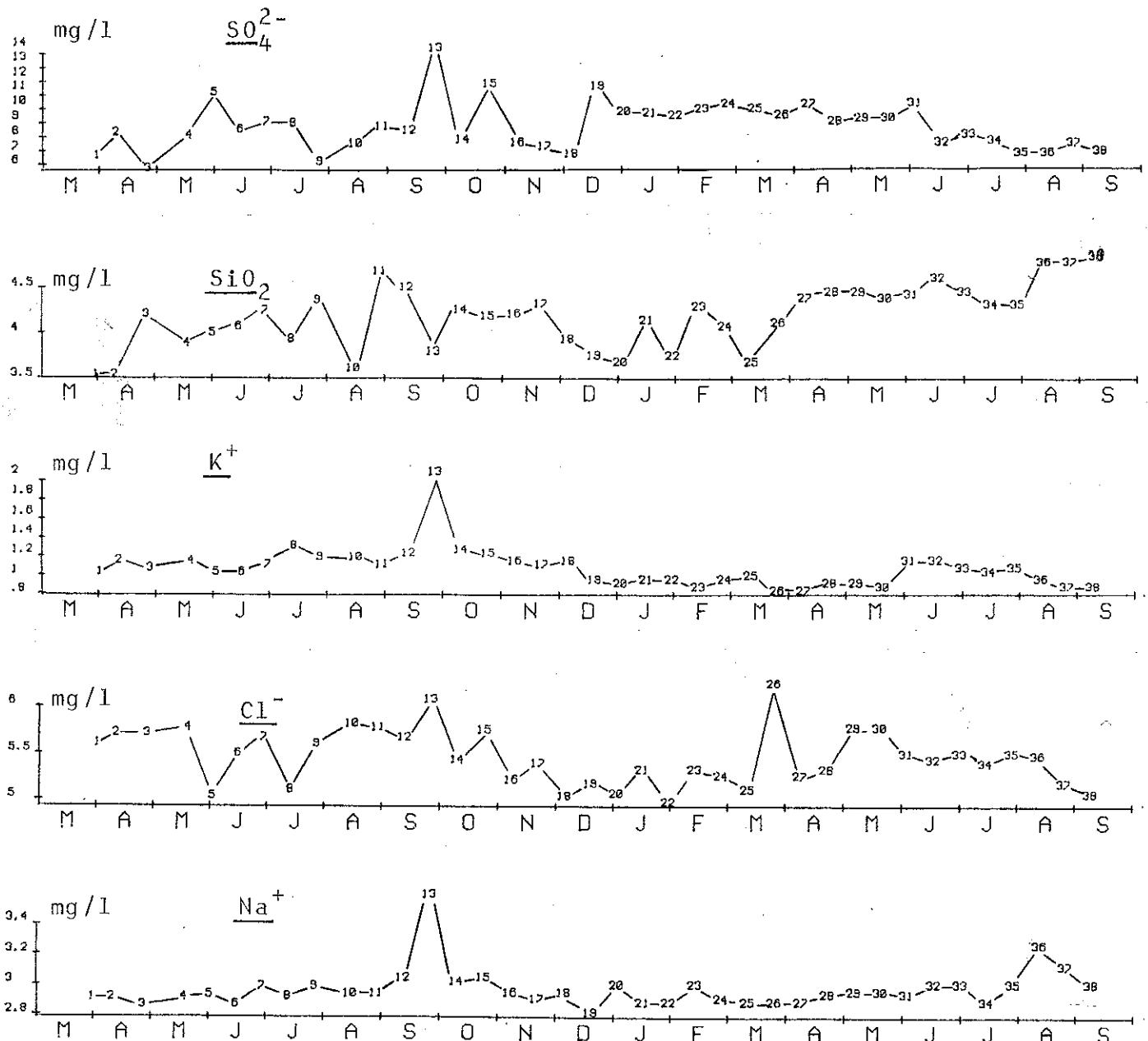
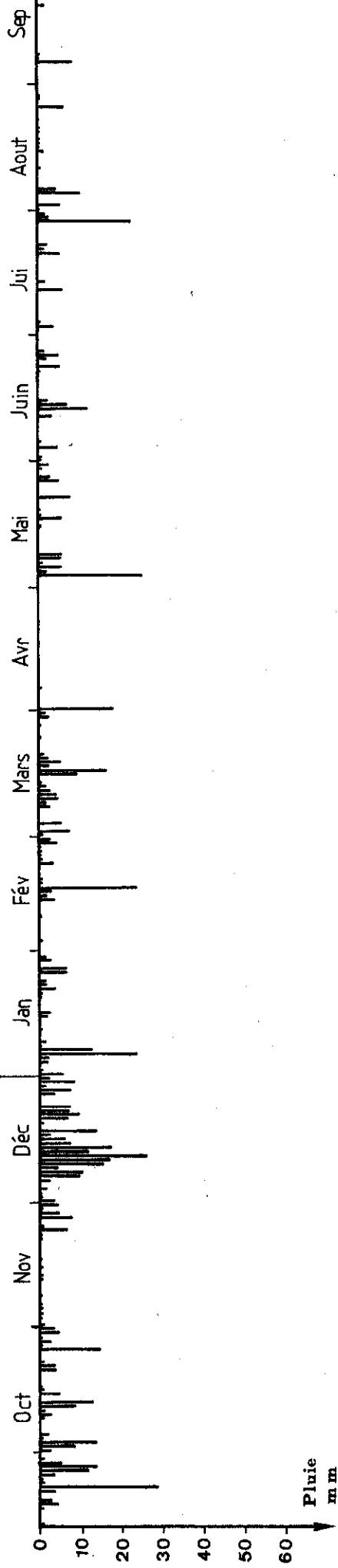


fig: 110 Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Sorpt (n°2).

LE SORPT
1982

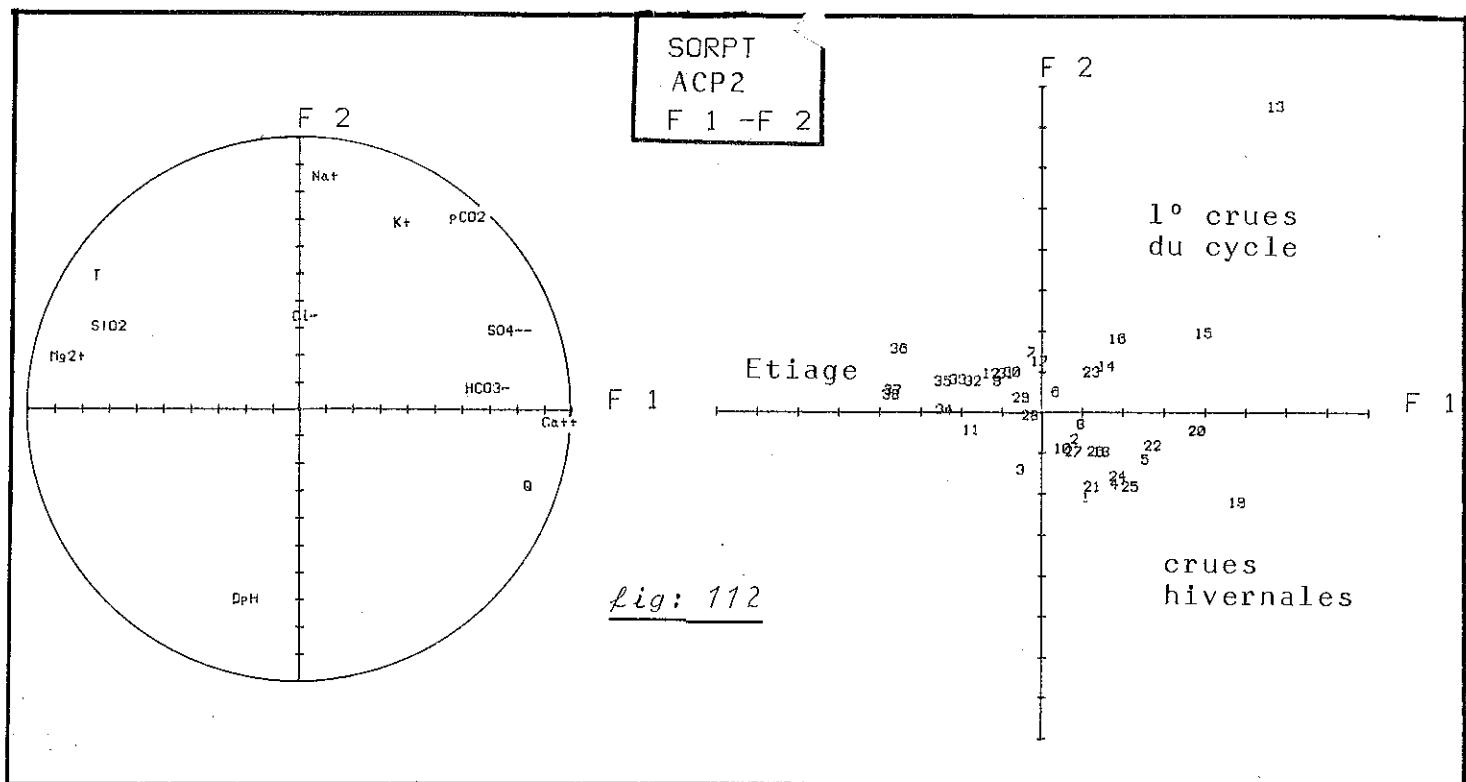
Liq: 111 Position des phénomènements par rapport aux événements hydrométriques.



Débits
 m^3/s

6
5
4
3
2
1
0

Oct Nov Déc Jan Fév Mars Avr Mai Juin Jui Août Sep



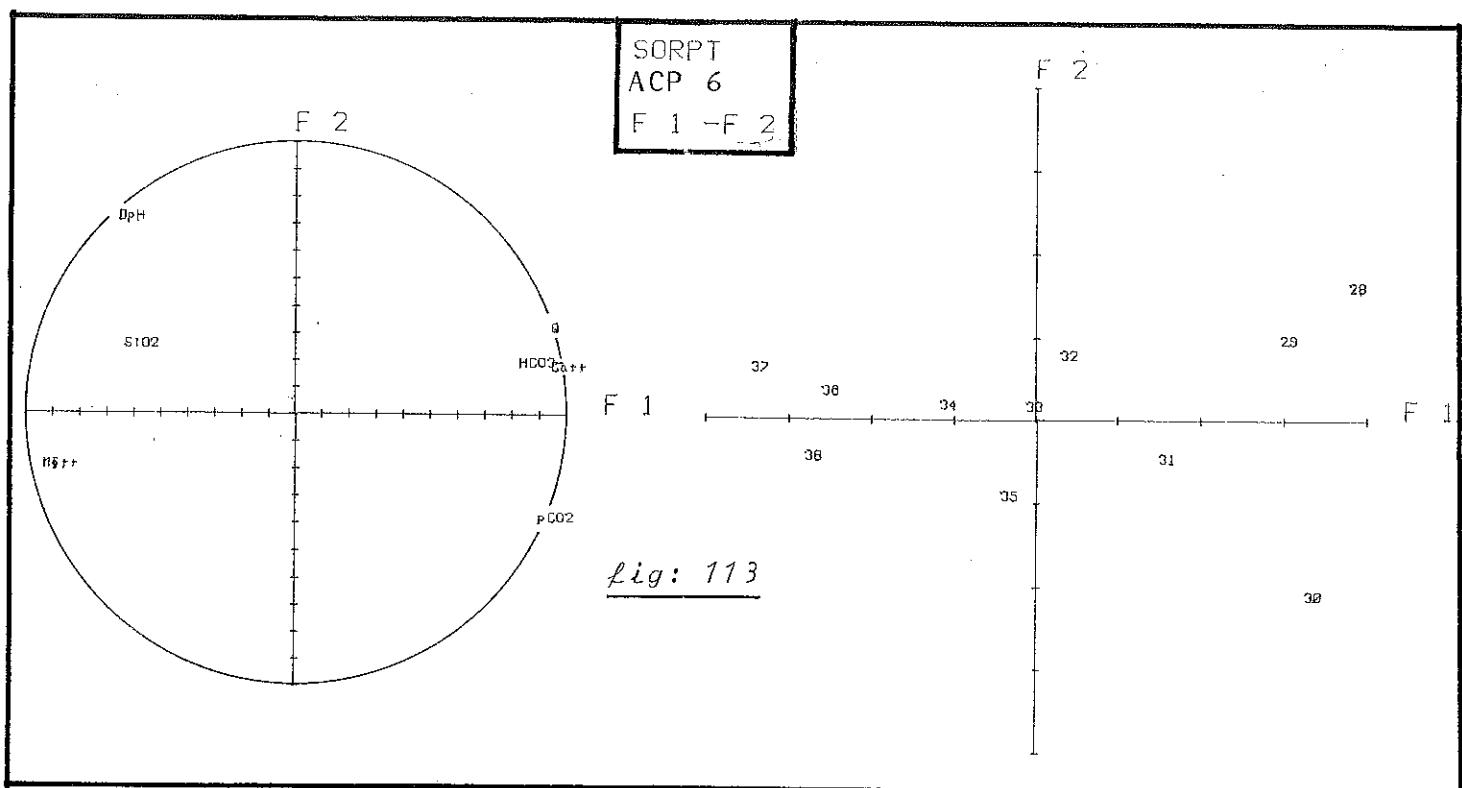
Le facteur F2 (cf. fig. 112) exprime 17.2% de la variance. Dans l'espace des variables, cet axe est défini positivement par l'association Na^+ , K^+ et la pCO_2 équilibrante qui s'oppose au DpH. Dans l'espace des US, le prélèvement n°13, prélèvement associé aux premières crues du cycle, est fortement marqué par l'augmentation de K^+ , Na^+ et de la pCO_2 équilibrante. Il en est de même des US 14, 15, 16. Toutes ces US sont également corrélées à l'axe 1, car dans le même temps les concentrations en sulfates augmentent. Ainsi, le facteur F2 permet de différencier les premières crues du cycle des hautes eaux en général.

Le facteur F3 (cf. Annexe VIII) exprime 11.3% de la variance. Il oppose l'association DpH, Cl^- à la pCO_2 . Dans l'espace des US, des prélèvements d'étiage tels que 10, 11, 12, de début de cycle, tels que 13 ou de fin de hautes eaux, tels que 1, 2, 3, 4 sont fortement corrélés à cet axe.

Le facteur F4 n'a pas été interprété.

Le facteur F1 peut être interprété comme le temps de séjour. En effet, comme dans tous les autres cas traités dans

le cadre de cette étude, cet axe permet de différencier les eaux à séjour long marquées par de fortes concentrations en Mg^{2+} et SiO_2 et les eaux à séjour moins long toujours marquées par une augmentation du débit. Toutefois, dans le cas de la source du Sorpt, comme dans celui de la source de Fontille, les fortes concentrations des ions HCO_3^- et Ca^{2+} marquent les hautes eaux. En étiage, les bicarbonates et le calcium décroissent. Le DPH indépendant de ce facteur concerne durant l'étiage des valeurs proches de 0.1. La pCO_2 équilibrante, pour sa part, a tendance à décroître pour se stabiliser aux alentours $1.5 \text{ à } 2 \times 10^{-2} \text{ atm}$. Comme pour la source de Fontille nous interprétons cette décroissance des concentrations en HCO_3^- et Ca^{2+} comme la précipitation de la calcite due à une évaporation de CO_2 . L'ACP6 (cf. fig. 113)



montre que la structure décrite sur l'ensemble du cycle est conservée en étiage. Il existe une évolution depuis les prélèvements de début d'étiage (28, 29, 30), marqués par de fortes concentrations en HCO_3^- et Ca^{2+} et de fortes pCO_2 , jusqu'aux prélèvements de fin d'étiage marqués par des concentrations croissantes en Mg^{2+} et SiO_2 .

Le facteur F2 caractérise l'évolution des échanges gazeux conduisant à un appauvrissement en CO_2 de la solution. Les eaux à pCO_2 équilibrantes fortes sont associées à des éléments caractérisant la partie supérieure de l'aquifère (Na^+ , K^+). Ainsi le réservoir à CO_2 est situé en subsurface. La pCO_2 existant dans le reste de l'aquifère est plus faible puisqu'il y a appauvrissement de la solution en CO_2 .

Les premières crues du cycle sont caractéristiques de ce type de fonctionnement. La crue du 22.09.81 (voir annexe VIII) montre que cet évènement hydrodynamique, après un effet de chasse faisant réapparaître des eaux aux caractéristiques de celles d'étiage, est surtout marqué par une augmentation en décrue de Cl^- , Na^+ , K^+ et SO_4^{2-} mais également Ca^{2+} et HCO_3^- . Le DpH et la pCO_2 restent très élevées. Comme au Blagour, les premières crues du cycle sont caractérisées par des eaux dont la minéralisation est déjà importante. Elles se différencient des eaux d'étiage par la baisse des teneurs en Mg^{2+} . Les fortes concentrations en K^+ , Cl^- , Na^+ et SO_4^{2-} prouvent une origine liée à la zone d'infiltration. Cette information liée à la zone superficielle de l'aquifère arrive relativement rapidement à l'exutoire. Elle est peu déformée puisque cette particularité des eaux du début de cycle apparaît très nettement sur les courbes de variations.

Les pCO_2 équilibrantes sont généralement fortes. Durant les épisodes de crue de décembre 1981 nous avons observé à la source du Sorpt le même phénomène d'appauvrissement en CO_2 qu'au Blagour. Ce phénomène est intervenu après plusieurs pointes de crue (cf. Annexe VIII). Lors de ces épisodes de crue, il faut remarquer que la baisse de la minéralisation se fait lentement, contrairement à ce qui avait été observé au Blagour où toutes les impulsions sont marquées par une baisse brutale de la minéralisation.

Le facteur F3 est très délicat à interpréter. En effet, la présence de Cl^- peut laisser croire que ce facteur caractérise l'infiltration directe. Cependant, les US associées à ce facteur ne correspondent pas à une telle interprétation.

A partir de l'étude hydrogéochimique de la source du Sorpt, l'organisation des écoulements de ce système apparaît dans l'ensemble bien développée. En effet, comme pour le système du Blagour les informations liées à différentes zones de l'aquifère s'individualisent nettement à l'exutoire.

Ces informations sont les suivantes :

1° En étiage, les eaux qui apparaissent à l'exutoire du système sont des eaux à temps de séjour long, comme le prouvent les fortes teneurs en Mg^{2+} et SiO_2 .

Toutefois, les phénomènes de précipitation du à l'évasion de CO_2 altèrent l'information contenue dans les eaux d'étiage. On en déduit qu'il existe des zones relativement bien aérées dans lesquelles les transit sont suffisamment lents pour qui la solution tende vers un nouvel équilibre par précipitation de $CaCO_3$. Cette zone à écoulements lents est située à l'aval du système puisque lors des premières crues du cycle, un effet de chasse fait apparaître en premier des eaux à caractéristiques d'étiage.

Toutefois comme dans le cas du Blagour ces transits lents ne sont pas dus à une absence de structure drainante mais au mauvais fonctionnement de celles-ci en étiage (cf. para. III 4, 5).

2° Les premières crues du cycle montrent qu'il existe à proximité de la surface, en relation avec le sol, une zone riche en CO_2 . L'eau acquiert lors de son transit dans cette zone une minéralisation carbonatée importante. De plus, comme au Blagour, l'absence d'eaux fortement sous-saturées peut être expliquée par les échanges "air-solution" conduisant à l'appauprissement de la solution. Toutefois, les pCO_2 équilibrantes restent fortes. Ces remarques tendent à prouver qu'il existe dans cette zone superficielle des transits relativement lents. Enfin, comme pour le système du Blagour, il existe une hétérogénéité spatiale dans la répartition du CO_2 entre la zone superficielle et les parties plus profondes du système.

3° Les hautes eaux sont dans le cas du système du Sorpt surtout marquées par des eaux à fortes pCO_2 équilibrantes et à forte minéralisation. Les DpH sont le plus souvent supérieurs à

zéro. Lors des crues la minéralisation décroît lentement comme s'il existait une inertie du système retardant l'arrivée d'eaux à temps de séjour moins longs. Le réservoir de CO_2 peut partiellement se vider lors de crues importantes. Il apparaît, à travers ces informations que la majorité de l'eau acquiert une minéralisation importante dans la zone non-saturée et plus particulièrement à proximité du sol. Il existe peu, même en hautes eaux, d'eaux s'infiltrant rapidement pour atteindre l'exutoire.

5.5.4 Discussion.

5.5.4.1 Comparaison entre les systèmes du Sorpt et du Blagour.

Comparons la structure des variations de la chimie des eaux du Blagour à celle des variations des eaux du Sorpt. Pour effectuer cette comparaison nous avons employé une ACP traitant les variations de 28 US dont les 14 premières sont relatives à la source du Blagour et les 14 dernières à la source du Sorpt. Les prélèvements choisis déterminaient les axes principaux des ACP menées pour chaque source séparément. Le tableau 34 fournit les correspondances entre les numéros des US de cette ACP blagour-Sorpt et les numéros des US des chroniques relatives au cycle 1982 pour chaque source.

<u>Date</u>	<u>Blagour</u> US cycle	<u>Sorpt</u> US cycle	<u>Date</u>	<u>Blagour</u> US cycle	<u>Sorpt</u> US cycle				
28-09-81	1	12	15	13	01-03-82	8	23	22	24
12-10-81	2	13	16	14	29-03-82	9	24	23	25
09-11-81	3	15	17	16	12-04-82	10	25	24	26
23-11-81	4	16	18	17	26-04-82	11	26	25	27
07-12-81	5	17	19	18	16-08-82	12	35	26	36
21-12-81	6	18	20	19	30-08-82	13	36	27	37
04-01-82	7	19	21	20	13-09-82	14	37	28	38

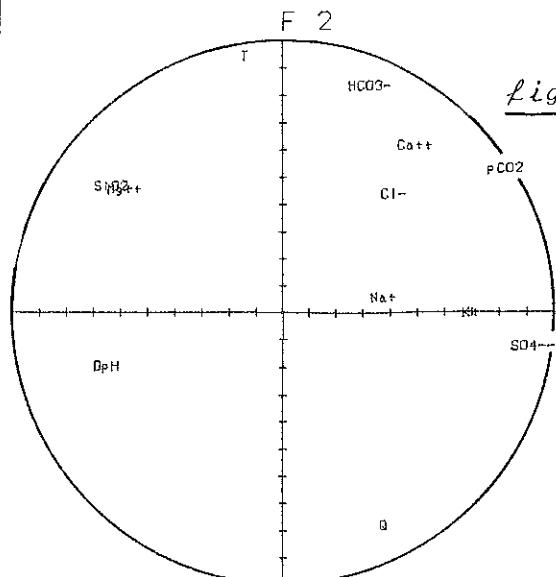
Tableau:34 Correspondance entre les US de l'ACP Blagour-Sorpt et les US des ACP menées pour chaque système sur le cycle 1982.

Le facteur F_1 oppose l'association SO_4^{2-} , pCO_2 et K^+ à l'association Mg^{2+} , la silice et DpH (cf. fig. 114).

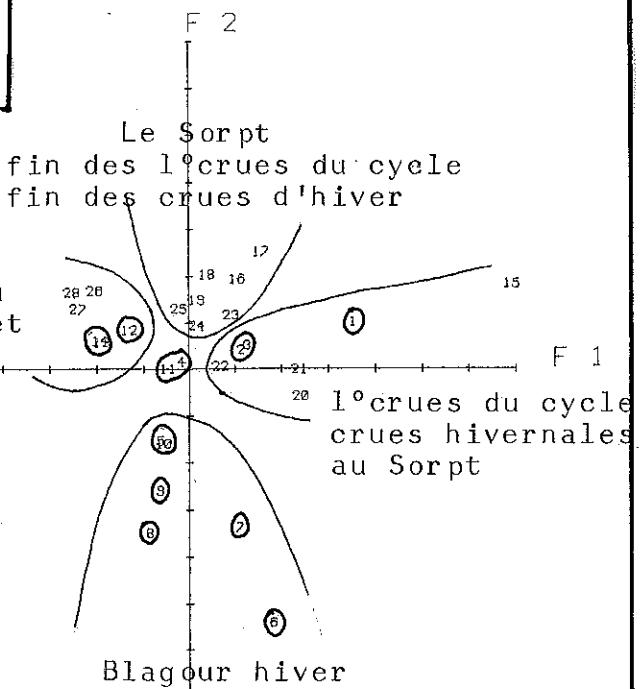
Dans l'espace des U.S, les premières crues du cycle pour les systèmes du Blagour et du Sorpt mais également les crues hivernales du Sorpt s'opposent aux prélèvements d'étiage relatifs à ces deux sources.

BLAGOUR-SORPT
ACP1
F 1 -F 2

fig: 114



Etiage au
Blagour et
au Sorpt



Les US entourées appartiennent au Blagour.

Le facteur F2 oppose l'association HCO_3^- , Ca^{2+} et la température au débit, Q.

Dans l'espace des US, cet axe oppose les hautes eaux hivernales du Blagour à la fin des hautes eaux d'automne et d'hiver de la source du Sorpt.

Il est bien évidemment difficile d'interpréter chaque facteur puisque deux familles de prélèvements sont analysées simultanément. Toutefois, selon F1 les deux systèmes présentent un comportement quasiment identique au cours du cycle. Ce comportement est dû à une structuration et à un fonctionnement très semblable de ces deux systèmes.

Deux zones au niveau desquels l'eau acquiert la majorité de ces caractéristiques physico-chimiques peuvent être décrites. Ce sont :

- Une zone d'infiltration dont le rôle est essentiel. Elle provoque notamment de longs temps de transit dans une atmosphère riche en CO_2 , et fournit à l'eau sa minéralisation en K^+ et surtout Na^+ . Cette zone est le siège d'échanges " CO_2 -solution" importants.
- Une zone inférieure, certainement noyée dans laquelle les écoulements sont très lents en étiage, confère aux basses eaux leur particularité, puisque, par suite

d'un dégazage un phénomène de précipitation de calcite provoque une chute de la minéralisation pendant cette période.

Cependant, durant les crues les eaux du Blagour sont relativement froides et peu minéralisées, alors que celles du Sorpt sont plus chaudes et assez fortement minéralisées. Il semble que cette différence soit imputable à la présence, sur le système du Blagour, d'un bassin versant de surface dont les eaux alimentent le karst par la perte de la Couze.

5.5.4.2 Comparaison avec les systèmes du sud du Causse de Martel.

Si on compare les chroniques chimiques du système du Sorpt et celles du Blagour de Souillac (J.P. Fabre 1983) on s'aperçoit qu'elles ont la même structure. Ainsi, l'aquifère karsique du Dogger, aussi bien au sud qu'au nord, possède la même structure et un fonctionnement analogue. De plus, ce résultat montre que le cycle 1982 n'est pas un cycle particulier, puisque l'étude de J.P. Fabre traite des cycles 1979 et 1980.

5.5.4.3 La question des sulfates

L'ion sulfate provient d'une part de l'eau de pluie, mais aussi des amendements agricoles. Il peut être reconcentré par évapotranspiration. Dans le cas du Blagour, il peut également provenir de l'oxydation de la pyrite contenue dans les marnes hettangiennes. Toutefois, la minéralisation en sulfates semble soumise à un comportement un peu à part. Tout d'abord, sur la source du Sorpt où il n'existe pas d'apport possible par oxydation de la pyrite, on observe un déficit de 20% entre le flux annuel de sulfates de l'eau de pluie et celui qui est restitué à l'exutoire. De plus, l'augmentation de la concentration en SO_4^{2-} à l'exutoire est souvent associée à une augmentation en K^+ . Ce piégeage de SO_4^{2-} associé à des possibilités de mobilisation rapide lors d'une crue est difficile à expliquer. On pourrait penser à une réduction des sulfates en sulfures dans un milieu confiné, mais comment expliquer la mobilisation lors des crues? Ce phénomène est lié aux fortes pCO_2 et se produit donc dans la zone superficielle de l'aquifère. Il est clair que les fortes

pCO_2 sont liées à l'activité biologique des sols. Le stockage du CO_2 dans cette zone doit avoir pour origine la même cause que le stockage des sulfates. La forte mobilité de l'ion K^+ en hautes eaux traduit d'existence d'un sol relativement humifère, ce qui habituellement est rare sur les karsts.

Tous ces indices font penser qu'il existe à proximité de la surface une zone pauvre en oxygène, riche en CO_2 et en partie isolée du reste de l'aquifère, zone dans laquelle sont stockés et partiellement destockés K^+ et SO_4^{2-} .

Enfin, la zone noyée alimentant la source est riche en minéraux siliceux. Toutefois, les fortes teneurs en Mg^{2+} sont la preuve que la partie capacitive de l'aquifère est située dans les calcaires et non dans des formations détritiques (sidérolithique par exemple).

5.6 Hydrothermique

5.6.1 Généralités

Dans le sous-sol le champ thermique dépend essentiellement de deux sources de chaleur :

- Le flux solaire
- Le flux géothermique

5.6.1.1 Le flux solaire - zone d'hétérothermie

Sur une région donnée, il varie selon l'heure et la saison. Ainsi, dans le sol, on observe des variations à l'échelle de la journée (accumulations diurnes, pertes nocturnes) et à l'échelle de la saison (gain en été, déperdition en hiver).

L'épaisseur de roche intéressée par les variations du flux solaire est variable. Elle dépend de la nature de la roche et du taux de saturation en eau de celle-ci. Les mouvements de l'eau dans la roche perturbent également ce flux. D'une façon générale, on peut dire que la limite inférieure de la zone d'hétérothermie journalière se situe entre 0.5 et 2m (in R.Botton, 1984) et entre 15 et 40m pour la zone d'hétérothermie annuelle.

5.6.1.2 Le flux géothermique. Zone d'homothermie

Le flux géothermique peut être considéré en régime permanent. En moyenne, lorsqu'aucun facteur volcanique ou tectonique ne vient le perturber, le gradient géothermique est de $0.03^\circ/\text{m}$.

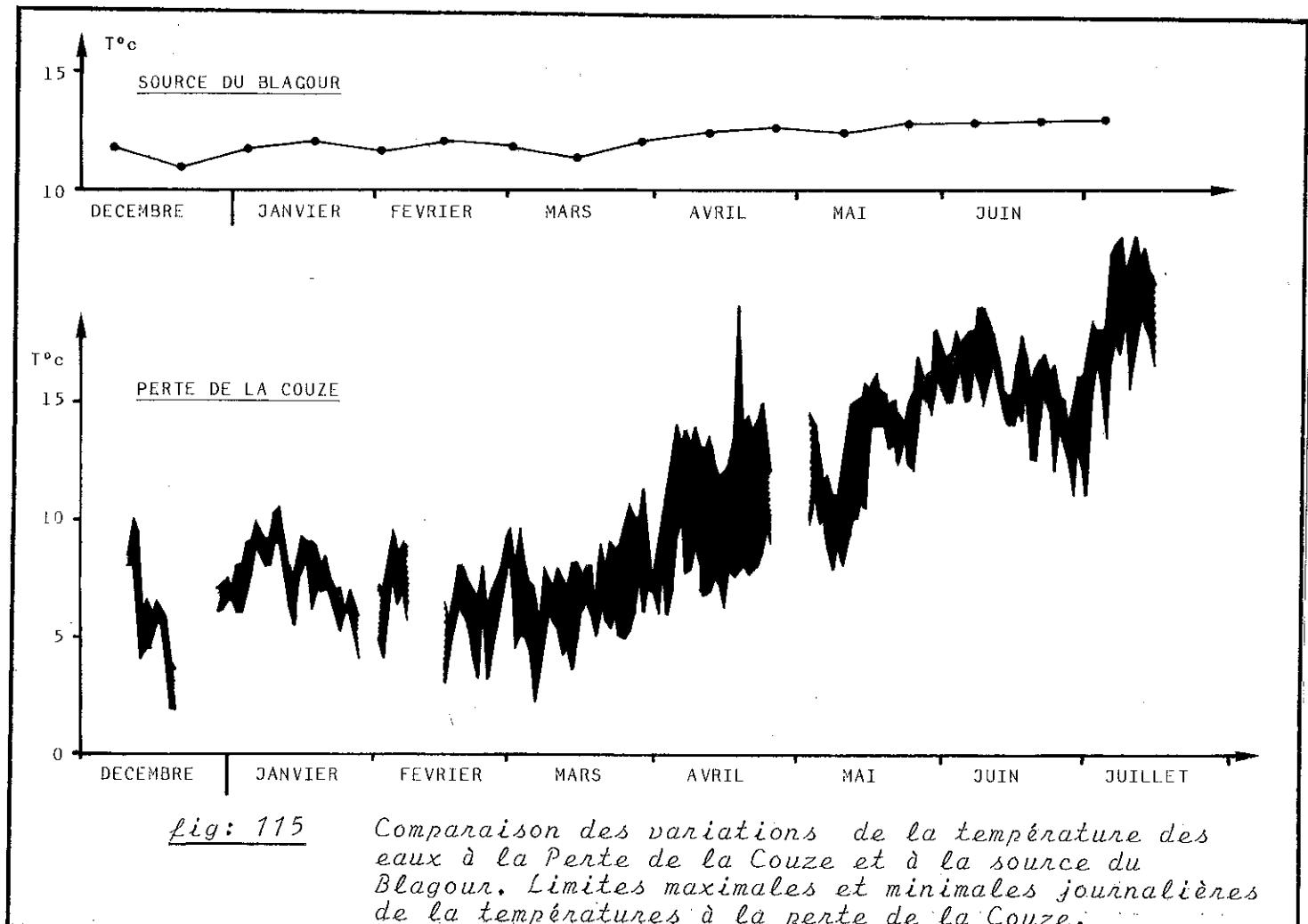
Sous la zone influencée par le flux solaire et en l'absence de circulations rapides d'eau, la température n'est liée qu'au flux géothermique. Si la roche contient de l'eau et que celle-ci possède un transit suffisamment lent, elle aura une température constante fixée par la profondeur à laquelle elle se trouve.

5.6.1.3 Cas des aquifères karstiques.

L'observation de la température de l'eau à l'exutoire d'un système doit renseigner sur son mode de transit au sein de l'aquifère. Ainsi, en étiage, la température de l'eau reste relativement constante. Elle est représentative de la température moyenne de la zone noyée alimentant la source en étiage. Cette température est fonction de l'altitude de cette zone noyée, mais également de la quantité de chaleur apportée par l'eau en transit dans l'aquifère. En crue, la température de l'eau est fonction de sa provenance et de la vitesse avec laquelle elle arrive à l'exutoire. En effet, la capacité calorifique de l'eau est telle qu'il faut un certain temps avant de se mettre en équilibre avec le milieu l'environnant. De plus, le problème est plus complexe car l'arrivée d'eaux froides a tendance à refroidir la masse calcaire. Ainsi, les hautes eaux même si elles ont séjourné relativement longtemps dans l'aquifère auront des températures inférieures à celle observées en étiage.

Pour aider l'interprétation des résultats hydrothermiques en hautes eaux il faudrait connaître la température de l'eau s'infiltrant dans le karst. En fait, il faudrait connaître la température dans le sol et dans la zone saturée du karst. De tels paramètres n'ont pas été mesurés sur le causse de Martel. En revanche, un thermographe dont la sensibilité est de l'ordre du demi-degré et la précision du degré, a été installé à la station C.P (cf. fig. 26) à une centaine de mètres en amont de

la perte de la Couze. Cet appareil permet de mesurer la température de l'eau de ruissellement immédiatement avant son entrée dans le karst. Les chroniques de températures maximales et minimales journalières sont présentées sur la figure 115.



5.6.2 Résultats obtenus sur les différents systèmes

5.6.2.1 Les températures d'étiage

Les températures d'étiage se stabilisent aux alentours de 13°C. La source du Soprt et celle de Fontille présentent les températures les plus élevées (13°C), et, la Gressonnière du Blagour et la source du Blagour les plus basses (12.6 - 12.9).

5.6.2.2 Les températures en hautes eaux

Les chroniques de température relevées lors des prélèvements bimensuels montrent que les températures les plus basses ont été mesurées au Blagour et à la Cressonnière du Blagour ($10^{\circ}9$ - $11^{\circ}3$). En hautes eaux, les eaux des sources de Fontille et du Sorpt possèdent des températures nettement plus hautes, de l'ordre de $12^{\circ}5$ (cf. fig. 88, 96, 100, 104 et 108). Par conséquent, la source du Blagour possède une amplitude thermique plus importante que celle du Sorpt (Amplitude therm. des eaux du Blagour = 3.2° ; Amplitude therm. des eaux du Sorpt = 1.05°)

D'un point de vue thermique, les crues peuvent être scindées en deux groupes :

a) Les crues de hautes eaux hivernales

Ces crues sont systématiquement caractérisées par une baisse de la température. Pour la source du Blagour, la température la plus basse mesurée est de $8^{\circ}2$ le 13-12-1981 à 23h55. Pour le Sorpt la température la plus basse est de 11° le 18-12-1981 à 9h30.

Toutefois il faut remarquer que la baisse de température est pour la source du Blagour directement corrélée aux variations du débit alors que pour la source du Sorpt elle ne l'est pas (cf. annexe VIII).

b) Les crues de basses eaux ou de début de cycle

Ces crues sont caractérisées par des températures supérieures aux moyennes d'étiage. Elles sont associées, soit à des éléments marquant un long temps de séjour dans l'aquifère (Mg^{2+} , SiO_2), soit à des éléments caractéristiques de la partie supérieure de la zone non-saturée.

5.6.3 Synthèse et conclusion

D'une manière générale, les systèmes du Blagour et du Sorpt peuvent être différenciés thermiquement. L'amplitude des variations thermiques de la source du Blagour est nettement plus importante que celle des variations thermiques des eaux du Sorpt. De plus, les eaux du Blagour sont en moyenne plus froides

que celles du Sorpt. En crue, et seulement pour le système du Blagour, la température qui peut atteindre des valeurs très basses est directement corrélée au débit.

Ces particularités du système du Blagour prouvent l'apparition à l'exutoire de ce système d'eaux directement influencées par la température existant à la surface de l'aquifère. Ce phénomène est bien moins net pour le système du Sorpt. La différence de comportement thermique entre ces deux systèmes semble être due à l'alimentation du système du Blagour par les eaux du ruissellement de surface se produisant à l'amont de la perte de la Couze. Ce type d'alimentation est prédominant en hautes eaux. Durant cette période, la température des eaux de la Couze-perte est faible (*cf. fig. 115*). Ainsi, peut s'expliquer la température moyenne des eaux plus faibles au Blagour qu'au Sorpt. En effet, les eaux froides pénétrant par la perte de la Couze vont avoir tendance à refroidir la masse calcaire. Ce résultat prouve l'influence rapide des eaux pénétrant à la perte de la Couze sur le fonctionnement du système du Blagour. Notons toutefois que le système du Blagour amortit fortement les variations thermiques entre la zone l'infiltration et l'exutoire. Ce phénomène est encore plus important pour le système du Sorpt.

L'augmentation de la température observée lors des premières crues du cycle et des crues de basses eaux est à rattacher à deux phénomènes :

1° Les eaux faiblement plus chaudes que les eaux précédant la crue et associées à des éléments à cinétique de dissolution lente trouvent leur origine dans la zone d'homothermie. Elles arrivent à l'exutoire par effet de chasse de la zone noyée. Cet effet de chasse est plus marqué sur le système du Sorpt que sur celui du Blagour.

2° Les eaux nettement plus chaudes et associées à de fortes pCO_2 proviennent de la zone d'hétérothermie. En effet, des eaux aux caractéristiques chimiques semblables peuvent posséder, en crue hivernale, des températures plus basses que la moyenne. Ces eaux arrivent par effet de chasse de la partie supérieure de la zone non-saturée.

Ces deux effets de chasse apparaissent aussi bien pour le système du Blagour que pour le système du Sorpt. Toutefois, les informations sont plus altérées au niveau de la source du Blagour.

La zone à forte pCO_2 est située dans la zone d'hétérothermie. Toutefois, l'amplitude des variations thermiques de l'eau montre que cette zone ne se trouve pas immédiatement à la surface de l'aquifère. Elle se situe entre 5 et 20m de profondeur.

5.7 Conclusion

L'étude hydrogéochimique montre que l'organisation des écoulements des systèmes du Blagour et du Sorpt est semblable à celle du système du Baget (Ariège). L'aquifère du Dogger possède donc des structures karstiques bien organisées. Toutefois, une étude plus fine des chroniques hydrogéochimiques montre que la structure de ces systèmes n'est pas tout à fait identique à celle du Baget. En effet, le système peut se décomposer en 4 sous-systèmes caractérisés chimiquement de la manière suivante (*cf. fig. 116*):

1° Le système A. (cf. fig. 116)

Le système A est situé à proximité de la surface. Il possède une épaisseur de 20m environ. Dans cette zone il existe une pCO_2 importante. L'évapotranspiration peut puiser dans cette zone et ainsi créer des reconcentrations de certains minéraux apportés par la pluie. Un certain nombre d'indices laissent penser que cette zone est argileuse et confinée. En fait, ce sous-système A (*cf. fig 116*) peut être comparé à un épikarst.

2° Le système B1 (cf. fig. 116)

Chimiquement, le système B1 est mal connu. On sait simplement qu'il assure une liaison rapide entre la zone A et l'exutoire. Ces transits rapides se produisent essentiellement en crues.

3° Le système B2 (cf. fig. 116).

Le système B2 alimente la source en étiage. Les temps de séjour y sont importants. Cette zone noyée est située

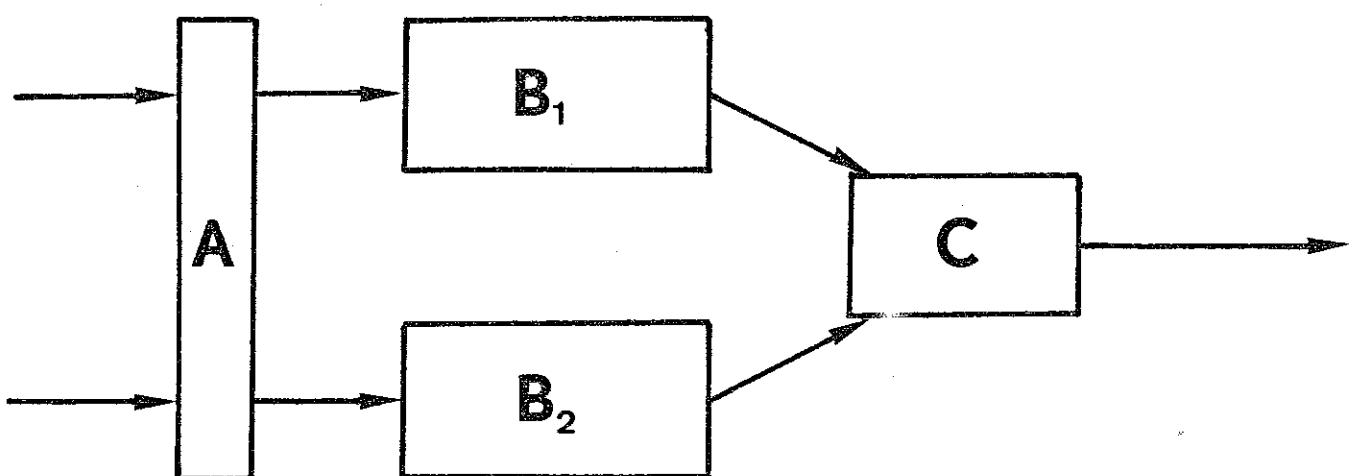


fig: 116

Schéma de fonctionnement de l'aquifère karstique du Dogger déduit de l'interprétation des données hydrogéochimiques.

dans les calcaires. Toutefois, il existe des minéraux argileux ou des sables quartziques permettant à l'eau d'acquérir une certaine charge en Silice.

4° Le système C (cf. fig. 116)

Ce système altère la minéralisation des eaux en étage par précipitation de CaCO_3 . La pCO_2 dans cette zone est donc plus faible qu'à l'endroit où la minéralisation de l'eau a été acquise. Enfin les écoulements y sont lents. Il semble qu'au niveau de la source du Blagour cette zone soit peu développée.

Entre les systèmes du Blagour et du Sorpt il existe quelques petites différences tenant essentiellement à l'alimentation du système du Blagour par une perte (la perte de la Couze). Toutefois, le système du Blagour répond bien au schéma de la *figure 116* puisque la source de Fontille possède un comportement très proche de celui de la source du Sorpt. Ainsi la présence de la perte de la Couze court-circuite le passage d'une partie de l'alimentation du karst par le sous-système A. De plus l'aval du système présente du fait de la concentration des écoulements une meilleure organisation des écoulements.

6 FONCTIONNEMENT ET STRUCTURE DE L'AQUIFÈRE KARSTIQUE DU DOGGER

6.1 Généralités

Nous avons vu au cours des paragraphes précédents qu'un massif calcaire est en général, s'il est karstifié, compartimenté en systèmes karstiques. Chacun de ces systèmes représente une unité de drainage. Les écoulements se produisant à l'intérieur de ce système sont organisés. Cette organisation, particulière aux aquifères karstiques, n'est possible que par l'existence d'une structure capable de drainer les eaux vers un nombre réduit d'exutoires. Cette structure, construite grâce à l'élargissement des discontinuités intrinsèques de la roche par dissolution du calcaire par les eaux chargées de CO_2 , est plus ou moins complexe selon les systèmes. Dans le cas général, la structure d'un système karstique peut être schématisée comme sur les *figure 117 et 118* (A.Mangin 1975). Le fonctionnement hydrodynamique est présenté sur la *figure 119* (A.Mangin;1975. M.Bakalowicz;1979)

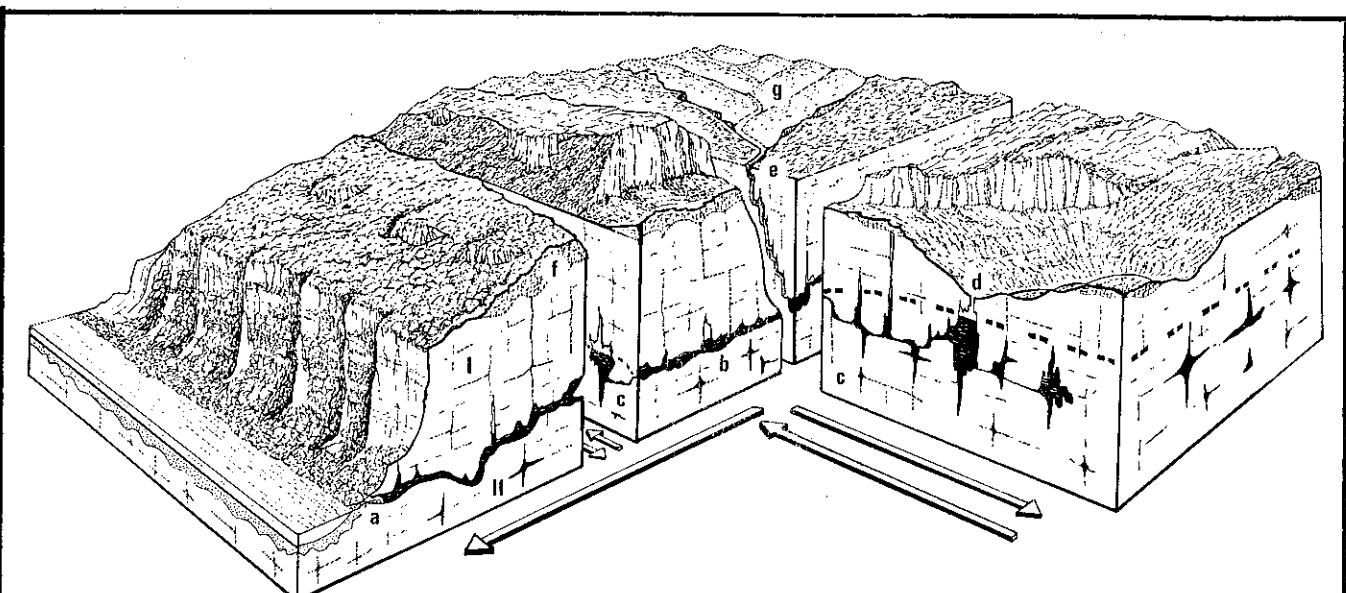
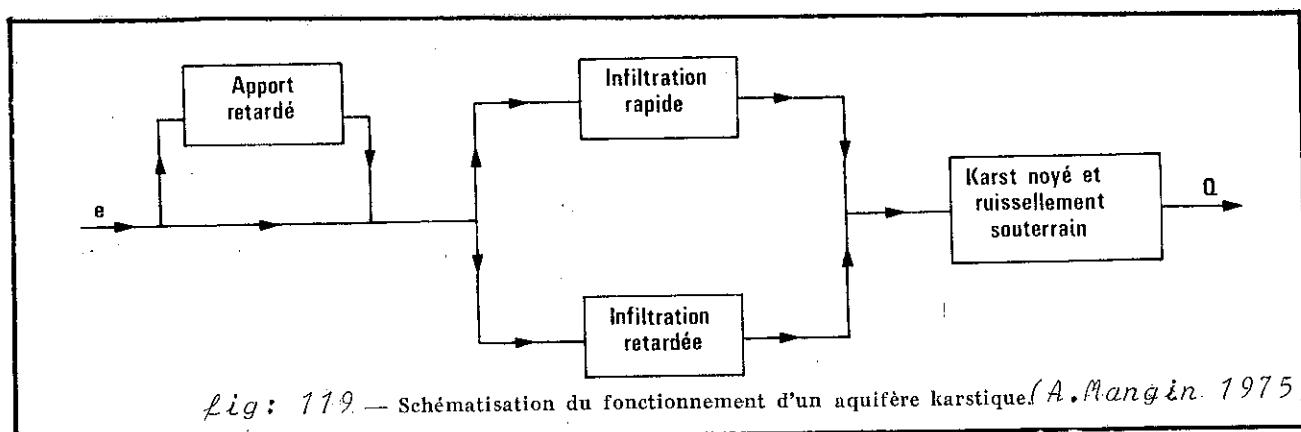
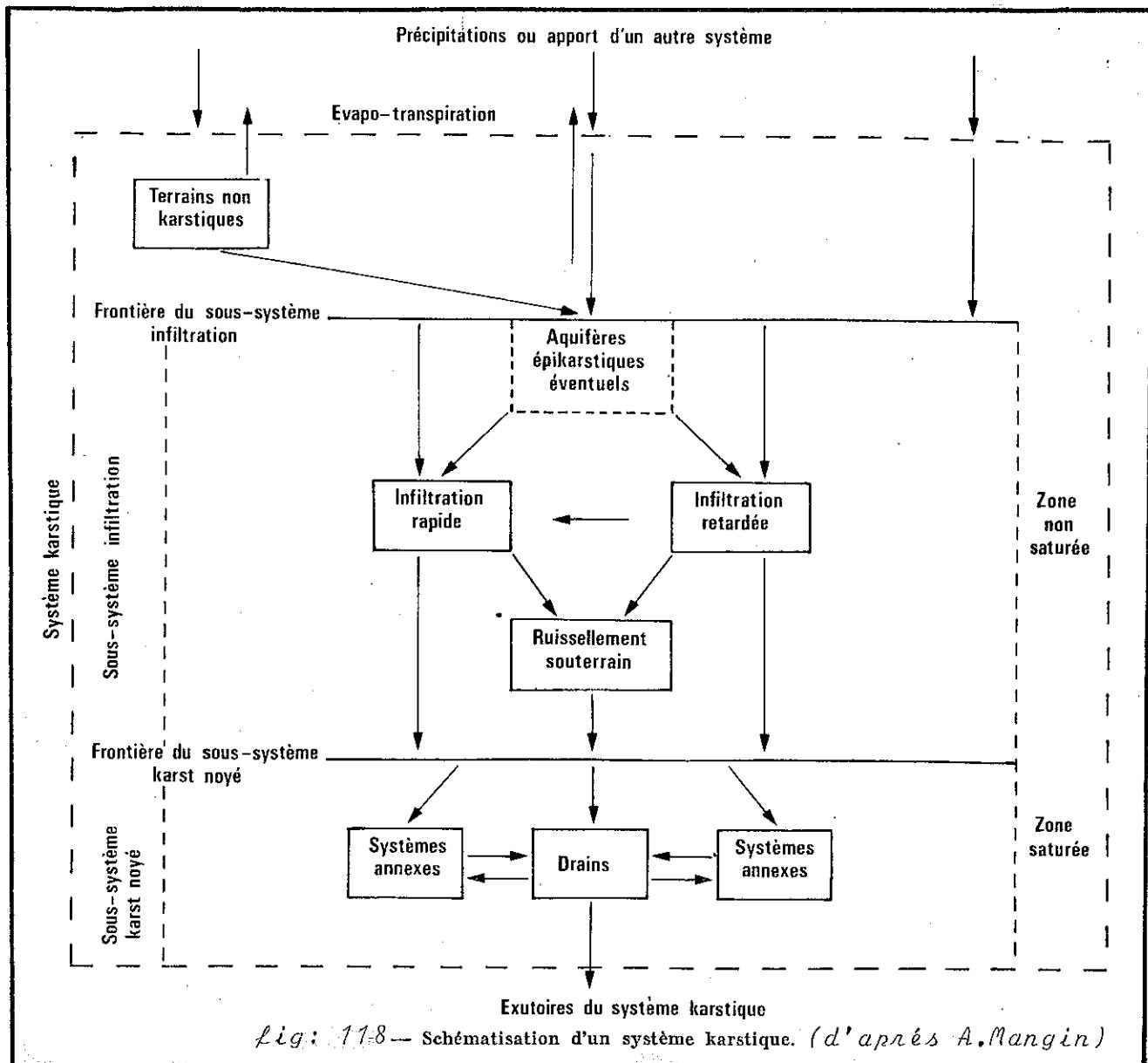


fig.117— Représentation schématique d'un système karstique (partie proche de l'exutoire. I : zone d'infiltration. II : karst noyé. a : exutoire principal du système, b : drain ; c : systèmes annexes ; d : exutoire de trop-plein ; e : ponor ; f : aquifère épikarstique ; g : terrains non karstiques appartenant au système. Les flèches indiquent le sens des circulations au niveau du karst noyé (dessin de R. Rouch). (d'après A.mangin ;1975)



Le système karstique peut être divisé en deux zones, la zone non-saturée située dans la partie supérieure de l'aquifère et la zone saturée située en profondeur.

La zone non-saturée ou zone d'infiltration est le siège d'écoulements à dominante verticale. La partie supérieure de cette zone peut être occupée par un aquifère épikarstique, zone localement saturée, perchée, alimentant la zone d'infiltration. De ce fait, on dénombre deux modes d'infiltration:

- L'infiltration directe: l'eau ne transite pas par l'épikarst.
- L'infiltration différée: l'eau transite par l'épikarst.

L'alimentation de la zone saturée se fait alors, soit de façon rapide (ruissellement souterrain), soit de façon lente (retardée: écoulement diphasique).

La zone saturée ou karst noyé est composée d'un drain qui est alimenté par des systèmes annexes au drainage et par le ruissellement souterrain. Les relations hydrauliques entre les systèmes annexes et le drain sont relativement bonnes. Ainsi, selon la charge respective existant dans le drain et dans les systèmes annexes, les écoulements peuvent se faire soit dans un sens, soit dans l'autre. La qualité des relations entre le drainage et les systèmes annexes détermine l'effet mémoire du karst.

En étiage, c'est la vidange du karst noyé qui détermine le débit de la source.

En hautes eaux, c'est l'ensemble des eaux présentes dans le karst qui se mettent en mouvement.

6.2 Fonctionnement et structure de l'aquifère karstique

Une synthèse des différents résultats obtenus au cours de cette étude est présentée sur les *figures 120, 121, et 122*.

La *figure 123* schématise le fonctionnement de l'aquifère karstique de la région étudiée. Il existe quatre sous-systèmes (A, B1, B2 et C).

Fig: 120 Géologie - Morphologie - Paléomorphologie

Géologie:

- * L'aquifère karstique est bien limité par des épontes étanches.
- * Dans cette zone les calcaires du Dogger en position tabulaire ont une géométrie simple guidée par deux accidents sensiblement perpendiculaires.

Morphologie:

- * Les manifestations exokarstiques et endokarstiques sont nombreuses.
- * Le karst affecte sans discernement les différentes formations du Dogger.
- * De nombreuses paléostuctures karstiques sont colmatées à proximité de la surface du plateau.
- * Les dépôts tertiaires à faciès sidérolithiques associés à des paléostuctures karstiques forment de petits bassins versants endoréiques qui alimentent l'aquifère karstique par l'intermédiaire de pertes.
- * Un réseau spéléologique important est connu sur le système du Blagour.
- * Les sources du Sorpt et de Fontille sont colmatées par du sable essentiellement quartzique.

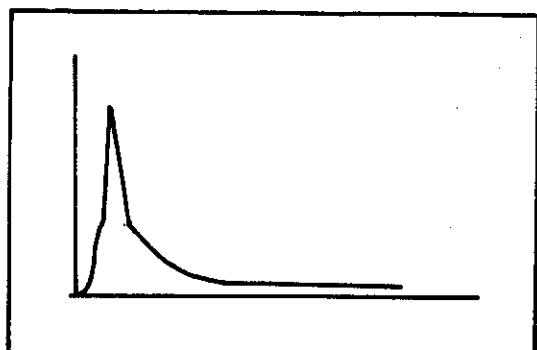
Paléomorphologie:

- * De nombreuses vallées sèches sillonnent le Causse de Martel. Elles sont plus profondes à proximité des sources.
- * Le bassin versant de surface déterminé à partir de l'étude de ces vallées sèches se superpose aux bassins d'alimentation des systèmes karstiques actuels.
- * La paléohydrogéologie est complexe et montre l'alternance de phases de karstifications et d'érosion fluviatiles.
- * L'histoire géologique récente traduit la remontée du niveau de base local.

fig: 121

Hydrodynamique - Traçages

* L'étude sur 10 cycles des débits de la Couze au Soulier démontre un fonctionnement complexe de l'aquifère.



Hydrogramme unitaire

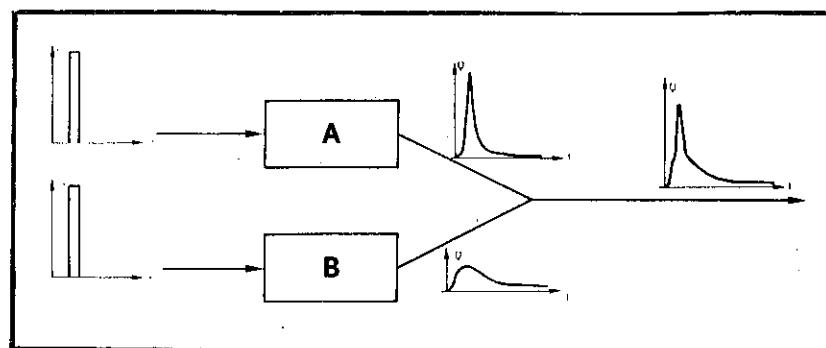
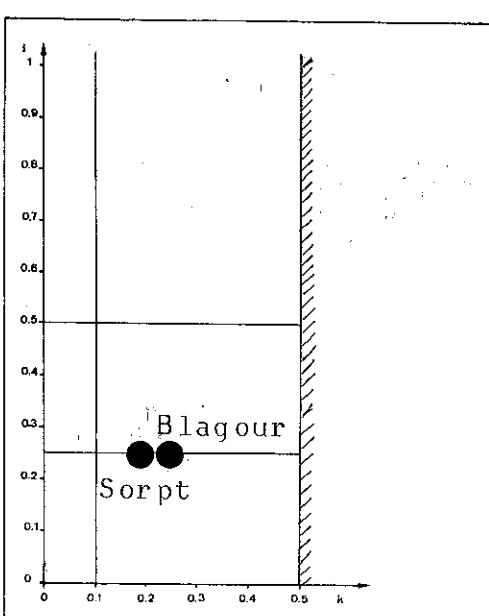
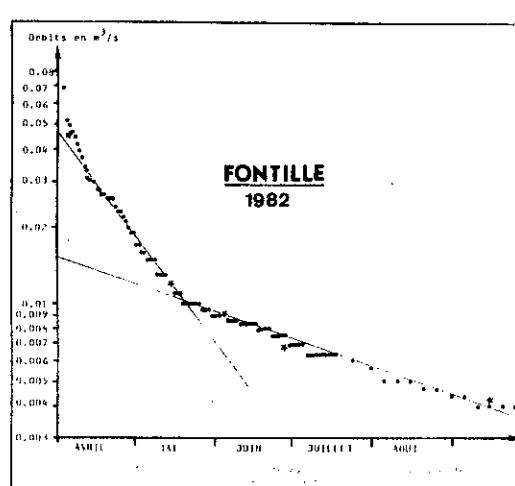


schéma de fonctionnement

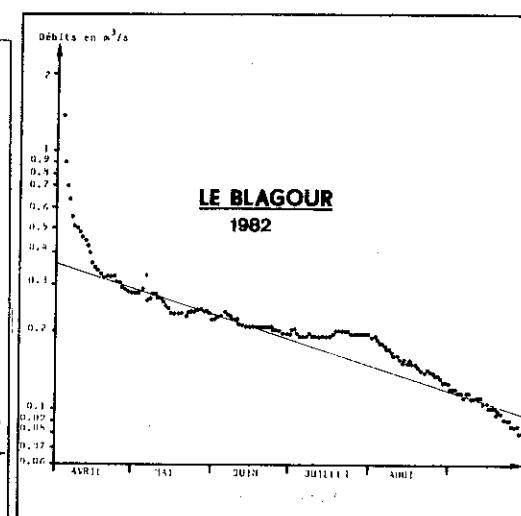
* Sur le cycle 1982 l'étude des courbes de récession place les deux principaux systèmes dans la même zone de la classification de A. Mangin. Toutefois, nous avons observé des anomalies au niveau des courbes de tarissement pour les sources du Blagour et de Fontille.



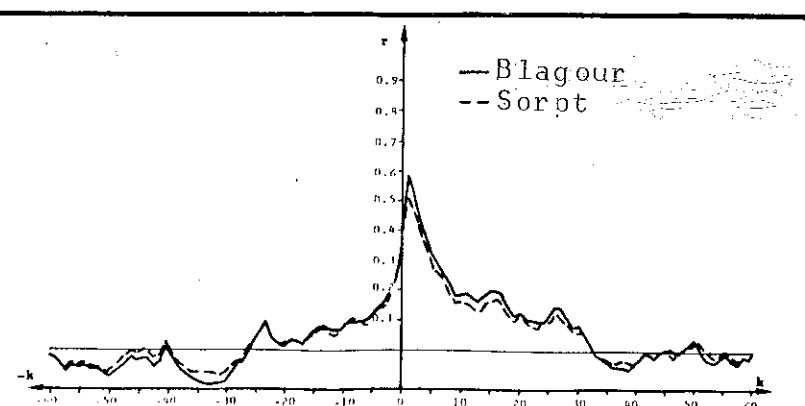
Classification de A. Mangin



Courbes de récession



* L'analyse corrélatoire et spectrale menée sur les débits des sources du Sorpt et du Blagour (cycle 1982), confirme que le fonctionnement des deux systèmes est semblable.

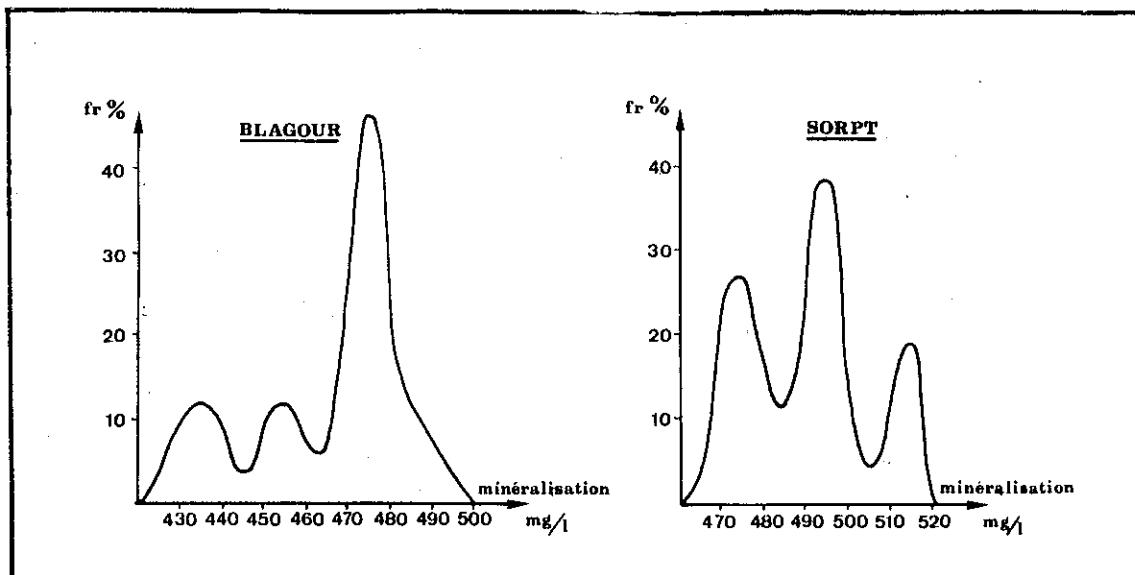


* Les traçages montrent la possibilité de drainages rapides en hautes eaux. En étiage les structures de drainage ne sont plus fonctionnelles.

fig: 122

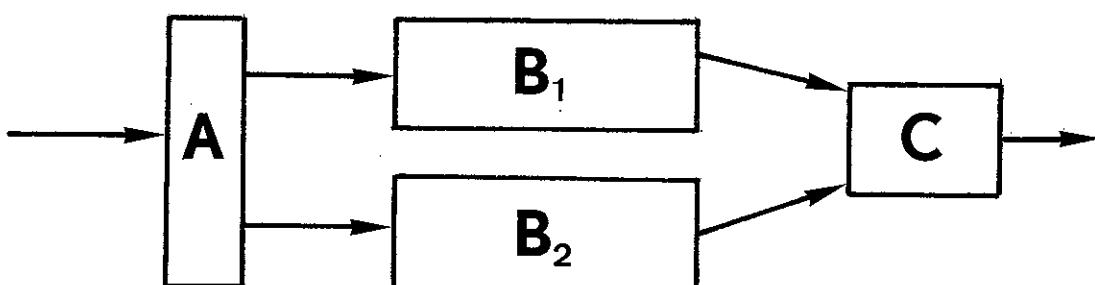
Hydrogéochimie

* D'une manière générale l'aquifère possède bien un fonctionnement karstique dont le degré d'organisation s'apparente à celui du Baget (Ariège).



Distribution des fréquences de minéralisation.

* Le fonctionnement des deux systèmes est complexe et peut être, à partir des résultats de l'étude hydrogéochimique, schématisé ainsi:



Le sous système A représente des transits relativement lents dans une zone superficielle riche en CO_2 .

B_1 représente une structure karstique bien organisée permettant aux informations liées à la zone d'infiltration d'arriver rapidement à l'exutoire.

B_2 représente une structure karstique à écoulements lents. Elle alimente la source en étiage.

C représente une zone à écoulements lents dans une atmosphère à pCO_2 faible.

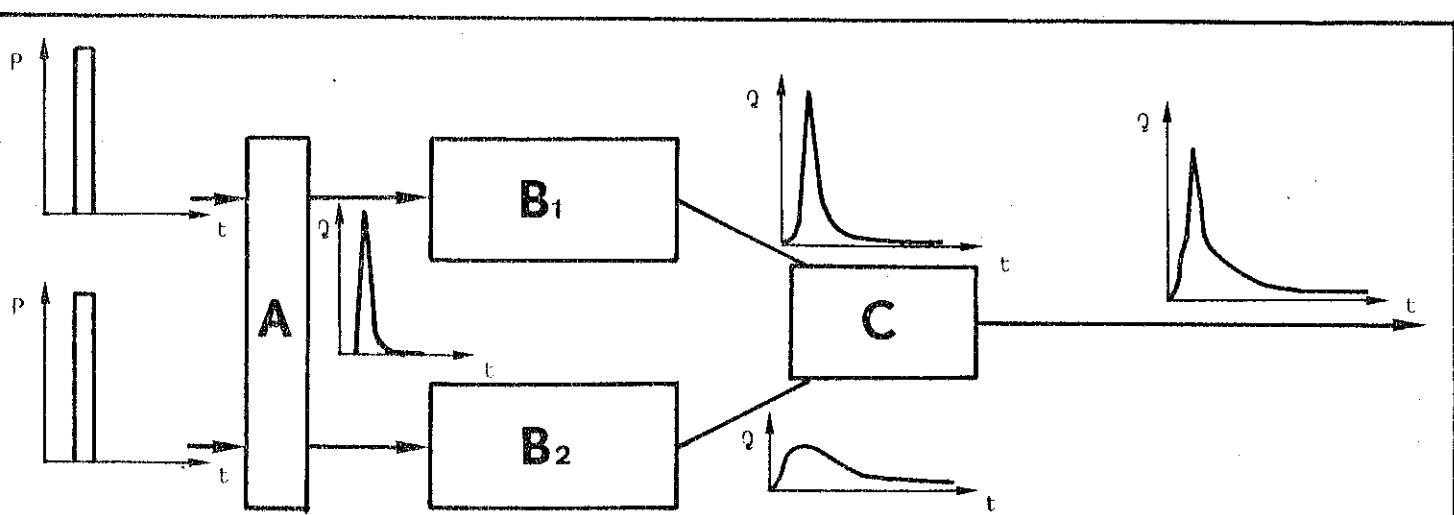
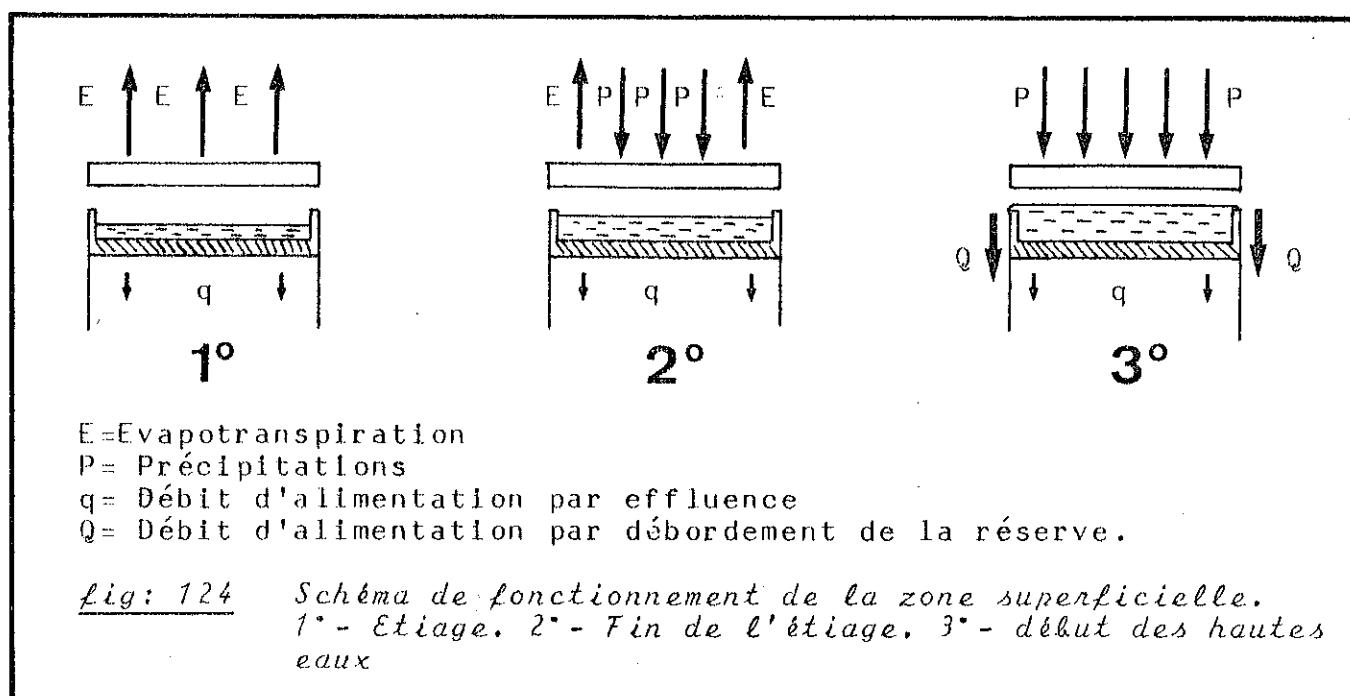


fig: 123 Schéma du fonctionnement de l'aquifère karstique du Dogger au nord du Causse de Martel.

Le sous-système A a été principalement mis en évidence grâce à l'étude hydrogéochimique. On sait que ce sous-système est caractérisé par des temps de séjour longs dans une partie de l'aquifère superficielle et riche en CO_2 . Le sous-système A est situé dans la zone d'hétérothermie. Son épaisseur peut donc être évaluée à 20 ou 25m environ. On pourrait appeler, aquifère épikarstique, cette zone saturée et perchée. Toutefois, un certain nombre d'indices, en particulier le stockage du CO_2 et d'éléments présents dans l'eau de pluie, comme K^+ , Cl^- , Na^+ , ainsi que l'immobilisation des sulfates dans cette zone, confère à cet aquifère épikarstique un caractère particulier. Le colmatage de la frange superficielle du karst, évoqué lors de l'étude morphologique du Causse de Martel, semble être à l'origine de cette particularité. Ainsi, il existe à la surface du Causse de Martel des vides d'origine karstique partiellement colmatés et abritant un petit aquifère soumis aux ponctions de l'évapotranspiration. C'est la présence de ce sous-système A qui vaut au Causse de Martel le surnom de "Causse vert".

La majorité des eaux d'infiltration transitent lentement par cette zone "épikarstique colmatée" avant de rejoindre la zone non-saturée du karst. Une telle structure devrait apporter un retard de l'infiltration. Nous avons remarqué que

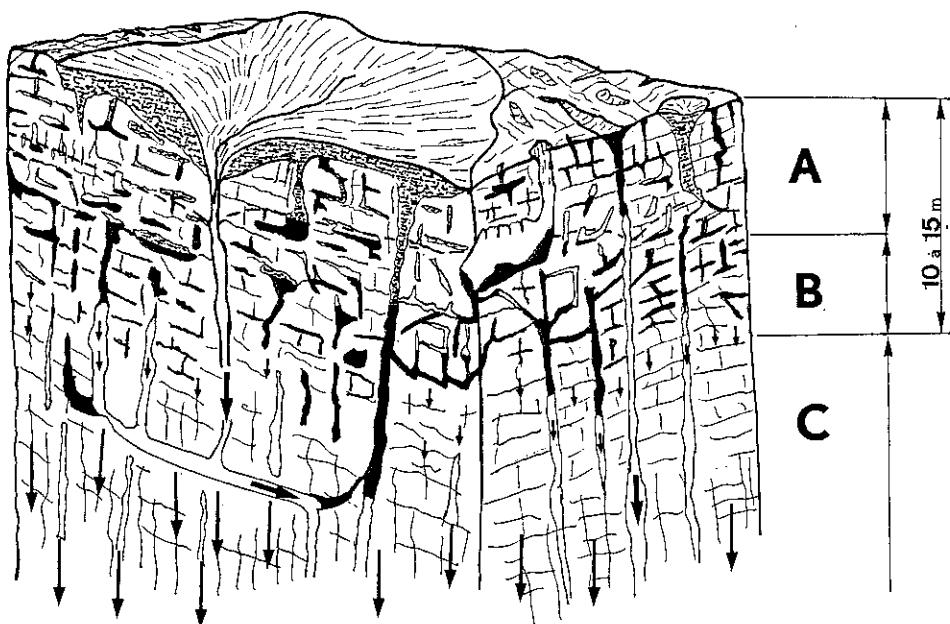
la lame d'eau nécessaire pour déclencher une crue du karst était supérieure à la quantité d'eau nécessaire pour déclencher une crue sur les formations de Brive et cela en basses eaux. Ensuite, durant le cycle, l'étude des hydrogrammes de pluie ne traduit pas de retard très important dans la zone d'infiltration. Toutefois, le système du Sorpt, pour lequel l'hydrogéochimie prouve que le sous-système A joue un grand rôle, se place, dans la classification de A.Mangin, un peu plus vers les systèmes à retard dans l'infiltration que le système du Blagour. Ce retard dans l'infiltration étant faible il est nécessaire que le sous-système A soit capacitif et transmissif. Il faut donc imaginer le sous-système A comme un réservoir perché qui alimente le karst par débordement lorsque la charge augmente. Ainsi, une pluie suffisamment importante, en augmentant la charge hydraulique de cet aquifère, provoquera une crue de l'aquifère karstique dans son ensemble (cf. fig. 124). Le sous-système A module donc le transit



de l'eau, mais n'a pratiquement pas l'influence sur le transfert des impulsions. Sur le terrain, cette zone superficielle correspond à une frange de calcaire altérée et colmatée à la base. L'interconnexion des différentes fissures élargies est, malgré le colmatage, sûrement assez bonne. Des paléostructures karstiques sont réutilisées et forment à cause du colmatage, des zones

capacitives. L'évacuation du trop-plein de cet aquifère doit se faire par des paléostructures décolmatées. La réactivation de ces structures est en relation avec le ruissellement de surface se produisant sur les petits bassins sidérolithiques. En effet, seule la concentration ponctuelle de l'énergie peut provoquer un décolmatage. Ainsi, la surface du Causse semble étanchéifiée sur quelque dizaines de mètres de profondeur. Les seuls points permettant un transit rapide vers la partie profonde de l'aquifère sont associés aux points de perte (cf. fig:125). Cette constatation.

fig: 125 Schéma de la zone superficielle du Causse de Martel.



- A - Aquifère superficiel,
- B - Zone colmatée
- C - Zone non saturée de l'aquifère karstique.
- ↓ - Phénomène d'effluence
- ↓ - Infiltration directe; pertes ou (et) exutoire de l'aquifère superficiel.
- ↓ - Infiltration rapide et retardée de l'aquifère karstique.
- █ - Colmatage au sens large
- ████ - Colmatage à base d'éléments détritiques tertiaires.

rejoint celle faite par les spéléologues qui ne réussissent à pénétrer en profondeur le Causse de Martel que par les pertes.

Le colmatage en surface de ce karst pose un problème paléomorphologique. Ainsi, on peut penser que ce phénomène est dû à la présence durant le Quaternaire récent d'un pergélisol. La partie supérieure de ce pergélisol devrait dégeler lors des débâcles. Ainsi, sur une épaisseur relativement modérée, des écoulements "pseudo-karstiques" devraient pouvoir se produire. En profondeur, le gel interdisait tout écoulement important. Le colmatage de la partie supérieure du karst serait alors associé au creusement des vallées. Ce résultat remet en cause une partie de l'interprétation exposée à la fin du chapitre II. En effet, un karst profond aurait pu se développer avant le creusement des vallées sèches (cf. paragraphe II.2.4)

Les structures B1 et B2 (cf. fig. 123) sont des structures profondes du karst. Elles ont surtout été mises en évidence grâce à l'étude hydrodynamique.

Le sous-système B1 ne module pratiquement pas le transit de l'eau et le transfert des impulsions. Ce sous-système est transmissif et peu capacitif. Cette structure correspond à un ensemble de vides karstiques très bien organisés et certainement surdimensionnés par rapport aux quantités d'eau qui y transsident actuellement. Une partie de cette structure est pénétrable et constitue le réseau spéléologique de la Couze (système du Blagour). Dans la réalité, cet ensemble de vides s'étage à différentes altitudes au dessus du niveau moyen des eaux. De ce fait, les conduits de la structure B1 apparaissent comme les paléostructures réactivées.

A l'inverse, la structure B2 module à la fois le transit de l'eau et le transfert des impulsions. C'est donc un système capacitif et peu transmissif. C'est lui qui alimente les sources en étiage. La réalité de cette structure est difficile à appréhender. On sait simplement qu'elle fonctionne indépendamment de la structure B1 et qu'elle est située dans la masse calcaire. La présence de Silice dans les eaux d'étiage fait penser qu'il pourrait s'agir de structures karstiques partiellement colmatées.

Le sous-système C (cf. fig. 123) a été mis en évidence grâce à l'étude hydrogéochimique. Des écoulements lents dans des régions de l'aquifère pauvres en CO_2 provoquent une précipitation de CaCO_3 et donc un appauvrissement de la minéralisation des eaux d'étiage. Cette zone est située à proximité de l'exutoire; Il faut remarquer que seules les sources du Sorpt et de Fontille dont les vasques sont encombrées de dépôts détritiques présentent des eaux moins minéralisées en étiage qu'en hautes eaux. Il faut également rappeler que la source du Blagour de Souillac présente la même caractéristique chimique et que la vasque de l'exutoire principal de ce système est colmatée par des dépôts détritiques (J.P Fabre 1983). Ainsi, l'existence du sous-système C est directement liée au colmatage de l'extrême aval des systèmes. Les écoulements lents ne se produisent qu'en dehors des crues. En hautes eaux, le drainage est à nouveau efficace. Il est donc probable que le sous-système C est l'extrême aval noyé de la structure B1

De plus, il est probable que le sous-système B2, plus récent que le sous-système B1, est situé altimétriquement sour ce dernier et est désorganisé à l'aval par la remontée du niveau de base. Toutefois, cela ne suffit pas à expliquer le fonctionnement actuel. Il est possible que les quantités d'eaux à évacuer soient actuellement plus importantes que lors de la mise en place de la structure B2. Il y aurait donc toujours "engorgement" de la structure B2 et réactivation en hautes eaux de la structure B1.

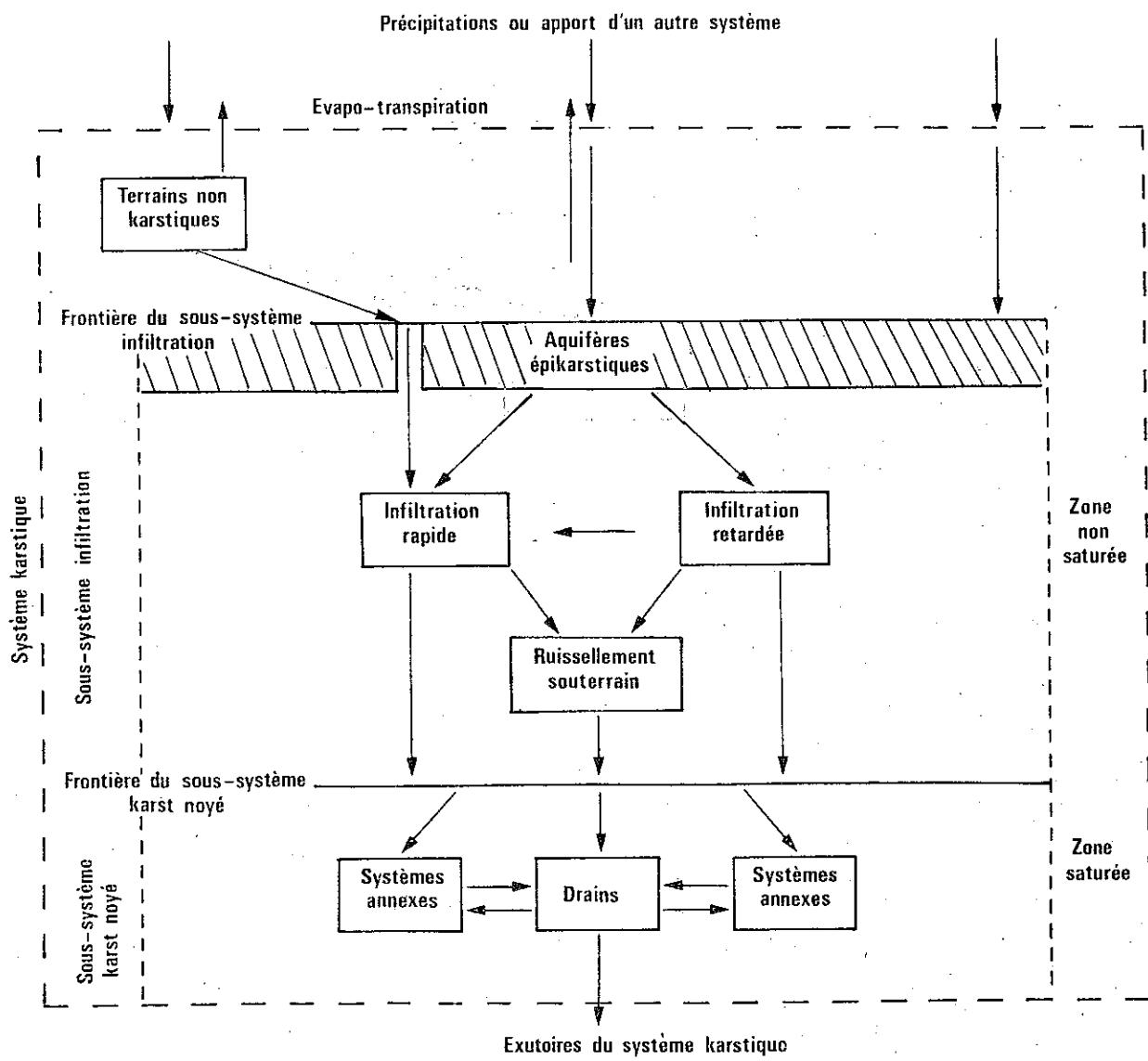
Le surdimensionnement de la structure B1, trouve lui aussi, son explication dans l'évolution paléogéographique du Causse de Martel. En effet, il est probable que l'on peut associer l'existence de structures karstiques très développées à la présence, au Quaternaire, d'écoulements de surface importants, à l'amont des systèmes, sur les formations tertiaires (cf. Paragraphe III.4.4.4).

Ainsi, le fonctionnement de l'aquifère résulte d'une évolution complexe de la paléogéographie durant le Quaternaire récent. Tant que les différents stades de cette évolution ne seront pas clairement connus, il sera difficile d'appréhender, sans campagne de forage, la structure réelle de cet aquifère en profondeur.

Une chose pourtant est certaine, ce ne sont pas les différences lithologiques qui peuvent expliquer le fonctionnement complexe de ces systèmes. En effet, les deux systèmes étudiés ont des fonctionnements pratiquement identiques et pourtant la plus grande partie des structures karstiques profondes du système du Blagour se trouvent dans les calcaires du Bajocien alors que celles du Sorpt sont situées dans le Bathonien inférieur (cf. paragraphe II 1.2.3)

En guise de conclusion, on peut illustrer le fonctionnement de l'aquifère par le schéma de la figure 126. Ce sché-

fig: 126 Schéma de l'aquifère karstique du Causse de Martel



ma reprend celui de la *figure 118*. Toutefois l'épikarst n'y joue pas le même rôle et il faut garder en mémoire que la zone saturée est, dans le cas de l'aquifère karstique étudié, complexe et discontinue.

6.3 Particularités de chacun des systèmes étudiés

Les systèmes du Blagour et du Sorpt ont une structure et un fonctionnement qui correspondent au schéma général présenté précédemment. En particulier, le fonctionnement du système du Sorpt, donc la majeure partie de l'impluvium est constituée de calcaires, correspond le mieux à ce schéma général.

L'impluvium du système du Blagour étant constitué d'une partie non karstique importante, ce système fonctionne un peu différemment de celui du Sorpt. L'apport d'eau de ruissellement de surface pénétrant directement dans l'aquifère par la perte de la Couze permet à une quantité d'eau importante de transiter rapidement dans l'aquifère. La présence de pertes provoque une sorte de court-circuit du sous-système A. De plus, la structure de l'aval du système s'articule autour de l'axe de drainage reliant la perte de la Couze au Blagour. Les grandes quantités d'eau à évacuer rapidement à cause du fonctionnement de la perte de Couze ont permis à la vasque du Blagour de ne pas être colmatée. Ainsi, le sous-système C est pratiquement absent au niveau de la source du Blagour.

Lorsque l'on s'éloigne de l'axe perte de la Couze-Blagour, les caractéristiques générales de l'aquifère du Dogger réapparaissent. En particulier, la source de Fontille et la source du Sorpt ont des comportements hydrogéochimiques forts comparables. Il est donc permis de penser que la partie karstique du système du Blagour, en dehors de l'axe perte de la Couze-Blagour est structurée de la même manière que le système du Sorpt. Toutefois, il faut garder en mémoire que la fracturation des calcaires n'a pas tout à fait les mêmes directions principales dans la région du Sorpt et du Blagour. Pour le système du Sorpt, la direction de fracturation la plus développée est la même que celle du drainage principal. En revanche, sur le système du Blagour, il existe deux directions dominantes de fracturation dont une est perpendiculaire à la direction principale des écoulements.

Il est possible que, de ce fait, le karst noyé du système du Blagour soit plus compartimenté que celui du Sorpt. Les coefficients de tarissement plus forts observés pour la source du Sorpt peuvent également être en partie expliqués par dispositif structural.

La complexité de la structure et du fonctionnement de l'aquifère est soulignée par les fonctionnements respectifs des sources de Fontille et de la Cressonnière du Blagour. Cette dernière est l'exutoire d'une zone capacitive et peu transmissive. On peut penser qu'il s'agit d'un exutoire alimenté par le sous-système B2, qui dans le cas présent est proche de la surface topographique. Il est d'ailleurs remarquable que la pluspart des sources karstiques importantes présentent, sur le Causse de Martel, de telles "sources satellites".

En hautes eaux, la source de Fontille joue le rôle d'un trop-plein du système du Blagour. Elle est située à l'exutoire aval de paléostructures réactivées en hautes eaux. En étatage, elle est l'exutoire d'une zone noyée située à proximité de la surface. De plus, le colmatage de la source provoque des écoulements très lents à proximité de l'exutoire.

CHAPITRE IV

VOLUME DES RESERVES. LOCALISATION DES ZONES EXPLOITABLES.

1. GENERALITES
2. VOLUME DES RESERVES DES KARSTS NOYES DES SYSTEMES DU BLAGOUR ET DU SORPT.
3. DEFINITION DES ZONES D'EQUIPOTENTIALITE DE RESSOURCES EXPLOITABLES.
4. PROBLEMES LIES A L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES
5. CONCLUSION

I GENERALITE

D'une manière générale, on appelle réserve d'un aquifère la "quantité d'eau gravitaire contenue, à une date donnée, dans un aquifère" (G.Castany et J.Margat; 1977). Cette réserve correspond donc, dans le cas du karst, à l'eau contenue à la fois dans la zone saturée et dans la zone non saturée

Il est alors nécessaire d'introduire la notion de réserve exploitiable qui représente "la quantité d'eau (ou volume) d'eau maximale qu'il est possible en pratique d'extraire de la réserve d'un aquifère." (G.Castany et J.Margat; 1977). Dans le cas des aquifères karstiques, ce volume correspond à celui de l'eau contenue dans le karst noyé. Une estimation de cette réserve peut être faite à partir du volume dynamique, c'est à dire, du volume du karst noyé dont l'écoulement détermine les variations de débit à l'exutoire" (A.Mangin; 1975). Ainsi défini, il ne représente qu'une partie du volume des réserves potentiellement exploitables. En effet, il existe des masses d'eau qui, par leur situation par rapport au drain ou par leur altitude plus basse que l'exutoire, ne pourront jamais atteindre la source. Toutefois, il est intéressant de noter que cette partie de la réserve participe tout de même aux écoulements, puisqu'elle est en mouvement. La valeur du coefficient de tarissement, en particulier, tient compte de cette réalité. *Le volume dynamique fournit donc une valeur estimée par défaut de la réserve exploitabile d'un système karstique.*

L'exploitation de ces réserves, soit pour l'irrigation, soit pour l'AEP pose le problème de la ressource exploitabile. La ressource exploitabile est "la quantité d'eau utilisable qu'il est techniquement possible et économiquement avantageux de prélever dans un aquifère..." (G.Castany et J.Margat; 1977). La ressource exploitabile qui concerne un domaine et une durée défini, s'exprime en Volume/Unité de temps. Les diverses contraintes pratiques et écomoniques déterminent cette grandeur. La définition précédente n'est vraiment applicable qu'aux milieux homogènes ou pouvant y être assimilé. Le karst est, comme nous l'avons déjà remarqué, un milieu hétérogène à tous les niveau d'observation. Il est donc impossible, sur un domaine d'exploitation, de définir une ressource unique. En fait, tout dépend des structures que recoupe

l'ouvrage de captage. Si les zones capacitatives rencontrées par le forage sont en interconnexion, sans fortes pertes de charge, avec d'autres zones capacitatives, la ressource exploitabile pourra être très élevée. En revanche, si, sur le même domaine, pourtant capacitif, l'ouvrage ne recoupe pas de structures capables de conduire facilement l'eau stockée dans le karst, la ressource exploitabile pourra paraître médiocre. *Il nous semble donc nécessaire de définir des zones d'équipotentialité de ressource, sachant que la ressource effectivement exploitabile sera fonction des conditions locales d'exploitation.*

Enfin, à l'heure actuelle, seule une infime partie de la ressource naturelle est exploitée par captage de l'eau à l'exutoire des systèmes étudiés. Cette ressource naturelle en eaux souterraines est définie comme "la ressource en eau renouvelable qui serait théoriquement procurée par le captage de la totalité du débit (global) naturel des nappes souterraines, dans un domaine défini et en régime d'équilibre moyen, c'est à dire sans déminution significative à long terme de la réserve" (G.Castany et J.Margat; 1977). Ce paramètre, bien que défini pour les milieux homogènes est important à connaître pour définir la quantité d'eau pouvant être captée sans appauvrissement des réserves. Malheureusement, la structure et le fonctionnement de l'aquifère karstique rendent délicate l'obtention de ce paramètre. En effet, il faudrait connaître en tous points de la zone capacititive la possibilité naturelle de l'aquifère à reconstituer des réserves. Or, en l'absence de tout suivi piézométrique des différentes zones capacitatives, il est difficile de répondre quantitativement à ce genre de question. En règle générale, cette capacité de reconstitution de la réserve sera fonction de la qualité de la communication avec le drainage. Habituellement, la réserve en eau souterraine contenue dans le karst noyé est longue à se reconstituer (A.Mangin;1975).

2. VOLUME DE LA RESERVE DES KARSTS NOYES DES SYSTEMES DU BLAGOUR ET DU SORPT

Le volume dynamique calculé lors de l'étiage de 1982 est de $3.73 \times 10^6 \text{ m}^3$ pour le système du Blagour et de $1.72 \times 10^6 \text{ m}^3$ pour le système du Sorpt. Proportionnellement à la superficie

de ces deux systèmes, ces réserves sont faibles, mais non négligeables. Tous les résultats des autres études menées semblent montrer la même différence de réserve entre le système du Sorpt et le système du Blagour. Toutefois, compte tenu de la complexité de la structure de l'aquifère, ces résultats doivent être discutés.

Pour le système du Blagour, il faut tenir compte de la partie du bassin d'alimentation constituée par les grés du Trias. Si l'on estime que l'alimentation du karst par cet aquifère du Trias est négligeable (cf. chapitre II et III), le volume dynamique de ce système se rapporte donc à une surface d'aquifère plus faible. Ainsi, les réserves exploitables sont plus importantes par unité de surface que ne le laissait croire l'analyse brute des valeurs de volume dynamique.

Nous avons également remarqué que l'aval de ce système était en partie colmaté par l'empâtement des vallées. Il est donc fort probable qu'il existe des eaux sous le niveau de l'exutoire. De plus, ces eaux sont contenues dans la partie inférieure des structures de l'aquifère qui, non seulement sont désorganisées par la remontée du niveau de base, mais aussi, intrinsèquement peu transmissives. toutefois, nous avons également remarqué que la présence de la perte de la Couze avait eu pour effet la mise en place d'un drainage efficace. De ce fait, la réserve du karst dans cette région est bien drainée. Le volume dynamique va donc représenter une valeur proche du volume réel des réserves. Ceci nous semble confirmé par les anomalies rencontrées sur les courbes de tarissement (cf. III. 4.2.2). En effet, lors du tarissement, la zone noyée apparaît discontinue. Ce phénomène peut, bien évidemment, s'expliquer par la géométrie des calcaires du Dogger, mais également par la possibilité qu'ont les zones capacitatives de s'épancher facilement vers l'exutoire.

Pour le système du Sorpt, la désorganisation des écoulements à l'aval du système par colmatage de la source semble beaucoup influencer le régime des eaux. Le volume dynamique calculé est le volume d'eau en mouvement dans le karst noyé qui alimente l'exutoire. Or, on sait que la partie supérieure des structures karstiques est bien organisée. La réserve située dans cette partie est faible et facilement vidangeable. Par l'intermédiaire du volume

dynamique, la réserve de ce système paraît donc faible. Pourtant, il est fort probable qu'en profondeur il existe des vides karstiques moins évolués que les précédents mais contenant des quantités d'eau non négligeables. Les données dont nous disposons ne nous permettent pas d'évaluer le volume de cette réserve.

Ainsi, malgré la différence entre le volume dynamique du système du Sorpt et celui du système du Blagour, il est fort probable que les réserves exploitables sont, proportionnellement à la superficie des systèmes, comparables.

3. DEFINITION DES ZONES D'EQUIPOTENTIALITE DE RESSOURCES EXPLOITABLES

La carte hydrogéologique (hors texte) présente ces différentes zones exploitables. Pour l'aquifère karstique, trois zones ont été distinguées. Ce sont :

1° Zones à réserves importantes exploitables par forages

Ces zones sont situées à l'aval des systèmes du Blagour et du Sorpt. Elles sont étirées le long des axes de drainage. L'épaisseur de la couche aquifère est de l'ordre de 50 à 80m. Selon la position géographique des ouvrages, la profondeur des forages s'étagera entre 80 et 150m. Les zones les plus intéressantes sont bien évidemment situées dans les vallées et les vallées sèches où les ouvrages de captage seront moins profonds. Les débits susceptibles d'être soutirés seront supérieurs à $50m^3/h$.

2° Zones à faibles réserves

Ces zones entourent les zones précédentes. Elles correspondent à une partie mieux drainée de l'aquifère. Les structures capacitives sont discontinues et moins épaisses. Les débits pouvant être soutirés seront inférieurs à $50m^3/h$.

Toutefois, le plongement des couches calcaires vers le sud-ouest permet de penser qu'au sud du système du Sorpt, des forages profonds ($> 200m$) permettront l'obtention de débits supérieurs. En effet, bien que la karstification n'ait certainement pas agi jusqu'au mur de l'aquifère (marnes toarcviennes), l'importante fissuration dans cette zone laisse supposer que les calcaires contiennent de l'eau en quantité non négligeable.

Dans tous les cas, les forages seront supérieurs à 100m.

3° Zones à réserves très faibles, souvent inexploitables

Ces zones sont situées à l'amont des systèmes du Blagour et du Sorpt et à l'ouest de la faille de Chasteaux. A l'amont du système du Blagour, la ressource exploitabile est négligeable. Il en est de même à l'ouest de la faille de Chasteaux. En revanche, et pour les mêmes raisons que précédemment, des forages profonds situés à l'est de la faille de Chasteaux et sur le système du Sorpt pourront donner une certaine quantité d'eau. Les forages seront d'une profondeur de 200 à 250m selon les cas.

D'une manière générale, les calcaires du Bajocien sont certainement plus productifs que ceux du Bathonien. En effet, la karstification semble avoir plus affecté les calcaires oolithiques que les calcaires micrites à intercalations marneuses du Bathonien.

Pour des besoins en eau peu importants, il sera possible de trouver, soit dans des poches de dépôts continentaux tertiaires, soit dans la zone superficielle de l'aquifère, de petites zones productrices (qq m^3/h).

4. PROBLEMES LIÉS À L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES.

4.1 Implantation des forages

Même dans les zones à ressources exploitables importantes, l'implantation de forages doit être l'aboutissement d'une étude particulière détaillée. En effet, la karstification n'agit que le long des discontinuités existant dans la roche. Ainsi, il est important de placer les forages en fonction du réseau de fractures affectant le calcaire. De plus, les vides karstiques contenant de l'eau ne sont pas placés aléatoirement au sein de la roche calcaire. Ils se disposent en fonction de la direction du gradient hydraulique et de l'ouverture des fractures. Pour ces raisons il est important de connaître les remontées brutales du mur de l'aquifère (failles, flexures) pouvant avoir fait varier localement l'écoulement des eaux. De telles structures sont fréquentes sur le système du Blagour (par exemple la Faille Russac-Farges; cf Ch.II)

La géophysique et en particulier la MTA (magnétotellurique artificielle) associée à une étude de terrain détaillée doit permettre des implantations rationnelles de forages.

Cela dit, il ne faut pas perdre de vue que le karst est un milieu hétérogène. Aucune étude de détail, si bien menée soit-elle, ne peut garantir qu'un seul forage permettra de recouper une zone productrice. Il est prudent de prévoir plusieurs sondages.

4.2 Problème de la reconstitution des réserves

Compte tenu des données dont nous disposons, il est très délicat de répondre à ce problème quantitativement. En effet, aucune exploitation par forage n'existe à l'heure actuelle sur les systèmes étudiés. L'influence de tels ouvrages sur le rabattement de la nappe, la piézonétrie et l'alimentation des sources n'a donc pas pu être étudiée. Seule la modélisation du système karstique permettrait de prévoir l'influence de tels captages. A l'heure actuelle, les connaissances générales sur les aquifères karstiques montrent qu'il n'est pas encore possible techniquement d'effectuer une telle modélisation (A. Mangin; 1984).

Toutefois, on peut, qualitativement, dire qu'un étiage prononcé comme celui de 1976 a marqué les réserves du karst pendant plus d'un cycle (cf. III.4.4.4).

A la suite d'un appauvrissement naturel de la nappe, les réserves du karst sont donc difficiles à reconstituer.

Enfin, les réserves du karst n'ont pas le même volume d'un cycle à l'autre. Il est donc fort probable qu'une exploitation de l'aquifère karstique n'aura pas la même influence sur l'appauvrissement des réserves d'un cycle à l'autre.

REMARQUE: Pour exploiter l'aquifère karstique, il est possible d'abaisser artificiellement le niveau de l'exutoire des systèmes. Un tel abaissement permettrait sans aucun doute d'extraire des quantités d'eau plus importantes que celles qui s'écoulent à l'heure actuelle. Toutefois, du fait de l'organisation de l'aquifère karstique le changement d'une des conditions aux limites de ce système peut avoir des conséquences imprévisibles, comme l'appauvrissement irréversible du karst noyé, ou le colmatage d'une partie du système, ou encore le décolmatage d'une autre partie. De tels projets doivent donc être assortis de précautions garantissant la préservation des réserves du karst.

5. CONCLUSION

Le volume du karst noyé des systèmes du Blagour et du Sorpt est non négligeable. Une valeur approchée par défaut est de $3.73 \times 10^6 \text{m}^3$ pour le Blagour et $1.72 \times 10^6 \text{m}^3$ pour le Sorpt.

La valeur annoncée pour le système du Blagour est certainement plus proche de la réalité que celle qui est annoncée pour le système du Sorpt.

Les zones exploitables par forage sont situées à l'aval des systèmes. A l'amont et sur le système du Sorpt, seules des réserves proches de celles de milieux fissurés pourront être exploitées.

Avant toute implantation de forage, il est nécessaire de mener une étude géophysique et géologique détaillée de manière à avoir le maximum de chances de recouper des zones productrices. Il est nécessaire de prévoir plusieurs sondages.

Enfin, l'influence de tels captages sur les réserves du karst n'est pas évaluable avec les données dont nous disposons. Toutefois, les réserves semblent longues à se reconstituer.

CHAPITRE: V

PROTECTION DE LA QUALITE DES RESSOURCES EN EAU DU KARST

1. PROBLEMES DE POLLUTION DES AQUIFERES KARSTIQUES EN GENERAL. PROBLEMES POSES PAR LEUR PROTECTION.

2. VULNERABILITE DES SYSTEMES ETUDIES.

3. PREVENTION DES POLLUTIONS.

4. CONCLUSION.

1 PROBLEMES DE POLLUTION DES AQUIFERES KARSTIQUES EN GENERAL.
PROBLEMES POSES PAR LEUR PROTECTION.

Il est couramment admis que les aquifères karstiques sont très sensibles aux pollutions de toutes sortes. Il est vrai que de nombreux exemples de pollutions spectaculaires de sources karstiques ou de réseaux spéléologiques ont été décrits depuis le début du siècle.

Les auteurs s'accordent en général pour dire que la vulnérabilité de l'aquifère karstique est essentiellement dûe au caractère rapide et non filtrant des écoulements qui s'y produisent. Il n'existerait donc, au niveau de ces aquifères, aucune possibilité d'épuration des eaux, qu'elle soit mécanique ou biologique. Dans ces conditions, la protection des eaux d'une source karstique impliquerait que "l'aire d'alimentation de cette source soit entièrement comprise dans un périmètre unique de protection, à l'intérieur duquel aucune activité industrielle, aucun dépôt et aucun transport de produits dangereux ne devrait être admis" (N.Crampon, 1974).

De telles mesures, qui, comme le souligne N.Crampon lui même, ne sont, dans la pratique, guère réalisables, nous semblent, le plus souvent, injustifiées. En effet, la diversité et la complexité des aquifères karstiques (A.Mangin, 1982) interdit la possibilité d'établir des règles générales de protection. Ainsi J.Avias (1977) écrit: "Pour réaliser une protection optimale des aquifères karstiques, un premier principe très général, mais sur lequel l'expérience prouve qu'on n'insistera jamais assez, est qu'il faut d'abord faire toutes les études nécessaires pour acquérir une connaissance suffisante du fonctionnement du système karstique considéré".

Les problèmes de pollution, et donc de protection, rencontrés au niveau d'un aquifère karstique, sont plus complexes que ceux rencontrés au niveau d'un aquifère en milieu poreux. Cette complexité est uniquement dûe à l'hétérogénéité apportée par l'organisation des écoulements à l'intérieur de l'aquifère. L'analogie, proposée par A.Mangin, (1975) entre un bassin versant de surface et le système karstique, suggère que les problèmes de pollution y seront analogues.

Dans le cas d'un bassin versant de surface, les différentes phases aboutissant à la protection de la qualité des eaux peuvent être synthétisées en trois points. Ce sont:

1° connaissance hydrologique et hydrogéologique approfondie au niveau du bassin versant.

Pour assurer une protection efficace d'un bassin versant de surface il est nécessaire de connaître:

- les modes de transit au sein des différentes nappes,
- la nature des différentes nappes (milieu poreux, fissuré, karstifié),
- les relations entre les nappes et les cours d'eau,
- les modalités de ruissellement et d'infiltration,

Il est également important de connaître les capacités d'épuration des différentes nappes ainsi que celles d'auto-épuration des différents cours d'eau.

2° Inventaire des points nécessitant une certaine qualité des eaux.

D'une manière générale, on désigne par qualité des eaux, un jugement porté sur l'aptitude d'une eau ou d'un cours d'eau à certains usages, tels que:

- alimentation des populations en eau potable,
- pêche,
- reproduction du poisson,
- baignade,
- irrigation,
- etc..

Il est donc nécessaire de définir non seulement la situation géographique du point d'eau à exploiter, mais également son utilisation immédiate ou future. Ainsi la qualité requise pour l'alimentation en eau potable des populations ne sera pas la même que celle requise pour la baignade ou la pêche.

3° Inventaire des points de pollution, de leur nature et de leur impact sur l'environnement et la qualité des eaux.

Les pollutions peuvent être de divers types:

- pollution industrielle: elle est marquée par le rejet de produits chimiques ou organiques toxiques ou d'hydrocarbures;

- pollution urbaine: elle est caractérisée par des rejets de matières organiques et chimiques, de bactéries et de virus, mais également d'hydrocarbures ;
- pollution agricole: elle provient de l'utilisation d'engrais ou de lisiers épandus en trop grande quantité ou à des périodes où la végétation ne peut pas les utiliser;
- pollution routière et autoroutière: elle est marquée par des rejets d'hydrocarbures et de métaux lourds tels que le plomb;
- pollution accidentelle: elle regroupe toutes les sortes de pollution mais d'une manière ponctuelle dans le temps et dans l'espace;

A partir de ces différents paramètres, il sera possible, au niveau du bassin, de définir des zones pour lesquelles certaines industries, certains épandages ou la construction d'habitations seront interdits. On pourra également définir des zones où pourraient se développer les industries polluantes sachant que leur impact serait nul sur les secteurs nécessitant une qualité particulière de l'eau.

Enfin, il est impératif de prévoir un dispositif d'alerte dans le cas où se produirait une pollution accidentelle.

La protection des eaux implique donc une politique globale de la gestion des eaux à l'échelle du bassin versant. Cette notion n'est pas nouvelle et est déjà mise en pratique par les Agences de bassin.

Adaptions cette démarche au cas des aquifères karstiques. En milieu karstique, l'ensemble correspondant à un bassin versant de surface est, comme nous l'avons déjà dit, constitué par le système karstique. L'étude des mesures de protection devra être entreprise à l'échelle de cet ensemble.

Repronons point par point les différentes phases de cette étude.

1.1 Connaissance approfondie de la structure et du fonctionnement de l'aquifère karstique à protéger

Les drains d'un système karstique sont l'équivalent du "chevelu" d'un bassin versant de surface. De même, les

zones capacitatives ou systèmes annexes au drainage sont à rapprocher des différentes nappes alimentant les cours d'eau en basses eaux. Ainsi, comme pour un bassin versant de surface, il sera important de connaître les vitesses de transit au sein des structures drainantes, la valeur de la dilution d'un éventuel polluant et le pouvoir épurateur de ces véritables cours d'eau souterrains. Il sera également intéressant de savoir de quelle manière les zones capacitatives sont alimentées à partir de l'infiltration ou, comme dans le cas des nappes alluviales, à partir du drain lui-même. Entre un bassin versant de surface et un système karstique la seule différence existante est que la structure karstique se développe dans un espace à 3 dimensions (volume de l'aquifère) et qu'elle n'est pas observable directement. Cette particularité semble avoir longtemps constitué la difficulté majeure pour protéger efficacement les aquifères karstifiés.

La connaissance de la structure et du fonctionnement d'un système karstique nécessite l'emploi de méthodes telles que celles que nous avons utilisées dans ce travail. Parmi elles, les traçages et l'hydrogéochimie apportent la plupart des informations nécessaires à la protection de l'aquifère karstique.

Les traçages fournissent les vitesses de transit existant dans les zones drainantes ou capacitatives de l'aquifère. Ils permettent également d'avoir une idée de la dilution avec laquelle un éventuel polluant serait restitué. Nous voyons au moins trois raisons de rester prudent dans l'extrapolation des résultats des traçages au transit d'éventuels polluants.

- 1° La période pendant laquelle est effectué le traçage est soigneusement choisie, pour éviter que la restitution du colorant ne soit affectée par la non linéarité du système. On sait par exemple, que lorsqu'un traçage est influencé par une crue, le colorant peut être restitué en plusieurs fois: Il pourra également être restitué lentement avec la vidange d'un système annexe. (A. Mangin - communication orale, M. Lépiller 1980, I. Müller 1980)
- 2° Un polluant ne se comporte pas dans l'eau comme la fluorescéine, ce n'est pas un traceur parfait. Le coefficient de diffusion d'un polluant n'a aucune raison d'être égal à celui de la fluorescéine. De plus, il est fort probable

qu'une partie des matières polluantes reste piégée temporairement ou définitivement dans le karst. Ce "piégeage" peut être dû à l'absorption ou à l'adsorption, mais également à la "flottation" ou à la sédimentation; tout dépendra du type de polluant envisagé.

Les bactéries et les virus, ainsi que certains éléments chimiques, seront captés par les argiles et les limons argileux (B.Merhli, 1974 *in* I.Müller, 1980; R.Moreau, 1980; Caumartin, 1980).

Les hydrocarbures et les graisses seront, du fait de leur faible densité, piégés dans les points hauts des réservoirs; les structures karstiques peuvent dans certains cas constituer d'excellents dégraisseurs naturels.

Les matières plus lourdes que l'eau vont avoir tendance à sédimentier dans les points bas. Ces phénomènes de "piégeage", s'ils ont été constatés par plusieurs auteurs, n'en restent pas moins très mal connus. Ils sont assujettis à un grand nombre de paramètres physiques et chimiques?

Il est important de connaître l'évolution de ces matières polluantes ainsi piégées dans le karst. Les crues vont jouer un grand rôle dans leur déplacement par érosion des dépôts argileux, par effet de chasse d'eau ne participant pas habituellement aux écoulements ou par simple lessivage des argiles.

Le problème de la dégradation de ces éléments dans le karst reste entier. On sait que les virus et les bactéries adsorbés ou absorbés peuvent rester virulents longtemps (plus de 90j *in* Moreau, 1980). Cependant, le karst en tant qu'écosystème doit être capable, par adaptation, d'éliminer une partie même faible de la pollution. Ces phénomènes sont encore mal connus (R.Moreau, 1980). Il semble que cette épuration dépend:

- des vitesses de transit,
- de la présence ou non de dépôts argileux,
- de la température,
- de la richesse du milieu naturel (biologie souterraine, oxygénation de l'eau),
- de la quantité de polluant dans l'eau, donc de la dilution,

Enfin il faut remarquer que le karst est un milieu plus fragile que les milieux hydrologiques de surface. La charge polluante qu'il supporte est donc plus faible. Il existe des seuils, mal définis d'ailleurs, qu'il ne faut pas dépasser.

3° Les traçages sont effectués le plus souvent à partir de pertes ou de galeries du réseau spéléologique et non à partir d'épandage sur le sol ou de jets continus dans des dolines. Ce troisième point pose le problème de la fonction d'entrée des matières polluantes. Lorsque la pollution pénètre dans le karst par les pertes, on sait, puisque les traçages le prouvent, que cette pollution, parfois fortement diluée, (1/1000 à 1/2000) atteint relativement rapidement l'exutoire. On sait également qu'en période de hautes eaux, une partie des eaux du drain réalimentent les zones capacitatives du karst. Si l'eau du drain est polluée, la qualité des eaux des systèmes annexes (karst noyé) risque d'être altérée (A.Mangin, 1975; Blavoux, 1980).

Le karst noyé est également alimenté directement par l'infiltration (rapide ou lente). La proportion de cette alimentation par rapport à celle provenant du drain ainsi que la qualité de cette eau d'infiltration sont délicates à connaître. Toutefois, on sait que la qualité des eaux d'infiltration (lente ou rapide) est souvent meilleure que celles d'infiltration directe. En effet, le sol possède un pouvoir auto-épurateur non négligeable. Cette épuration est malgré tout plus faible dans les sols calcaires, qui sont souvent peu humifères, (V.Caumartin, 1980) que dans les sols acides. L'épuration se fait par adsorption puis utilisation par la végétation ou dégradation bactériologique. Il est important de remarquer qu'en certaines périodes de l'année (automne, hiver) les sols peuvent être lessivés. La qualité de l'eau d'infiltration sera alors médiocre. Dans la plupart des cas, l'étude hydrogéochimique permettra de mettre en évidence, d'une part, un pouvoir épurateur du sol, d'autre part, des périodes où se produisent des lessivages des sols.

1.2 Inventaire des points nécessitant une certaine qualité des eaux

Dans la majorité des cas les sources karstiques sont captées pour l'alimentation en eau potable des populations. Souvent la qualité moyenne de ces eaux, à l'échelle du cycle est correcte à cause de la forte dilution des polluants. Cependant, comme nous l'avons vu au paragraphe III.5 à travers les exemples traités, la qualité des eaux est souvent très variable d'une saison à l'autre, mais également d'un jour, voire, en hautes eaux, d'une heure à l'autre. C'est pourquoi, dans de nombreux cas, les eaux provenant du karst sont traitées avant la distribution aux populations.

Les problèmes de qualité au niveau des captages par forages sont très différents suivant leur situation par rapport au réseau de drainage, leur profondeur et la valeur du ratablement qu'ils produisent. En règle générale, la qualité de ces eaux est plus simple à préserver, car les forages utilisent souvent des eaux de provenance peu lointaine.

Les eaux des sources karstiques sont utilisées pour l'élevage des poissons. La pêche est également souvent une activité importante dans ce type de cours d'eau.

Enfin, les réserves du karst sont souvent sollicitées pour l'irrigation des cultures. La qualité requise pour ce type d'exploitation est souvent moindre.

1.3 Inventaire des points de pollution, de leur nature et de leur impact sur l'environnement et la qualité des eaux

La pollution industrielle est celle qui pose le plus de problèmes pour la protection des eaux karstiques pour au moins deux raisons:

- les rejets se produisent ponctuellement à l'échelle du système. Ils sont souvent à la fois concentrés et discontinus. Cette particularité rend encore plus délicat le traitement des effluents.
- La plupart des éléments rejetés ne sont pas dégradables dans les sols calcaires (V Caumartin, 1980).

La pollution urbaine est également ponctuelle à l'échelle du système mais les rejets sont le plus souvent continus

dans le temps. Le traitement des effluents sera, dans beaucoup de cas, facile à réaliser. Le rejet ponctuel de ces effluents dans le milieu karstique impose que leur charge polluante soit réduite. *L'épuration devra donc être poussée* (traitement primaire, secondaire et tertiaire).

Dans la plupart des cas, les épandages d'engrais mais surtout de lisiers en trop grande quantité sont responsables de pollutions importantes des eaux par les nitrates.

Deux phénomènes sont à l'origine de ces pollutions:

- 1° La production de lisiers est souvent supérieure aux besoins des cultures en amendements nitratés.
- 2° Toutes les périodes ne sont pas propices à l'épandage de lisiers ou d'engrais. Ce problème est d'autant plus aigu que les sols en pays calcaires supportent mal des charges excessives en nitrates (V.Caumartin;1980). En particulier, il est reconnu que les épandages d'automne s'infiltrent directement vers l'aquifère.

La pollution routière et autoroutière est une pollution localisée. Le lessivage des chaussées en période de pluie est à l'origine de cette pollution. Le plus souvent des aménagements adaptés permettront de réduire cette pollution (J.C.Jacque; 1981).

Les pollutions accidentelles sont, par définition le plus souvent imprévisibles. Toutefois, les zones fortement urbanisées et industrialisées, les axes routiers et autoroutiers ainsi que les axes ferroviaires constituent les zones présentant la plus forte probabilité de pollutions accidentelles. Si de telles pollutions se produisent à proximité immédiate de pertes importantes ou du système de drainage, la pollution des eaux pourra prendre un caractère catastrophique. Il est donc impératif de prévoir un système d'alerte permettant de limiter les effets de telles pollutions accidentelles.

Enfin, sur le karst, il existe une source de pollution particulière apportée par les dépôts d'ordures ou de charognes dans les gouffres, pertes et dolines. De tels dépôts sont interdits depuis le début du siècle.

1.4 Conclusion

Le problème de la protection du karst doit être abordé à partir de l'unité de drainage que constitue le système karstique. *Dans ces conditions les mesures de protection devront être adaptées à la structure et au type de fonctionnement de chaque système.*

D'une manière générale, les systèmes bien drainés et alimentés par des pertes importantes seront les plus sensibles à la pollution. Les systèmes peu karstifiés, recouverts par un sol épais et humifère, et ne présentant pas de points de perte importants seront les moins vulnérables.

La pollution peut atteindre rapidement l'exutoire à cause de l'existence des drains. Cette pollution sera souvent de courte durée. En revanche, les zones capacitives peuvent être polluées par l'infiltration lente ou retardée et par des drains, s'ils sont contaminés. Selon l'importance de ces zones capacitives dans le fonctionnement du système, la pollution pourra atteindre l'exutoire en étiage.

Le milieu karstique ne peut pas supporter des charges polluantes aussi importantes que les autres milieux naturels. Dans tous les cas, les effluents devront être particulièrement bien épurés avant d'être rejetés dans le karst.

Compte tenu de la structure générale des systèmes karstiques, il est nécessaire de protéger les points de pertes et les dolines proches des axes de drainage. Cette protection doit être modulée en fonction du lieu d'exploitation de l'aquifère et de la qualité exigée pour les eaux. Les captages par forage, s'ils sont assez éloignés d'un axe de drainage sont plus faciles à protéger que les exutoires des systèmes.

Les épandages (lisiers, engrais, boues de décantation, etc.) doivent être adaptés au type de sols à fertiliser. De plus, les saisons d'épandage devront être soigneusement choisies.

2 VULNERABILITE DES SYSTEMES ETUDIES

2.1 Zones à protéger

Les ressources en eau du Causse de Martel, étant dans cette région exploitées pour l'adduction d'eau à partir de la source du Blagour, pour l'alimentation d'une pisciculture

(le Sorpt) et le tourisme (plan d'eau du Causse), doivent rester d'une bonne qualité chimique et bactériologique.

La structure proprement karstique de l'aquifère rend les deux systèmes étudiés relativement sensibles aux pollutions. En effet, il existe des structures de drainage très développées. Elles sont souvent alimentées par des pertes. Parmi elles, la perte de la Couze (n°7), représente, à elle seule, une proportion importante de l'alimentation du système du Blagour. De plus, à cause d'un fonctionnement hydrodynamique complexe, les zones capacitatives ne sont pas négligeables. Habituellement le caractère capacitif du karst est dû à une karstification peu développée ou discontinue dans l'espace. Dans le cas de l'aquifère karstique du Causse de Martel l'aspect capacitif est dû à une inadéquation entre la structure et le fonctionnement. La désorganisation des écoulements qui s'en suit, entraîne une grande sensibilité de ces zones capacitatives aux pollutions. En effet, le drainage, très fonctionnel en hautes eaux et désorganisé en basses eaux, est en relation directe avec les zones capacitatives.

Toutefois, l'arrivée massive de polluants dans l'aquifère karstique ne semble véritablement possible qu'à partir des points de pertes. Deux raisons nous permettent de le dire :

1° une partie de la surface du karst est recouverte de formations sidérolithiques. Ces formations semi-perméables doivent, à cause du caractère acide des sols les recouvrant, épurer une bonne partie des eaux.

2° La partie supérieure de l'aquifère est caractérisée par la présence d'un colmatage. Les eaux peuvent transiter longuement dans cette zone proche de la surface et riche en humus. (A.Verlhac, technicien INRA, communication orale).

Ces sols peuvent être lessivés, en particulier en automne et en hiver. C'est également durant cette période qu'arrive aux exutoires des systèmes la plus grande proportion d'eau à transit rapide (cf. paragraphe 3.5).

Ainsi, pour cette partie du Causse du Martel, les zones vulnérables sont, par ordre d'importance : La zone en amont de la perte de la Couze (n°7), la vallée d'Entrecors, la vallée d'Estivals, la forêt de Turenne et, d'une manière

re générale, toutes les pertes de la zone limite du bassin d'alimentation.

Deux cartes hors texte présentent ces zones sensibles à la pollution. Nous avons classé ces zones sensibles en six catégories. Quatre d'entre elles sont directement fonction de la structure de l'aquifère karstique. Ce sont:

- *les zones à protéger en priorité:*

Elles se trouvent à proximité immédiate de sources, de drains peu profonds ou de pertes pérennes. Leurs limites correspondent au périmètre de protection rapproché.

- *les zones à protéger efficacement:*

Elles entourent les zones à protéger en priorité ou se trouvent à proximité de pertes en relation directe avec le drain. Sur ces zones, il faudra éviter tout rejet ou dépôt de nature à polluer gravement les eaux de ruissellement ou d'infiltration.

- *les zones à protéger:*

Elles sont situées à la verticale des axes principaux de drainage ou à proximité de pertes ou d'effondrements.

- *sur les autres zones il faudra éviter les pollutions graves au niveau des dolines.*

Enfin, deux autres catégories définissent *les zones à haut risque de pollutions accidentelles et les zones à risque de pollutions accidentelles recouvrant des zones sensibles à protéger.*

2.2 Inventaire des pollutions pouvant exister sur la Causse de Martel

Actuellement les pollutions chroniques d'origine urbaine, domestique, agricole ou industrielle sont peu importantes à cause de la faible activité économique existant dans cette région.

Par ordre d'importance, les risques de pollutions chroniques et saisonnières sont:

- l'épandage d'engrais et surtout de lisiers trop près de zones de pertes ou sur des zones où le couvert végétal est insuffisant.

- l'épandage de produits fertilisants en quantités supérieures aux capacités d'absorption de la végétation (variables selon les saisons).
- la pollution urbaine, même si de nombreux villages ont des projets d'assainissement.
- l'épandage de "sels de déverglaçages" sur la RN 20.
- l'emploi de désherbants le long de la voie SNCF Paris-Toulouse (deux à trois fois par an).

L'importance des dépôts sauvages et des rejets non contrôlés est difficile à évaluer. Toutefois, de telles pollutions ont été observées sur le Causse de Martel. Ce sont:

- des dépôts d'ordures sauvages au niveau des pertes, avens, dolines et carrières,
- les jets d'animaux morts dans les pertes et avens,
- la vidange ou le nettoyage de "tonnes à lisier" à proximité de pertes,
- la vidange de moteurs directement dans des vides karstiques (carrières).

Les risques de pollutions accidentelles sont sans aucun doute les plus importants. Ce sont:

- les possibilités d'accidents sur la RN 20 de camions transportant des produits polluants, au niveau du "pont de Couderc", en amont de la Perte de la Couze. Ce risque est, semble-t-il, un des plus graves. Dans l'avenir ce risque va être augmenté, car cette portion de RN 20 va se trouver entre deux tronçons à grande vitesse.
- un accident ferroviaire sur la voie SNCF Paris-Toulouse d'un convoi transportant des produits toxiques. Ce risque est moins important que sur la RN 20.

3 PREVENTION DES POLLUTIONS

3.1 Pollutions d'origine agricole

Les mesures à prendre pour diminuer ce type de pollutions sont:

- la sensibilisation de la population agricole
- l'interdiction d'épandage de lisier à proximité immé-

- diate des pertes (dolines présentant des pertes),
- des études pédologiques pour déterminer l'épaisseur et la nature des sols, donc les quantités d'engrais et de lisier que peuvent recevoir les parcelles, lors des études d'impact des installations classées,
 - prévoir un système non polluant d'élimination du lisier excédentaire ne pouvant pas être épandu sur le Causse de Martel, soit à cause de la saison, soit à cause de la faible capacité d'assimilation du sol.

3.2 Pollutions dues au trafic routier et ferroviaire

Un certain nombre d'aménagements peuvent limiter les pollutions de ce type. Ce sont:

- la mise en place de bacs de dégraissage et de décantation à l'exutoire des fossés de la RN 20 entre les PR 61,4 et 63,4 ,
- si ce tronçon de la RN 20 devait être refait, il faudrait prévoir des équipements permettant de retarder le ruissellement des eaux routières,
- intervenir auprès de la SNCF pour éviter l'emploi trop fréquent des désherbants sur le tronçon de la ligne Paris-Toulouse traversant les calcaires. Eviter, autant que possible, les périodes pluvieuses pour désherber.

3.3 Pollutions urbaines et domestiques.

Les précautions à prendre pour minimiser ces pollutions sont:

- prévoir une bonne surveillance des stations d'épuration (pouvoir épurateur du karst mal connu),
- éviter à tout prix que les exutoires des stations d'épuration se trouvent à proximité des zones sensibles (pertes, dolines, avens),
- éviter de concentrer les effluents domestiques sans les traiter (sur le Causse, les points bas étant toujours les dolines).

3.4 Pollutions industrielles

Pour garantir la qualité chimique des eaux à l'exutoire des systèmes, il faut:

- interdire tout stockage de rejets ou déchets toxiques dans les carrières ou les dolines du Causse de Martel et plus particulièrement sur les bassins d'alimentation du Blagour et du Sorpt.

en particulier, il faut:

- interdire l'installation d'activités de nature à polluer les eaux dans toute la vallée d'Entrecors, depuis la Perte de la Couze (n°7) jusqu'au Blagour (n°1) (*cf. carte hors texte*).
- éviter de telles activités en amont de la perte de la Couze (n°7), dans la vallée au nord d'Estivals (les Rebières), et dans la forêt de Turenne (*cf. carte hors texte*)

3.5 Dépôts sauvages et rejets non contrôlés

Pour éviter ce type de pollution il faut:

- informer les populations
- sensibiliser les municipalités pour intervenir rapidement lors des dépôts d'ordures sauvages.

3.6 Accidents de la circulation sur la RN 20

Pour limiter les effets d'une telle pollution, il faut:

- mettre en place une signalisation adéquate sur la RN20, pour limiter les accidents de camions transportant des matières polluantes, dans la zone du "Pont du Couderc"
- mettre en place un système d'alerte en cas d'accident de camions, entre les PR 61,4 et 63,4 (sur la RN 20), avec risque de pollution des eaux, de manière à arrêter immédiatement le pompage au Blagour (le transit peut être de 5 à 6 heures en hautes eaux ou après un orage).
- Déclencher un plan d'intervention au niveau du plan d'eau du Causse (interdiction, s'il y a lieu, de la baignade, de la pêche, etc . . .)

3.7 Accident sur la voie SNCF

Si l'accident se produit sur la bassin du système du Blagour, même système d'alerte et d'intervention. Si l'accident est situé sur le bassin du système du Sorpt, intervention auprès des riverains (pisciculture entre autres) et du plan d'eau du Causse.

4 CONCLUSION

Le système karstique doit constituer l'unité d'étude de la protection de la qualité des eaux d'un aquifère karstique. Les mesures de protection à prendre seront fonction de la structure et du fonctionnement du système karstique. Les modalités de l'infiltration, ainsi que la nature de la zone superficielle de l'aquifère, auront une grande importance quant au choix des mesures de protection à prendre.

Dans le cas des systèmes que nous avons étudiés, en protégeant l'amont des systèmes, les pertes et les zones de drainage, on élimine la majorité des risques de pollution grave.

Ces zones sont présentées sur deux cartes, l'une au 1/25 000, l'autre au 1/10 000, hors texte.

Dans l'état actuel de l'agriculture et de l'industrie sur le nord-est du Causse de Martel, on peut penser que si les mesures de protection au niveau des zones sensibles sont appliquées, les eaux de ce karst resteront d'une qualité acceptable. Sur les prélèvements bimensuels, les faibles concentrations en nitrates, chlorures et sulfates montrent que, pendant le cycle 1982, il n'a pas existé de pollutions majeures. (*cf Paragraphe III.5*).

Actuellement, l'apparente qualité des eaux aux exutoires est due à une forte dilution de la pollution. Si, dans l'avenir, l'objectif principal est de préserver une certaine qualité des eaux karstiques, il faudra éviter d'augmenter les rejets polluants même en dehors des zones que nous proposons de protéger.

Dans le cas contraire, la dilution ne serait plus suffisante, l'auto-épuration n'agirait plus assez pour assurer la qualité des eaux à l'exutoire. Les réserves pourraient, par endroit, être polluées.

Le système du Sorpt est le plus exposé à la pollution chronique d'origine agricole et domestique, puisque le réseau de drainage de ce système se trouve à la verticale de la partie la plus fertile du Causse (vallée d'Estivals, de Lacoste).

Le système du Blagour est moins exposé à ce genre de pollution puisque la plus grande partie des zones sensibles se trouve dans la forêt de Turenne (à l'amont) ou dans la vallée d'Entrecors (à l'aval), où l'activité agricole est réduite. En revanche, ce système est exposé en permanence au risque de pollution accidentelle (accidents sur RN 20 en particulier).

CHAPITRE VI

CONCLUSION GENERALE

L'étude hydrogéologique d'un aquifère karstique ne peut pas être abordée de la même manière que celle d'un aquifère de milieu poreux ou même fissuré. En effet, dans le cas des aquifères de milieu poreux, la connaissance des paramètres physiques tels que la perméabilité, la porosité et coefficient d'emmagasinement, permettent, moyennant quelques précautions liées à l'évolution de ces paramètres d'un point à l'autre du bassin, de répondre à la majorité des problèmes courants en hydrogéologie. Résoudre les problèmes revient alors à modéliser le fonctionnement de la nappe pour des conditions aux limites variées.

Dans le cas de l'aquifère karstique, les paramètres physiques le caractérisant possèdent une forte hétérogénéité spatiale. Plus ennuyeux que cette hétérogénéité, il existe de brusques variations, des discontinuités dans la répartition de ces paramètres. Ces discontinuités ne sont pas réparties aléatoirement. Elles sont structurées et correspondent à une organisation des écoulements. Il y a hétérogénéité à toute échelle d'observation. De ce fait, les méthodes classiques employées en hydrogéologie ne sont pas applicables avec succès, puisqu'il n'existe plus l'homogénéité statistique, hypothèse de base de ces méthodes (A.Mangin;1984).

L'originalité du karst étant l'organisation des écoulements, nous avons, comme A.Mangin(1975), M.Bakalowicz(1979), M.Lepiller(1980), B.Petitfils(1981), J.L Chéry(1983) et J.P.Fabre(1983), essayé de caractériser le karst par le degré d'organisation des écoulements.

Avant de faire ce travail, il a été nécessaire de définir la nature géologique des calcaires aquifère et leur géométrie.

Ainsi dans le secteur que nous avons étudié les calcaires aquifères sont:

- à la base, des calcaires oolithiques et bioclastiques du Bajocien(Dogger),
- au sommet, des calcaires micritiques à passées marneuses puis oolithiques.

D'une manière générale, ces formations du Dogger apparaissent en position quasi tabulaire avec toutefois un pen-

dage régional faible vers le sud-ouest.

Dans le détail, ils sont compartimentés en "blocs", qui, lors de la tectonique pyrénéenne ont eu des mouvements relatifs les uns par rapport aux autres. Au nord, où deux failles de direction sensiblement perpendiculaires, la faille de Meyssac (N 110°) et la Faille de Chasteaux (N 0°), compliquent la structure, deux de ces blocs se sont affaissées à cause d'un effet de blocage. Ainsi, le mur de l'aquifère, constitué par les marnes du Lias supérieur (Toarcien) est gauchi à la fois vers le nord et vers le sud-ouest. Au nord et à l'ouest ces deux grandes failles constituent des épontes quasiment étanches de l'aquifère.

On sait que la capacité de stockage des aquifères karstiques est due à l'élargissement des différentes discontinuités de la roche par la dissolution du calcaire par l'eau chargée de CO_2 et non, à leur porosité ou à leur perméabilité intrinsèque. Toutefois, pour qu'il y ait karstification il faut qu'il existe une fissuration de la roche suffisante pour que l'eau puisse dissoudre le calcaire en profondeur.

Dans le secteur étudié les discontinuités verticales de la roche, les fractures, se répartissent en trois grandes familles de direction N 20°, N 110° et N 120° à N150°.

Les calcaires oolithiques sont moins fracturés que les calcaires micritiques. Toutefois, les discontinuités verticales affectent plusieurs bancs oolithiques alors qu'elles s'arrêtent sur les joints de stratification séparant les bancs de micrites.

Le relief du Causse de Martel est tourmenté. Il nous a semblé important de retracer l'histoire géologique de ce Causse depuis la fin du Crétacé. En effet, c'est à partir de cette époque que cette région a été exondée et donc exposée aux agents météorologiques. De ce fait, retracer cette histoire revient à interpréter les formes du relief.

Ainsi, nous avons pu mettre en évidence l'existence d'un paléo-karst tertiaire, ennoyé par les épandages continentaux à faciès sidérolithique. Jusqu'au Quaternaire ancien seuls les écoulements fluviatiles ont pu se développer sur le Causse de Martel. Les limites topographiques des bassins versants de surface de la dernière phase d'érosion fluviatile

ont pu être déterminées. Au Quaternaire moyen, l'abaissement du niveau de base associé au décapage des dépôts continentaux à faciès sidérolithique, a permis la reprise de la karstification. Au Quaternaire récent, une faible remontée du niveau de base est soulignée par l'empattement des vallées.

"L'ensemble au niveau duquel les écoulements de type karstique s'organisent pour constituer une unité de drainage est appelé système karstique" (A. Mangin, 1975).

Dans le secteur étudié deux systèmes principaux ont pu être définis. Ce sont:

- Le système du Blagour de Chasteaux. Sa superficie est de 37 km^2 et 33.7 % de cet impluvium est constitué par les terrains non-karstiques du bassin de Brive situés au nord-est de la Faille de Meyssac. Le débit moyen interannuel de ce système est $0.565 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Le système du Sorpt; Sa superficie est de 21 km^2 et le pourcentage de terrains non-karstiques est négligeable. Les seuls écoulements de surface connus sont les écoulements endoréiques sur les lambeaux de formations sidérolithiques que l'on trouve à l'amont du système. Le débit moyen interannuel de ce système est $0.300 \text{ m}^3/\text{s}$.

La superficie totale de ces deux systèmes a été vérifiée par l'établissement d'un bilan hydrique. Le tracé des limites, précisé en plusieurs points par des traçages, se superpose presque parfaitement aux limites des paléo-bassins de surface mis en évidence lors de l'étude géomorphologique.

Au sein d'un système karstique il existe une interaction entre les écoulements et la structure des vides. Cette structure est plus ou moins hiérarchisée; elle conduit les eaux vers un nombre réduit d'exutoires, les exutoires du système. Le fonctionnement hydrodynamique d'un système renseigne sur la structure des vides et donc sur le degré d'organisation des écoulements.

Le système karstique posséde une définition en accord avec la notion générale de système. Les méthodes classi-

ques de l'analyse des systèmes vont donc pouvoir lui être appliquées avec succès. Le système karstique est alors assimilé à une "boite noire" possèdant une entrée, la pluie, et une sortie, les débits. L'objectif est de caractériser le fonctionnement et la structure de cette "boite noire".

Diverses méthodes, plus ou moins classiques, ont été employées à cet effet. Ce sont :

- Les analyses corrélatoire et spectrale, simples et croisées (A. Mangin; 1981). La fonction d'entrée utilisée est la pluie journalière et la fonction de sortie est le débit moyen journalier.
- Les expériences de traçage. Le signal d'entrée est obtenu par l'injection instantanée de colorant et la fonction de sortie est la restitution en flux du colorant à l'exutoire,
- L'analyse des courbes des pourcentages cumulés des débits classés (A. Mangin; 1975),
- L'analyse des courbes de récession (A. Mangin; 1975).

Nous avons également étudié l'hydrochimie des exutoires des systèmes (Analyse des courbes de distribution de minéralisation ; M. Bakalowicz, 1979. Analyse en composantes principales).

D'une manière générale les systèmes du Blagour et du Sorpt possèdent des fonctionnements semblables et très proches du fonctionnement du système du Baget (Ariège), qui est "plus karstifié à l'amont qu'en aval avec des retards dans l'alimentation dus à des terrains non-karstiques..." (A. Mangin; 1975).

Pourtant dans le détail la structure et le fonctionnement des systèmes étudiés sont plus complexes. En effet, il apparaît qu'il existe au sein du même aquifère deux structures dont l'organisation est très différente et qui peuvent fonctionner indépendamment. Une de ces structures est très bien organisée et se caractérise par un ensemble de drains de grandes dimensions. A l'inverse, la seconde structure est d'une organisation médiocre. Il est probable que cette structure est située altimétriquement plus bas que la structure bien organisée qui apparaît alors comme une paléostructure réactivée.

Ce dispositif est certainement le résultat d'une adaptation des écoulements aux variations du climat et de la géographie durant le Quaternaire.

Le fonctionnement actuel de ces deux structures est compliqué par une désorganisation des écoulements à l'aval des systèmes par remontée du niveau de base et par un colmatage discontinu de la partie supérieure de la zone non-saturée.

La couverture argilo-siliceuse (sidérolithique), peu perméable, favorise la présence de fortes pCO_2 au niveau des sols. De plus le colmatage superficiel du karst permet aux fortes pCO_2 d'être conservées dans la masse calcaire. Toutefois, il existe une certaine hétérogénéité de la répartition du CO_2 au sein de l'aquifère. En particulier, la partie en aval est plus pauvre en CO_2 .

La présence d'une structure peu organisée rend cet aquifère moyennement capacitif. Ainsi, il existe plus de $6 \times 10^6 m^3$ de réserves réparties à l'aval des deux systèmes. Cette réserve est faible mais non négligeable. L'implantation de chaque ouvrage de captage devra être l'aboutissement d'une étude de détail intégrant les résultats de la présente étude et ceux d'analyses géophysiques et structurales du site choisi.

Les mesures de protection à prendre pour éviter les pollutions du karst sont fonction de la structure et du fonctionnement du système karstique considéré. Les modalités d'infiltration et la nature de la zone superficielle, mais également, la position du captage par rapport à la structure et en particulier par rapport au drainage, ont une grande importance dans le choix des mesures de protection.

Dans le cas qui nous intéresse, nous proposons de protéger les axes de drainage et les zones de perte. En effet, l'existence de drainage rapide impose ce choix. En dehors de ces zones, il semble que le colmatage de la partie supérieure de la zone non-saturée permette une épuration naturelle d'une partie importante des pollutions.

Le risque de pollution accidentelle grave ne peut

pas être totalement écarté. Ce risque est particulièrement important pour le système du Blagour, capté pour l'AEP, dont l'amont du bassin d'alimentation est traversé par la RN 20 où l'accident d'un camion transportant un produit toxique est toujours possible.

Les informations recueillies sur les limites, la structure et le fonctionnement des systèmes karstiques du sud du Causse de Martel (J.P.Fabre;1983) et celles que nous avons obtenues au nord, sont à la fois comparables et complémentaires. L'interprétation définitive de ces différentes informations ne pourra se faire que sous forme de synthèse à l'échelle du Causse de Martel.

D'un point de vue méthodologique, cette étude a montré combien il était important d'employer plusieurs méthodes pour traiter les différentes données brutes que l'on peut obtenir soit à l'entrée des systèmes, soit à la sortie. Les méthodes simples donnent une idée générale sur la structure et le fonctionnement du système. C'est le cas des différentes classifications proposées par A.Mangin (1975) et M.Bakalowicz(1979). L'emploi de méthodes plus élaborées permet de souligner la complexité des systèmes étudiés. Toutefois, l'interprétation reste délicate et implique une très bonne connaissance géologique, morphologique, paléogéologique et paléoclimatique du massif calcaire en question. Ainsi, les analyses corrélatoire et spectrale se sont avérées être un moyen performant pour visualiser les informations contenues dans les chroniques de débits. L'interprétation de ces informations a été complétée dans le détail par l'étude des chroniques hydrochimiques. Toutefois, interpréter les informations contenues dans les chroniques hydrochimiques n'est pas évident, du fait de la grande quantité de phénomènes qui peuvent déterminer les variations de la chimie des eaux. Cette méthode a pourtant le mérite d'apporter des informations complémentaires de celles qui sont fournies par l'étude des débits.

Les expériences de traçage sont très souvent utilisées en hydrogéologie karstique. Elles servent surtout à montrer une relation hydraulique entre deux points de l'aquifère. Cependant, l'analyse des distributions des temps de séjour du traceur pour une injection instantanée apportent des informations caractéristiques du système tracé.

L'interprétation reste toutefois délicate. En effet, on s'aperçoit que pour un même couple perte-source on peut obtenir des distributions de temps de séjour très différentes et des vitesses apparentes de transit variables. Il semble que pour aider l'interprétation il faille acquérir un grand nombre de données relatives à des traçages sur des systèmes karstiques bien connus et dans des conditions hydrodynamiques diverses. Un catalogue pourrait alors être établi pour guider l'interprétation.

Enfin, l'évolution paléogéographique du Causse de Martel durant le Quaternaire a joué un rôle déterminant dans l'élaboration des structures karstiques et influence, encore à l'heure actuelle, le fonctionnement des systèmes. Dans cette étude, nous n'avons pas eu les moyens de définir clairement cette évolution. Il semble important dans l'avenir de faire porter les efforts de la recherche dans ce domaine, de manière à mieux comprendre l'impact de tel ou tel changement climatique ou géographique sur les structures karstiques et leur fonctionnement. Dans le cas précis du Causse de Martel, il serait intéressant de cerner l'âge des différentes phases de karstification ainsi que l'époque pendant laquelle les écoulements se sont produits en surface. Il paraît primordial de connaître avec exactitude les interactions entre ces deux modes d'écoulement des eaux. Un tel travail implique l'établissement d'une stratigraphie fine des formations de surface rattachées soit au Tertiaire (dépôts à faciès sidérolithique), soit au Quaternaire.

Il serait également intéressant de préciser les raisons de l'apparente remontée du niveau de base des écoulements.

OUVRAGES CONSULTÉS

ACTES DU 1^o COLLOQUE NATIONAL SUR LA PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES KARSTIQUES - 1980 - Besançon.

AGSO - 1978 - Le karst son originalité physique, son importance économique. Actes du Colloque de Tarbes. 18 octobre 1978. ed. SEPMAST.

AMINOT (A) - 1974 - Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. II: Les analyses chimiques en hydrogéologie karstique. Ann. Spéléol., 1974, 29, 4, pp461-483.

AMINOT (A) et BAKALOWICZ (M) - 1975 - Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. 5: Comportement de l'ion fluorure. Ann. Spéléol., 1975, 30, 2, pp267-272.

ANDRIEUX (Cl) - 1976 - Le système karstique du Baget. 2: Géothermie des eaux à l'exutoire principal selon les cycles hydrologiques 1974 et 1975. Actes du 2^o coll. d'hydro. en pays calcaires -géologie. 1976, 3^o série, fasc.25. Besançon - Neuchatel.

ARTHAUD (F) et CHOUKROUNE (P) - 1972 - Méthode d'analyse de la tectonique cassante à l'aide des microstructures dans les zones peu déformées. Exemple de la plateforme nord Aquitaine. Revue Inst. Fr. des pétroles et des comb. liq. (IFP) vol. XXVII, n°5, pp715-732.

ARTHAUD (F) et MATTAUER (M) - 1969 - Exemples de stylolites d'origine tectonique dans le Languedoc, leurs relations avec la tectonique cassante. Bull. de la Soc. Géol. de France, 1969, 7^o série, T XI, pp738-744.

ASTRUC (J.G) et SOULIE (J.C) - 1977 - Hydrogéologie du Quercy. Suppl. Quercy rech. vol. 3, 1977. ed. BRGM - Quercy rech.

ASTRUC (J.G) et PELLISSIE (T) - 1982 - Géologie et karstologie des Causses du Quercy. Essai de synthèse. Bull. Com. Dep. de Spéléol. du Lot, Bull. n°6.

AUDETAT (M) - 1981 - Notions de géologie, géomorphologie et hydrogéologie à l'usage des spéléologues. Commission des stages de la soc. Suisse de Spéléol. p 161.

AUROUZE (J) ET VOUVE (J) - 1982 - Autoroutes et captages AEP: des voisinages dangereux en milieu karstique. Ann. Sc. de l'Université de Besançon, 3^o coll. d'Hydro. en pays calcaires, géologie, mém. n°1, pp 269-276.

AVIAS (J) - 1977 - Sur les principes et sur la méthodologie pratique de protection des aquifères karstiques. Rapport interne CERGH-Montpellier.

BAKALOWICZ (M) - 1974 - L'évapotranspiration réelle. Recherche d'une méthode opérationnelle d'évaluation journalière. Etude n°2, 1974, CTGREF.

BAKALOWICZ (M) - 1974 - Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. Relation entre la minéralisation et la conductivité. Ann. Spéléol., 1974, 29, 2, pp 167-173.

BAKALOWICZ (M) - 1975 - Variations de la conductivité d'une eau en fonction de la température et précision des mesures. Ann. Spéléol., 1975, 30, 1, pp 3-6

BAKALOWICZ (M) - 1975 - Géochimie des eaux karstiques et karstification. Ann. Spéléol., 1975, 30, 4, pp 581-590.

BAKALOWICZ (M) - 1979 - L'anhydride carbonique dans la karstogénèse. Actes du symp. interna. sur l'érosion karstique. UIS. Aix en Provence - Marseille - Nîmes - pp 41-48.

BAKALOWICZ (M) - 1979 - Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse d'état, univ. P et M. Curie, Paris VI.

BAKALOWICZ (M) - 1982 - La génèse de l'aquifère karstique vue par un géochimiste- Réunion Monografica sobre el karst, Larra 1982, Isaba - Navara.

BENDERITTER (Y), CHATELAIN (S), CHERY (J.L), LELONG (F), LEPILLER (M), LIVROZET (E), PETITFILS (B) et ZUNINO (C) - 1980 - Structure et fonctionnement des aquifères karstiques et transit des pollutions. Actes du Coll. protection des eaux souterraines en région calcaire, Besançon, 1980.

BENDERITTER (Y) et ROBIN (G) - 1982 - Image électrique des terrains calcaires obtenue par méthode géophysique de type électromagnétique. 3^e Coll. d'hydro. en pays calcaire, Géologie, mémoire n°1, pp 211-218.

BERAUD (J.F), BIZE (J) et RIOU (V) - 1982 - L'assainissement collectif en région karstique. 3^e coll. d'Hydro. en pays calcaires, géologie, mémoire n°1, pp 1-8.

BLAVOUX (B) - 1980 - L'eau dans le karst: Les différentes composantes de l'écoulement et leur participation au débit à l'exutoire en crue et en étiage. Actes du 1^e coll. natio. sur la protection des eaux souterraines karstiques. pp 58-83.

BONIFAY (E) - 1975 - L'ère quaternaire: Définition, limites et subdivisions sur la base de la chronologie méditerranéenne. BSGF, 7, XVII, 1975, n°3.

- BONIJOLY (D) - 1980 - Etude structurale et minéralisation d'une plateforme carbonatée, le Quercy. Thèse 3^e cycle, université d'Orléans, 303 p., 5 cartes H.texte.
- BONNEBOUCHE (J.P) - 1970 - Grotte de la Garnie. Spélunca, n°4, 1970.
- BOTTON (R) - 1984 - Etude de certaines modalités du fonctionnement de l'aquifère karstique (zone d'infiltration et zone saturée) sur des champs de forage nord-Montpelliérais. Thèse 3^e cycle, Sciences de l'eau, Acad. de Montpellier, USTL.
- BOUROCHE (J.M) et SAPORTA (G) - 1980 - L'analyse des données. Col. "Que sais-je?", presse universitaire de France.
- BOUSQUET (G) et SOUCHET (G) - 1982 - Contamination dans un karst de la craie. 3^e coll. d'Hydro. en pays calcaire, Géologie, mémoire n°1, pp. 9-22.
- BOUYGUES (P), CHALARD (J.C et Y), DAUTREMENT (L), PHILIPPE (M) et PLANCHE (L) - 1973 - Exploration de la Perte de la Couze à Noailles Bull. Soc. Sc. Hist. et Archeo. Corrèze, T 95, pp 25-29.
- BROUILLARD (J.F) - 1975 - Notes sur l'utilisation de la spectrofluorimétrie en hydrologie. Spélunca n°1, 4^e série, 15^e année, pp. 33-35.
- CASTANY (G) - 1968 - Protection et exploitation des eaux souterraines ed. Dunod, 717 p.
- CASTANY (G) et MARGAT (J) - 1977 - Dictionnaire Français d'hydrogéologie. ed. BRGM.
- CAUMARTIN (V) - 1980 - La pollution en milieu karstique: quels remèdes préconiser. Actes du 1^e coll. natio. sur la protection des eaux souterraines karstiques pp. 307-315.
- CAVAILLE (A) - 1951 - Les sols de boulbènes de l'aquitaine et les climats quaternaires- Rev. Géogr. des Pyr. et du sud-ouest, T XXII, 1951, Fasc 2-3, pp. 199-206.
- CAVAILLE (A) - 1961 - Morphologie et karst des Causses du Quercy. Ann. de Spéléol., TXVI, fasc 1, 1961.
- CAVAILLE (A) - 1978 - Le Tertiaire. Géol. du Quercy, ed. Quercy Rech.
- CDS 19 - 1977 - Regard sur le réseau souterrain de la Couze. L'évent des jonquilles (ou Boudzial del Gial). Bull. Soc. Hist. et Archéo., Corrèze, T 99, pp. 39-45.
- CDS 19 - 1979 - Autre entrée du réseau Couze "la Perte de la Couze" (ou Briant) commune de Noailles. Bull. Soc. Hist. et Archéo., Corrèze, T 101, pp. 33-41.
- CDS 19 - 1982 - Réseau de la Couze, Corrèze, Spélunca n°8, Oct. Dec. 1982, pp. 28-34.

- CHAMBON (P), COIN (L) et VIAU (J) - 1983 - Risques pour la santé humaine de certains composés azotés présents normalement ou éventuellement dans l'eau de boisson: les nitrates et composés N. nitroso. La technique de l'eau et de l'assainissement, 1983.
- CHAUVE (P), BLAVOUX (B), MIGNOT (L), MUDRY (J) - 1982 - Les éléments chimiques extérieurs au système karstique indicateurs de la qualité des eaux des réserves des calcaires jurassiens. 3^e coll. d'Hydro. en pays calcaires, Géologie, mémoire n°1, pp. 23-38.
- CHERY (J.L) - 1980 - Premières données physico-chimiques sur la réurgence du Bouillon exutoire pérenne du système aquifère des calcaires de Beauce du Val d'Orléans. Actes du Congrès natio. des Soc. Savantes, Caen, 1980.
- CHERY (J.L) - 1983 - Etude hydrochimique d'un aquifère karstique alimenté par perte de cours d'eau (La Loire). Le système des calcaires de Beauce sous le Val d'Orléans. Thèse 3^e cycle, Université d'Orléans, 1983.
- CLOZIER (R) - 1940 - Contribution à la géographie physique d'une région calcaire: Les Causses du Quercy. Thèse Doctòrat ed. Baillière.
- COUSTOU (J.C) - 1980 - La pollution des eaux du réseau souterrain de l'Ouysse dans le Lot. Actes du 1^o coll. natio. sur la protection des eaux souterraines karstiques, Besançon, 1980.
- CRAMPON (N) - 1974 - La vulnérabilité des eaux souterraines en milieu karstique face aux mesures de protection réglementaires. Mem. de l'ass. interna. des Hydro., T.X (congrès de Montpellier).
- CTGREF. INFORMATIONS TECHNIQUES - 1977 - Jaugeage chimique du débit des rivières. Méthode par intégration. Cahier du CTGREF, n°28 et n°7, Dec 1977.
- DANIOU (P) - 1981 - Le sidérolithique des pays nord aquitain. Trav. du Labo. de Géogr. phy. appli., Université de Bordeaux III, Talence, n°5, 1981.
- DELFAUD (J) - 1967 - Les grandes lignes de la stratigraphie et de la paléogéographie du jurassique nord-aquitain. Actes de la Soc. Limnénenne de Bordeaux, T 104, série B, n°12, 1967.
- DELFAUD (J) - 1972 - Remarques sur les directions submériadiennes en aquitaine. Actes de la Soc. limnénenne de Bordeaux, T II, n°8, Oct 1972.
- DELFAUD (J) - 1973 - Observations sur les directions sub-parrallèles en aquitaine. Actes de la Soc. limnénenne de Bordeaux, T III, n°5, Mai 1973.

- DELFAUD (J) - 1975 - Considérations sur les directions armoricaines et varisques en Aquitaine. Actes de la Soc. Limnéeenne de Bordeaux, TV, n°4-6, Avril-Juin 1975.
- DELFAUD (J) - 1978 - Le Jurassique et le Crétacé inférieur. Extrait de géologie du Quercy. Suppl. de Quercy rech., série études et trav., Vol. 4, ed. Quercy-rech.
- DERRUAU (M) Précis de géomorphologie. ed. Masson.
- DERRUAU (M) - 1969 - Les formes du relief terrestre, motions de géomorphologie. ed. Masson et cie, 105 p.
- DROGUE (C) - 1969 - Contribution à l'étude quantitative des systèmes hydrogéologiques d'après l'exemple de quelques karsts périméditerranéens. Thèse doctorat d'état. Montpellier, 462p. 20 fig.
- DUBREUILH (J) et PLATEL (J.P) - 1982 - Contribution de l'analyse séquentielle à la cartographie des formations détritiques continentales tertiaires à facies "Sidérolithique" des Charentes. Bull. d'Act. du BRGM, RS 643, pp. 43-44.
- ENJALBERT (H) - 1951 - Les vallées sèches et les vallées tourbeuses du bassin Aquitain séptentrional. Rev. Géogr. des Pyrénées et du sud-ouest, T XXII, 1951, fasc 2-3, (7 fig. 2 pl., Phot.), pp 163-198.
- FABRE (J.P) - 1983 - Etude hydrogéologique de la partie sud-ouest du Causse de Martel (Quercy). Thèse 3^e cycle Université P. Sabatier Toulouse. Laboratoire de Moulis. 342p. Une carte H.texte.
- FENELON (P) - 1967 - Sur l'origine des argiles de décalcification. Mem. et Doc., Nouv. série, vol. 4, 1967, phénomènes karstiques, pp. 143-148.
- FEYS (R), GUILLOT (P.L) et FEFAVRAIS (A) - 1979 - Tectonique du bassin de Brive. Bull. BRGM, 2^e série, section I, n°2, 1979, pp. 121-130, 1 fig.
- FOUNIER (M.E) - 1899, 1900 - Etude sur le régime des eaux dans le Quercy, n°78, T XI, 1899-1900.
- GAL (J.Y) et GAL (J) - 1983 - Analyse des réactions chimiques en solution. ed. Dunod.
- GEZE (B) - 1937 - Etude hydrogéologique et morphologique de la bordure sud-ouest du massif central. Ann. de l'Inst. natio. Agro., T XXIX, 1937, 79p.
- GEZE (B) - 1955 - Sur la tectonique des causses du Quercy. Bull. Soc. Géol. Fr. (6), IV, 29, p.453-466.
- GEZE (B) - 1958 - Sur quelques caractères fondamentaux des circulations karstiques. Ann. de Spéléol., 13, pp. 5-22, 1958.

- GEZE (B) - 1961 - L'évolution karstique (creusement, remplissage clastiques, concrétionnement) dans ses rapport avec les alternances climatiques quaternaires. Extrait du Symp., spéléologia, Varenne, mém. 5, T1, pp.111-126 et 179-182.
- GEZE (B) - 1966 - Rapports entre phénomènes karstiques et phénomènes géologiques dans le sud de la France. 3^e congrès internatio. de Spéléol., Wien (Vienne), pp. 87-92.
- GEZE (B) - 1971 - Relation entre les phénomènes karstiques de surface et de profondeur. Bull. de l'AGF Mai-Juin 1971, n° 389-390, pp. 269-272.
- GEZE (B) et CAVAILLE (A) - 1977 - Aquitaine orientale. Guides géologiques régionaux. Masson et Cie, 1977.
- GUERIN (R) - 1973 - Un exemple du rôle de la tectonique et de la microtectonique dans la géométrie des écoulements karstiques fossiles et actuels: Le Bas-Vivarais calcaire Thèse Doct. spé. Montpellier, 125 p.
- GUIZERIX (J) et MARGRITA (R) - 1976 - Méthodologie d'étude par traçage des transferts de masses. La houille Blanche n°3-4, 1976, pp. 187-196.
- GONZALEZ (R) - 1984 - Etude de transfert des informations hydrodynamiques, thermiques et physico-chimiques dans le système karstique des calcaires de Beauce sous le val d'Orléans. Rapport de DEA. Université d'Orléans.
- GOTTIS (M) et HUMBERT (L) - 1982 - Application de la pétrologie à la prévision des propriétés réservoirs des formations carbonatées jurassiques du Quercy et des Causses (France). Jubilé Castany -BRGM- Orléans (résumé).
- GRILLOT (J.C) - 1975 - Utilisation statistique des mesures de terrain en tectonique et application à l'hydrogéologie des roches fissurées (cas des roches carbonatées). Cours de DEA et USTL 3^e année, Montpellier.
- HLAVEK (R), BAKALOWICZ (M), OBERLIN (G), GALEA (G), ANDRE (R), NORÉMAND (M) et OBERLIN (S). - 1974 - Essai d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant: Considérations théoriques et applications pratiques. Rapport n°1, 1974, CTGREF.
- JACQUES (J.C) - 1981 - Influence des ruissellements d'origine autoroutière sur la biochimie d'étang du Gâtinais. Thèse 3^e cycle, Univ. d'Orléans.
- JAMIER (D) - 1976 - Interprétation des essais de traçage des eaux karstiques. 2^e coll. d'hydro. en pays calcaires, Géologie, fasc. 25, 3^e série, 1976.
- LALANDE (Ph) - 1884 - Grotte de Nonards. Bull. Soc. Hist. et Archéo. de la Corrèze, T6, p. 547.
- LEFAVRAIS & RAYMOND - 1978 - Le Lias. Extrait de géologie du Quercy. Les suppl. de Quercy rech. série études et travaux, vol. 4, ed. Quercy rech.

- LEPILLER (M) Le rôle de l'activité biologique dans l'acquisition de la charge dissoute des eaux d'aquifères carbonatés Etude sur 12 systèmes karstiques des Bauges et des Bornes (Massifs subalpins septentrionaux, Alpes françaises). Coll. internatio. du CNRS n°303. Migration organiques minérales dans les sols tempérés.
- LEPILLER (M) - 1976 - Résultats et interprétation de cinq opérations de traçages effectués sur les systèmes karstiques du Semnoz et de la montagne de Bange. Bois de Précoulain (Massif subalpins des Bauges, Savoie et H^{te} Savoie, France). 2^o coll. d'Hydro. en pays calcaires, géologie fasc 25, 3^o série 1976, pp. 251-262.
- LEPILLER (M) et TALOUR (B) - 1980 - Différenciation thermique et chimique des eaux dans un système aquifères très karstifié, à alimentation essentiellement météorique (système de la Diau, Alpes françaises du Nord). Actes du congrès nation. des Soc. Savantes, 1980.
- LEPILLER (M) - 1980 - La dissolution des carbonates dans un système aquifère très karstifié, à alimentation essentiellement météorique. Concéquence pour l'estimation de la vitesse de karstification. Actes du Coll. : cristallisation, déformation, dissolution des carbonates- 17-18 Nov. 1980 Univ. de Bordeaux III.
- LEPILLER (M) - 1980 - Contribution de l'hydrogéochimie à la connaissance du comportement hydrogéologique des massifs calcaires. Etude de quelques systèmes karstiques du massif du Semnoz et de la région d'Annecy (Savoie, H^{te} Savoie, France). Thèse de 3^o cycle, Univ. de Grenoble 1980).
- LEPILLER (M) - 1982 - La capacité de stockage dans la zone non-saturée des aquifères karstiques estimation et conséquence pour la localisation de la dissolution dans les systèmes. 3^o coll. d'hydro. en pays calcaires Géologie, mém. n°1, pp. 147-157.
- LION (Ph) et GALEA (G) - 1976 - Proposition d'aménagement du Jaugeage chimique des débits des rivières. Méthode utilisant les colorants alimentaires. La houille Blanche n°5, 1976.
- MAIRE (R) - 1980 - Elément de karstologie physique. Spéléuna spécial n°3, 4^o série, 20^o année.
- MANGIN (A) Probabilités et statistiques: leur emploi en géologie, cours de DEA. Labo. de Géol. et Pétro. Univ. P. Sabatier Toulouse.
- MANGIN (A) - 1975 - Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Doctorat d'état, Univ. de Dijon. Publiée dans Ann. de spéléol. -1974- 29,3 pp. 283-332; -1974- 29,4, pp. 495-601; -1975- 30,1, pp. 21-124.

- MANGIN (A) - 1981 - Apport des analyses corrélatoires et spectrales dans l'approche des systèmes hydrologiques. CR. Acad. Sci. Paris T. 293.
- MANGIN (A) - 1981 - Apport des analyses corrélatoires et spectrales croisées dans la connaissance des systèmes hydrologiques. CR. Acad. Sci. Paris T. 293.
- MANGIN (A) - 1982 - Mise en évidence de l'orinalité et de la diversité des aquifères karstiques. 3^e coll. d'hydro. en pays calcaires, Géologie, mémoire n°1, pp. 159-172.
- MANGIN (A) - 1982 - L'approche systémique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques. Réunion monografica sobre el karst- Larra - Isaba - Navara - 4.11.Nov. 1982.
- MANGIN (A) - 1983 - Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoires et spectrales. Journal of hydrology, 1983.
- MANGIN (A) - 1983 - Détermination du comportement hydrodynamique des aquifères karstiques à partir de l'étude des informations fournies par leurs exutoires - Jubilé Cassany. BRGM. 1983.
- MANGIN (A) - 1984 - Ecoulements en milieu karstique. Ann. des mines Mai-Juin 1984.
- MARCHAND (T) - 1980 - Le milieu naturel du Causse de Gramat approche de géomorphologie karstique: UER de géogra. de l'Univ. de Tours. Mém. de Maitrise (4^e année).
- MARCHET (P) - 1984 - Premiers résultats de l'étude hydrogéologique de la partie nord ouest du Causse de Martel (Systèmes karstiques de la Doux de S Cernin et de la Doux de Coly). Rapport de DÉA, géol. Univ. P.Sabatier, Labo. de Géol. Pétro., Toulouse.
- MARCHET (P) et MUET (Ph) - 1983 - Rapport géologique et hydrogéologique au sujet des pertes du ruisseau de la Mémoire à Nonards (Corrèze). non publié - Rapport interne DDA (Corrèze).
- MARGRITA (R), GUIZERIX (J), COROMPT (P), GAILLARD (B), CALMELS (P); MANGIN (A), et BAKALOWICZ (M) - 1983 - Reflexion sur la théorie des traceurs. Applications en hydrologie isotopique. Coll. internatio. sur l'hydro. isotop. et la mise en valeur des ress. en eau, Vienne, Autriche, sept. 1983. Agence Internationale de l'énergie atomique. Organisation des nations- unies pour l'éducation, la science et la culture.
- MARTEL (E.A) La France ignorée T II pp. 49-50 et 62-63.

- MASSON (J.M) Applications élémentaires des méthodes statistiques aux sciences naturelles. Cours de MST, USTL Montpellier, 3 tomes.
- MATTAUER (M) et PROUST (F) - 1963 - Sur la tectonique de la fin du Crétacé et du début du Tertiaire en Languedoc revue de Géogr. phy. et de Géol. Dyn., Janv. Mars 1963. vol. v, fasc. 1, pp. 5-11.
- MATTAUER (M) - 1968 - Les traits structuraux essentiels de la chaîne pyrénéenne. Revue de Géogr. Phy. et de Géol. Dyn., vol. X fasc. I, Janv. Fevr. 1968, pp. 3 à 11.
- MATTAUER (M) - 1973 - Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre. ed. Herman. Paris. 493 pages.
- MONDAIN (P.H) - 1983 - Le système karstique de Morette (Massif des bornes, H^{te} Savoie): Précision sur ses limites sud-ouest et caractères géochimiques des eaux à l'exutoire. Compte rendu du 108^e cong. natio. des Soc. savantes, sci., fasc 1, T I, pp. 311-326, Grenoble 1983.
- MOURET (C) et PHILIPPE (M) - 1980 - Destruction des sites karstiques et pollution conséquente des eaux souterraines: l'exemple des karsts corréziens. Actes du 1^o coll. Natio. sur la protection des eaux souterraines kastiques, Besançon.
- MORDRET (J) - 1982 - Le Causse de Martel, présentation d'une région calcaire particulière. Maîtrise de géographie. Limoges.
- MOREAU (R) - 1980 - Ecologie microbienne et hygiène du milieu souterrain. Actes du 1^o coll. Natio. sur la protection des eaux souterraines karstiques. Besançon.
- MUET (Ph) - 1980 - Etude préliminaire du système karstique de la Couze (Corrèze). Rapport de fin de Maîtrise Sci. tech. de l'eau, USTL, Montpellier.
- MUET (Ph) - 1981 - Présentation de l'étude hydrogéologique de la région karstique de Chasteaux (Corrèze). mém. de DEA, Matières minérales et énergétiques. Univ. d'Orléans, 1981.
- MUET (Ph) - 1982 - Etude préliminaire et sommaire de l'hydrogéologie de la région de Saillac en vue de l'implantation d'un forage d'eau sur la commune de Saillac (Corrèze). Non publié. Rapport interne DDA (Corrèze).
- MUET (Ph) - 1983 - Interprétation géologique des sondages de Saillac conséquences hydrogéologiques. Non publié. Rapport interne, DDA (Corrèze).
- MUET (Ph) - 1983 - Etude des ressources en eau du Causse Corrézien. Etude de la ressource et de la vulnérabilité de l'aquifère du secteur karstique de la Couze. Rapport final de l'étude, Univ. d'Orléans, 1983.

- MULLER (I) - 1982 - Rôle de la prospection électromagnétique VLF (Very Low Frequency) pour la mise en valeur et la protection des aquifères calcaires. 3^e coll. d'hydro. en pays calcaires, géologie, mém. n°1, pp. 219-226.
- NICOD (J) - 1970 - Sur la vitesse d'évolution au cours du Quaternaire de quelques formes karstiques superficielles. Ann. de Géogr., éd. Armand Colin, Mai-Juin 1970, LXXIX^e année.
- NICOD (J) - 1975 - Les cuvettes glacio-karstiques dans les hautes montagnes méditerranéennes et alpines. Cuaternas geográficas de la Universidad de Granada - série monográfica. n°1 - 1975.
- OBERLIN (G) et LION (Ph) - 1978 - La méthode chimique de mesure des débits. TSM l'eau, 73^e année n°8-9.
- PETITFILS (B) - 1981 - Etude d'un système aquifère complexe dans les calcires jurassiques de la Nièvre; aspect hydrodynamique, hydrochimique et géophysique. Thèse de 3^e cycle, Univ. d'Orléans, 1981.
- PHILIPPE (M), MOURIER-CHAUVIRE (C) et EVIN (J) - 1980 - Les gisements paléontologiques quaternaires des Causses de Martel et de Gramat (Corrèze et Lot): faunes et chronologie. Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat. Lyon, fasc. 18, Suppl pp. 57-67.
- PIERRET (B) et ROQUES (H) - 1955 - Les réseaux de la Couze. Ann. de Spéléol., T.X, Fasc. n°3, 1955.
- PINAUD (J) - 1979 - Atlas climatique du Limousin et recueil de données climatologiques 1964-1978. Station météo de Limoges, 1979.
- POITEVIN (E) - 1979 - Modifications diagénétiques et déformations tectoniques du Dogger carbonaté de la bordure nord du Causse de Martel (France). Application à l'étude de l'évolution des propriétés réservoirs. Thèse 3^e cycle. Bordeaux III. 2 volumes. 199p.
- QUINIF (Y) - 1983 - Eléments d'une approche énergétique du karst; Application à quelques exemples réels de Karsts. Karstologia n°1, 1^o semestre, 1983.
- REMENIERAS (G) - 1976 - L'hydrologie de l'ingénieur. Collection de la dir. des études et rech. d'électricité de France. éd. Eyrolles, 456p.
- RENAULT (Ph) - 1970 - La formation des cavernes. coll. "Que sais-je?" n°1400, presse Univ. de Fr.
- RENAULT (Ph) - 1971 - La teneur en anhydride carbonique des atmosphère de grottes. Extrait du Bull. AGF n°389-390. Mai-Juin 1971, pp. 389-390.

- RENAULT (Ph) - 1973 - Le karst de la région des abîmes de Lafage (Causse de Martel, France). Nouv. Arch. du Mus. Hist. Nat. Lyon, fasc. 11, pp. 5-10, 1973.
- RENAULT (Ph) - 1982 - Le CO_2 dans l'atmosphère de quelques cavernes du Quercy (département du Lot; France). Spéléo. Dordogne, Bull. du SC Périgueux, n°74, spécial CO_2 , 115p.
- RENAULT (Ph) - 1982 - Rôle de la morphologie et du climat dans le transfert du CO_2 au niveau de la surface aquifère. 3^e coll. d'hydrô. en pays calcaires, géologie; mém. n°1, pp. 205-209, 1982.
- ROGER (Ph) - 1968 - Lithostratigraphie et sédimentologie des formations détritiques du bassin de Brive. Essai de synthèse paléogéographique. Actes de la Soc. Limnénne de Bordeaux, T 105, Série B, n°1, 1968.
- ROQUES (H) - 1967 - Chimie des carbonates et hydrogéologie karstique. Mém. et Doc. Nouv. série, vol. 4, phénomènes karstiques, CNRS, année 1967.
- ROY (B) et BENDERITTER (Y) - Transfert thermique dans un milieu carbonaté fissuré un exemple en milieu peu profond. 10^e réunion annuelle des Sci. de la terre, Bordeaux, SGF, 1984.
- SAUMANDE (P) et COUSTOU (J.C) - 1978 - Etude d'un exemple de contamination d'un réseau karstique. Journal Français d'hydrologie, 9, fasc. I, n°25, pp. 43-48.
- SAUMANDE (P) et LORENZ (C) - 1981 - Sur la teneur des eaux en Sélénum en relation avec la présence de terrains détritiques de l'Eocène supérieur (formations de Brenne). Exemples de sources de la basse vallée de la Creuse (département de l'Indre et de la Vienne). Journal français d'hydrologie, 12, fasc. 1, n°34, pp. 81-90.
- SCOELLER (H) - 1962 - Les eaux souterraines. éd. Masson. 640p.
- SRAE - 1984 - Atlas hydrologique du Limousin. Etablissement public régional. SRAE du Limousin.
- TEXIER (J.P) - 1979 - Recherches sur les formations superficielles du bassin de l'Isle. Thèse de doctorat, Univ. de Bordeaux I, 3 tomes.
- THEVENIN (A) - 1903 - Etude géologique de la Bordure sud-ouest du Massif Central. Bull. du Serv. de la carte Géol., n°95, 1903.
- TIERCELIN (J.R) - 1971 - Modèles probabilistes d'étiages. Bull. Tech. du génie rural, n° 108.
- VIGNEAUX (M) - 1975 - Aquitaine occidentale. Guides géologiques régionaux, éd. Masson et Cie.

VOUVE (J) - 1975 - Etude en hydrogéologie et paléohydrogéographie karstique. Thèse de doctorat d'état es sciences. 2 tomes, Univ. de Bordeaux I.

- X - 1979 - Padirac. Club spéléo de St Céré, éd. Artypo, Millau, 236p., 2 cartes, H. texte.
- X - 1980 - Protection des eaux contre la pollution d'origine routière. Données générales. Réalisé et diffusé par la division des liaisons interurbaines du S.E.T.A.
- X - 1980 - Protection des eaux contre la pollution d'origine routière. Catalogue de dispositifs d'interception et de traitement. Diffusé et réalisé par le S.E.T.A

ZUNINO (C), BONNET (M), LELONG (F) - 1980 - Le Val d'Orléans: un exemple d'aquifère karstique à alimentation latérale C.R de séminaire, Soc. Géol. de France, fasc. 5, pp. 195-199, 1980.

XXXXXXXXXXXXXXXX

CARTES CONSULTÉES

BRIVE-La-GAILLARDE - 1976 - Carte géologique au 1/50000^e, BRGM, n° 785..

BRIVE-LA-GAILLARDE - 1968 - carte géologique au 1/80000^e, BRGM, n° 183.

TERRASSON - 1979 - Carte géologique au 1/50000^e, BRGM, n° 786.

TULLE - 1966 - Carte géologique au 1/80000^e, BRGM, n° 173.

LISTE DES FIGURES

N°		page
1	Tirée de la carte géologique de la France au 1/50000	4
2	Le Causse de Martel. Contexte géologique.	6
3	Situation des hauts fonds occitan dans le jurassique moyen Européen. (d'après J.Delfaud; 1978)	8
4	Formations et séquences sur Jurassique Quercynois (d'après J.Delfaud; 1978)	10
5	Colonne stratigraphique (d'après carte géologique de Brive au 1/50 000).	21
6	Lias à l'ouest de la Faille de Chasteaux	23
7	Description lithologique et interprétation des conditions de dépôt (d'après E.Poitevin; 1979).	29
8	Profil synthétique des relations entre les unités lithologiques (d'après E.Poitevin; 1979).	31
9	Schéma structural régional (d'après la carte géologique de Brive au 1/50 000).	42
10	Plan de situation des stations micro-tectoniques	48
11	Fracturation globale (Canevas de Schmidt hémisphère inférieur).	48
12	Schéma structural.	54
13	Coupes géologiques du secteur étudié.	56
14	Carte géomorphologique du secteur étudié.	61
15	Forme des dolines.	64
16	Profil en long et sections de la vallée de la Couze.	66
17	Carte des pentes du bassin de la Couze-Perte (d'après P.Marchet; 1981).	68
18	Plan de situation des résurgences du Sorpt.	74
19	Le secteur étudié vu depuis le moulin de Gignac (Lot; dessin F.Briant et Ph.Muet)	76
20	Carte du réseau hydrographique actuel et ancien.	81
21	Organigramme des différents paramètres responsables de la mise en place d'un système karstique (A.Mangin; 1978).	83
22	Relation entre le schéma structural, les points d'émergence de l'aquifère karstique et la partie actuellement topographiée du réseau spéléologique de la Couze.	91
23	Localisation des différentes stations pluviométriques et tracé des polygones de Thiessen.	95

N°		page
24	Pluie à Coudonnet (Chartrier) et à Nespouls. Régime pluviométrique moyen et totaux annuels de 1969 à 1981.	98
25	Figure permettant de déterminer les différents paramètres du calcul du jaugeage par dilution.	108
26	Carte de localisation des stations limnimétriques et limnigraphiques	110
27	Courbes de tarage des stations limnigraphiques du Soulier de Rozier, du Briant et de Fontille.	111
28	Courbe de tarage de la Couze au Soulier, sans faucardage en 1981; avec faucardage en 1982.	112
29	Exemple d'hydrogramme reconstitué; le sorpt à rozier (crue du 6-10-1982).	113
31	Débits de la Couze au Soulier (cycle 1982) Régime hydrométrique moyen de la Couze au Soulier. Débits moyens des cycles 1971 à 1982. Pluie à Coudonnet pour les cycles 1971 à 1981.	121
32	Hydrogramme du Sorpt à Rozier et pluviogramme de la station de Coudonnet pour le cycle 1982.	123
33	Hydrogramme du Blagour au Soulier et pluviogramme de la station de Nespouls pour le cycle 1982.	124
34	Courbes des pourcentages cumulés des débits classés pour les débits de la Couze au Soulier sur 9 cycles.	135
35	Courbes des pourcentages cumulés des débits classés pour les sources du Blagour et du Sorpt pour le cycle 1982.	144
36	Rappels sur la recherche opérationnelle.	148
37	Courbe des pourcentages cumulés des débits classés de la Couze au Soulier (cycle 1982)	152
38	Courbe des pourcentages cumulés des débits classés de la source de Fontille pour le cycle 1982.	153
39	Illustration de la modélisation d'une courbe de recession d'après A.Mangin (1975).	157
40	Exemple d'analyse des courbes de recession. Le Sorpt à Rozier. Crue du 27-05-1981.	161
41	Tarissement de la Couze au Soulier. Crue du 2-04-82	162
42	Tarissement du Blagour au Soulier. Crue du 2-04-82	163
43	Tarissement du Sorpt à Rozier. Crue du 2-04-82	165
44	Tarissement de la source de Fontille. Crue du 2-04-82	166
45	Tarissement de la Couze-perte. Crue du 2-04-82	167
46	Fonctions homographiques modélisant les décrues de la Couze au Soulier, du Blagour au Soulier et du Sorpt à Roziers.	170
47	Comparaison des décrues du Sorpt et de la Couze-perte	172

N°		page
48	Classification de A; Mangin.	174
49	Détermination du temps moyen de séjour du colorant dans le système.	178
50	Distribution des temps de séjour de traceur pour les traçages perte de la Couze-Blagour, perte de Fontanille-Blagour, perte de Lacoste-Sorpt.	181
51	Expression analytique du corrélogramme simple.	187
52	Expression analytique du corrélogramme croisé	188
53	Analogie entre l'analyse spectrale d'un corps chimique et l'analyse spectrale d'une chronique hydrologique.	190
54	Structure d'une chronique hydrologique; Décomposition de la variance.	193
55	Corrélogramme et spectre de densité de variance longue durée de la pluie à Coudonnet.	198
56	Corrélogramme et spectre de densité de variance longue durée des débits de la Couze au Soulier.	199
57	Corrélogramme et spectre de densité de variance de la pluie à Coudonnet.	202
58	Corrélogramme et spectre de densité de variance des débits de la Couze au Soulier (Cycle moyen)	203
59	Classification des aquifères karstiques en fonction des résultats des analyses corrélatoire et spectrale	204
60	Corrélogramme croisé pluie-débit, pluie à Coudonnet; débits de la Couze au Soulier.	205
61	Schématisation du fonctionnement du système karstique de la Couze.	206
62	Fonction de cohérence et fonction de gain pour la Couze au Soulier croisé avec la pluie à Coudonnet	208
63	Fonction d'amplitude croisée et fonction de phase pour la Couze au Soulier croisé avec la pluie à Coudonnet.	208
64	Corrélogrammes des débits de la Couze au Soulier, du Blagour et du Sorpt relatifs au cycle 1982.	210
65	Corrélogrammes croisés pluie-débits des sources du Sorpt et du Blagour sur le cycle 1982.	210
66	Corrélogrammes des débits du Blagour, de la Couze-perte et de Fontille sur le cycle 1982.	212
67	Corrélogrammes croisés pluie-débits du Blagour, de la Couze-perte et de Fontille pour le cycle 1982.	212
68	Fonctions de gain et de cohérence pour la relation débits-débits entre la Couze-perte et le Blagour	213
69	Corrélogramme des débits de la Couze sur les cycles 1975, 1976, 1977, 1978.	216

N°	page
70	Schématisation d'une évolution morphologique aboutissant au fonctionnement simultané de deux structures karstiques (1 ^o hypothèse). 218
71	Schématisation d'une évolution morphologique aboutissant au fonctionnement simultané de deux structures karstiques (2 ^o hypothèse) 219
72	Schématisation des trois chaînes de réactions en relation avec les trois phases du système H ₂ O-CO ₂ -carbonates. 226
73	Variations saisonnières des teneurs en SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ et Cl ⁻ de la pluie durant le cycle 1982 (concentrations exprimées en mg/l) 229
74	Corrélogramme simple et spectre de densité de variance de la minéralisation des eaux du Blagour et du Sorpt pour le cycle 1982. 233
75	Courbe de titrage de l'eau du Blagour par une solution de HCl. Détermination du point équivalent permettant d'obtenir le TAC. 238
76	Relations entre conductivité électrique et minéralisation des eaux du Blagour, du Sorpt, de la Cressonnière du Blagour et de Fontille. 242
77	Catalogue de distributions des fréquences de valeurs de la conductivité des eaux de sources d'aquifère carbonatés poreux (Evian, Cachat), fissurés (Surgeint, Lac Bleu, ou plus ou moins karstifiés (d'après M. Bakalowicz; 1979). 246
78	Courbes de distribution des fréquences des valeurs de minéralisation des eaux des sources du Blagour, du Sorpt, de Fontille et de la Cressonnière du Blagour. 247
79	Variations de la minéralisation et des débits des eaux de la source du Blagour relatives au cycle 1982 248
80	Variations de la minéralisation et des débits des eaux de la source du Sorpt relatives au cycle 1982. 249
81	Variations de la minéralisation et des débits des eaux de la source de Fontille relatives au cycle 1982. 250
82	Variations de la minéralisation et des débits des eaux de la Cressonnière du Blagour relatives au cycle 1982. 250
83	Schéma illustrant le modèle employé pour les analyses en composantes principales. 252
84	Variations saisonnières du chimisme des eaux au niveau de la perte de la Couze. 261
85	Variations saisonnières du chimisme des eaux au niveau de la perte de la Couze. 262
86	Variations saisonnières du chimisme des eaux au niveau de la perte de la Couze. 263
87	ACP 1; Perte de la Couze: Plan F1-F2. 264

N°		<u>page</u>
88	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Blagour.	267
89	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Blagour.	268
90	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Blagour.	269
91	Position des prélèvements par rapport aux évènements hydrométriques.	270
92	ACP 4. Source du Blagour. Plan F1 et F2.	271
93	ACP 4. Source du Blagour. Plan F2-F3.	272
94	ACP 7. Source du Blagour. Plan F1-F2. Etiage 1982	273
95	Variations du pH et de la pCO_2 équilibrante lors de la crue du 7-XII-1981 à la source du Blagour(N°1)	276
96	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Cressonnière du Blagour.	277
97	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Cressonnière du Blagour.	278
98	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la Cressonnière du Blagour.	279
99	ACP 2. Cressonnière du Blagour. Plan F1-F2.	280
100	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source de Fontille.	282
101	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source de Fontille.	283
102	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source de Fontille	284
103	ACP 3. Source de Fontille. Plan F1-F2.	285
104	Variations saisonnières du chimisme des eaux de l'Event d'Entrecors.	288
105	Variations saisonnières du chimisme des eaux de l'Event d'Entrecors.	289
106	Variations saisonnières du chimisme des eaux de l'Event d'Entrecors.	290
107	ACP 1. Event d'Entrecors. Plan F1-F2	287
108	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Sorpt.	294
109	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Sorpt.	295
110	Variations saisonnières du chimisme des eaux de la source du Sorpt.	296
111	Position des prélèvements par rapport aux évènements hydrométriques.	297

N°		page
112	ACP 2. Source du Sorpt. Plan F1-F2.	298
113	ACP 6. Source du Sorpt. Plan F1-F2. Etiage 1982.	299
114	ACP 1. Comparaison Blagour-Sorpt. Plan F1-F2.	303
115	Comparaison des variations de la température des eaux à la perte de la Couze et à la source du Blagour.	307
116	Schéma de fonctionnement de l'aquifère karstique du Dogger déduit de l'interprétation des données hydrogéo-chimiques.	311
117	Représentation schématique d'un système karstique (d'après A.Mangin; 1975).	312
118	Schématisation d'un système karstique(d'après A.Mangin; 1975)	313
119	Schématisation du fonctionnement d'un aquifère karstique (A.Mangin; 1975).	313
120	Synthèse géologique, morphologique et paléomorphologique	315
121	Synthèse hydrodynamique.	316
122	Synthèse hydrogéochemique.	317
123	Schéma de fonctionnement de l'aquifère karstique du Dogger au nord du Causse de Martel.	318
124	Schéma représentant le fonctionnement de la zone superficielle de l'aquifère.	319
125	Schéma de la zone superficielle du Causse de Martel.	320
126	Schéma de l'aquifère karstique du Causse de Martel.	329

XXXXXXXXXX

LISTE DES TABLEAUX

N°		page
1	Corrélation des unités stratigraphiques distinguées par les auteurs.	26
2	Valeurs de porosité de matrice (Φ %) exprimées en % de roche pour les calcaires du Dogger.(d'après E.Poitevin, 1979)	39
3	Chronologie des évènements tectoniques pour la plateforme Quercynoise du Jurassique à nos jours.(d'après D.Bonijoly;1980)	49
4	Proposition de chronologie des évènements tectoniques dans le secteur étudié.	50
5	Modules pluviométriques brutes pour les stations de Brive, Ligneyrac et Chartrier; moyennes calculées sur 10 ans.	97
6	Modules pluviométriques après correction pour ramener la surface de l'entonnoir à 2000 cm ² .	97

N°		page
7	Modules pluviométriques annuels pour les stations de Brive, Ligneyrac et Chartrier.	99
8	Valeurs d'albédo pour le bassin de la Diège en Corrèze (d'après M.Bakalowicz;1974)	102
9	Valeurs d'ETR journalières pour les années 1981 et 1982 (cycle 1982).	103
10	Valeurs numériques de la courbe de tarage de la station limnigraphique du Soulier (Couze).	109
11	Valeurs numériques de la courbe de tarage de la station limnigraphique de Roziers (Sorpt).	114
12	Valeurs numériques de la courbe de tarage de la station limnigraphique du Briant(Couze-perte).	115
13	Valeurs numériques de la relation entre l'Event d'Entrecors et la source de Fontille.	118
14	Caractéristiques hydrométriques des différentes stations	126
15	Résultats des traçages effectués sur le Causse de Martel.	129
16	Caractéristiques des deux bassins versants de la zone non-karstique.	137
17	Caractéristiques des bassins versants de la zone karstique.	139
18	Résultats des analyses des courbes de récession pour la Couze au Soulier.	168
19	Résultats des analyses des courbes de récession pour le Blagour au Soulier.	168
20	Résultats des analyses des courbes de récession pour le Sorpt à Roziers.	168
21	Résultats des analyses des courbes de récession pour Fontille et la Couze-Perte.	168
22	Valeurs numériques et paramètres caractéristiques des traçages de la perte de la Couze-Blagour, perte de Fontanille-Blagour, Perte de Lacoste-Sorpt.	180
23	Débits moyens en m^3/s de la Couze au Soulier pour les cycles 1975, 1976, 1977,et 1978.	216
24	Résumé des équilibres constituant le système CO_2-H_2O -carbonate.	224
25	Teneurs en SO_4^{2-} de l'eau de pluie recueillie à Nespouls durant le cycle 1982 (concentrations en mg/l).	227
26	Teneurs en Cl^- de l'eau de pluie recueillie à Nespouls durant le cycle 1982 (concentrations en mg/l)	230
27	Teneurs en Na^+ de l'eau de pluie recueillie à Nespouls durant le cycle 1982 (concentrations en mg/l)	236
28	Tableau regroupant les valeurs d'incertitudes relatives estimées pour les différents types d'analyse.	236

N°		<u>page</u>
29	Valeurs de concentrations de l'ion nitrate dans les eaux du Blagour, ainsi que le bilan ionique avant (1 ^o bilan) et après (2 ^o bilan) la prise en compte de cet ion.	240
30	Valeurs de concentrations de l'ion nitrate dans les eaux du Sorpt, ainsi que le bilan ionique avant (1 ^o bilan) et après (2 ^o bilan) la prise en compte de cet ion.	240
31	Caractéristiques physiques et chimiques moyennes, maximales et minimales des eaux des divers points de prélèvement.	244
32	Tableau présentant l'ensemble des analyses en composantes principales menées sur les prélèvements bimensuels des différents points prélevés.	257
33	Tableau présentant l'ensemble des analyses en composantes principales menées sur les prélèvements de crue des différents points prélevés.	259
34	Correspondance entre les U.S de l'ACP Blagour-Sorpt et les U.S des ACP menées pour chaque systèmes sur le cycle 1982	302

LISTE DES CARTES

N°		<u>page</u>
1	Cadre géologique	13
2	Localisation des traçages effectués sur le Causse de Martel.	130
3	Carte du bassin d'alimentation de la Couze au Soulier.	138

LISTE DES PHOTOS

N°		<u>page</u>
1	Vue d'avion de la faille de Chasteaux limitant les calcaires du Dogger à l'est et les formations marneuses du Lias à l'ouest (Photo réalisée grâce à l'amabilité de R.Michaud; altitude 500m)	78
2	Grotte du Coustal: Cette grotte a été découverte lors de l'ouverture de la carrière du Coustal. Elle se situe à proximité de la Faille de Meyssac, dans une zone fortement tectonisée.	79
3	Station limnimétrique du Soulier (La Couze: station C)	116
4	Station limnigraphique de Roziers (Le Sorpt: Station S)	116
5	Source du Blagour de Chasteaux (N°1)	117
6	Event d'Entrecors (N°6). Equipement limnimétrique.	117

SOMMAIRE DES ANNEXES

	<u>page</u>
<u>ANNEXE I</u> : INVENTAIRE DES SOURCES ET PERTES CITEES DANS LE TEXTE.	1
<u>ANNEXE II</u> : MICRO-TECTONIQUE	5
<u>ANNEXE III</u> : DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROMETRIQUES	15
-Données climatologiques	17
-Pluie à Coudonnet et à Nespouls; cycle 1982	21
-Pluie à Coudonnet; années 1970 à 1980.	25
-Données hydrométriques; cycle 1982	33
-Débits de la Couze au Soulier; années 1971 à 1980.	45
<u>ANNEXE IV</u> : ANALYSE DES COURBES DE RECESSION	51
-La Couze au Soulier	53
-Le Blagour au Soulier	57
-Le Sorpt à Röziers	61
<u>ANNEXE V</u> : RESULTATS DES TRACAGES	65
<u>ANNEXE VI</u> : RESULTATS DES ANALYSES CORRELATOIRES ET SPECTRALES RELATIVES AUX CHRONIQUES DU CYCLE 1982.	75
-Pluie à Coudonnet; cycle 1982	77
-Pluie à Nespouls; cycle 1982	77
-Débits du Blagour; cycle 1982	81
-Débits du Sorpt; cycle 1982	85
-Débits de Fontille; cycle 1982	89
-Débits de la Couze-Perte; cycle 1982	93
-Analyse croisée: Débits du Blagour-Débits de la Couze-Perte.	97
<u>ANNEXE VII</u> : PRINCIPE DES ANALYSES CHIMIQUES CALCUL DE LA $p\text{CO}_2$ équi., CO_2 dissous, ET DU pH d'équi. DONNEES HYDROGEOCHIMIQUES BRUTES	101
<u>ANNEXE VIII</u> : TABLEAUX ET PLANS FACTORIELS COMPLETANT LES ACP PRÉSENTÉES DANS LE TEXTE. DESCRIPTION DES VARIATIONS DE LA CHIMIE DES EAUX LORS DES CRUES.	123
-Tableaux et plans factoriels complétant les ACP présentées dans le texte	125
-Description des variations de la chimie des eaux lors des crues	155
<u>ANNEXE IX</u> : CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU ET $p\text{CO}$ DE L'EAU DANS LE RÉSEAU SPÉLEOLOGIQUE DE LA COUZE.	227

Les annexes (Tome II) peuvent être consultées
dans les lieux suivants:

Laboratoire d'Hydrogéologie
Université d'Orléans
45046 ORLEANS CEDEX
tél: 39-63-22-16

Laboratoire Souterrain du CNRS
Moulis
St Girons 09200

DDA de la Corrèze
Cité administrative J. Montalat
19000 TULLE

SRAE du Limousin
13, rue de la Corderie
87000 Limoges

chez Ph. Muet
21, rue J. Yernaux
19100 Brive
tél: 55-87-51-53

Mots-clefs: Karst, Hydrogéologie, Quercy, Ressource en eau, Hydrodynamique, Traçages, Analyses corrélatoire et spectrale, Hydrogéochimie, Analyse en composantes principales, Vulnérabilité.

RESUME:

Au nord du Causse de Martel (nord-Quercy), l'aquifère karstique du Dogger (Bajocien, Bathonien) est capté pour l'AEP et alimente un plan d'eau à vocation touristique: Le Plan d'Eau du Causse.

Deux questions se posent aux responsables de cette région:

- 1) Quelles sont les ressources en eau exploitables de cet aquifère?
- 2) Quelles sont les mesures à prendre pour éviter la pollution des eaux du karst?

Pour répondre à ces questions nous avons choisi une approche systémique de l'étude du karst.

Deux systèmes karstiques, le système du Blagour de Chasteaux et le système du Sorpt drainent les eaux souterraines de cette partie du Causse. Leur superficie totale est de l'ordre de 65 km². Les limites de ces deux systèmes, déterminées ponctuellement par des expériences de traçages, correspondent aux limites des paléo-bassins versants de surface que l'on peut reconstituer à la surface du Causse.

Les sources importantes, exutoires de ces systèmes, ont fait l'objet d'un suivi hydrologique (installation de stations limnigraphiques et limnimétriques) et hydrochimique (prélèvements bimensuels et lors des crues) durant le cycle 1982. Des traçages quantitatifs ont également été menés à partir de plusieurs points de perte. De ces diverses données brutes nous avons tiré des informations concernant la structure et le fonctionnement hydrodynamique de ces deux systèmes grâce aux méthodes suivantes:

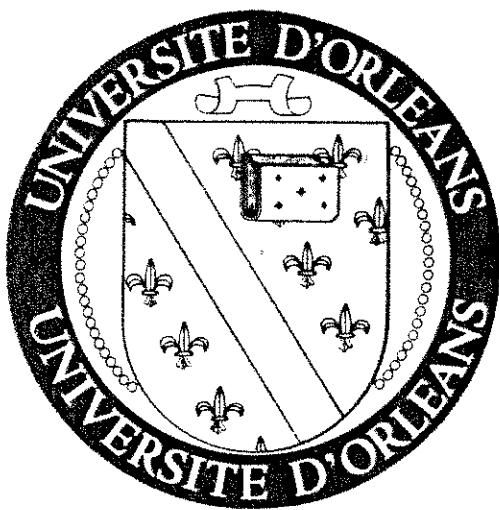
- Pour les données de débit;
 - + analyse des courbes de recession,
 - + analyses corrélatoire et spectrale;
- Pour les données hydrochimiques;
 - + distribution des fréquences de minéralisation,
 - + analyse en composantes principales;
- Pour les traçages;
 - + analyse des distributions de temps de séjour.

Il ressort de ces différentes analyses que les systèmes du Blagour et du Sorpt ont un fonctionnement hydrodynamique complexe dû à l'existence au sein de la masse calcaire de deux structures fonctionnellement indépendantes et dont le degré d'organisation est différent. L'une, très bien organisée, correspond à un ensemble de paléo-drains surdimensionnés et réactivés. L'autre, d'une organisation médiocre, constitue la structure capacitive de l'aquifère. A l'aval les écoulements sont désorganisés par une remontée du niveau de base. La partie supérieure de la zone non-saturée est partiellement colmatée, ce qui permet l'existence de fortes pCO₂ dans l'aquifère.

Cette structure particulière et le fonctionnement actuel des systèmes étudiés résultent d'une adaptation des écoulements aux diverses variations géographiques et climatiques qui ont affecté le Causse de Martel durant le Quaternaire.

La synthèse de ces résultats permet de conclure:

- qu'il existe des réserves non-négligeables surtout stockées à l'aval des systèmes ($6 \times 10^6 \text{ m}^3$),
- que la qualité des eaux du karst est surtout menacée à cause de la présence de pertes en relation directe avec la structure bien organisée de cet aquifère. De ce fait, nous proposons de protéger les points de perte, l'aval des bassins versants les alimentant et les régions situées à la verticale des zones drainantes, surtout à l'aval des systèmes.



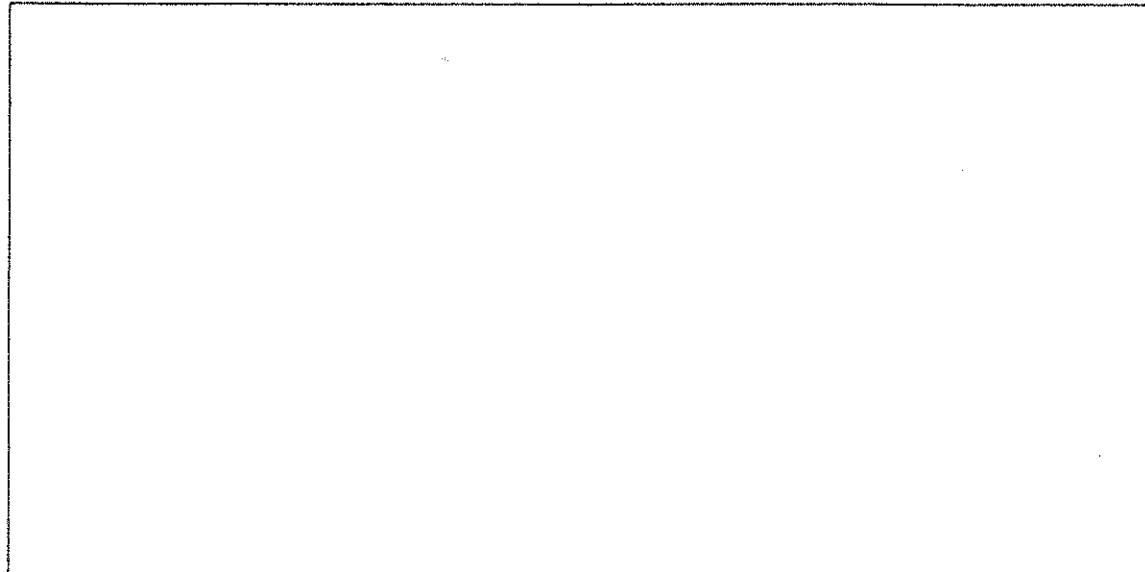
THESE

MATIERES

PREMIERES

MINERALES ET ENERGETIQUES

OPTION: Géochimie et prospection des ressources naturelles



-UNIVERSITE D'ORLEANS -

-DEPARTEMENT des SCIENCES de la TERRE -

LABORATOIRE D'HYDROGEOLOGIE
de
L'Université d'Orléans

En collaboration avec le
LABORATOIRE SOUTERRAIN DU CNRS
(Moulis, Ariège)
et le SRAE du LIMOUSIN.

THESE

présentée

devant

L'UNIVERSITE D'ORLEANS

U.E.R DE SCIENCES FONDAMENTALES ET APPLIQUEES

pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE 3^{ème} Cycle

Spécialité:

MATIERES PREMIERES, MINERALES

ET

ENERGETIQUES

par

Philippe MUET

STRUCTURE, FONCTIONNEMENT ET EVOLUTION

DE DEUX SYSTEMES AQUIFERES KARSTIQUES DU

NORD DU CAUSSE DE MARTEL (Corrèze)

TOME II (Annexes)

Soutenue le 28 Novembre 1985 devant le Jury:

M. F. LELONG

Président

Mme M. HUCHER

Examinateurs

MM. R. MIROUZE

M. BAKALOWICZ

B. LAFOSSE

M. LEPILLER

A. MANGIN

SOMMAIRE

	<u>page</u>
<u>ANNEXE I</u> : INVENTAIRE DES SOURCES ET PERTES CITEES DANS LE TEXTE.	1
<u>ANNEXE II</u> : MICRO-TECTONIQUE	5
<u>ANNEXE III</u> : DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROMETRIQUES	15
-Données climatologiques	17
-Pluie à Coudonnet et à Nespouls; cycle 1982	21
-Pluie à Coudonnet; années 1970 à 1980.	25
-Données hydrométriques; cycle 1982	33
-Débits de la Couze au Soulier; années 1971 à 1980.	45
<u>ANNEXE IV</u> : ANALYSE DES COURBES DE RECESSION	51
-La Couze au Soulier	53
-Le Blagour au Soulier	57
-Le Sorpt à Röziers	61
<u>ANNEXE V</u> : RESULTATS DES TRACAGES	65
<u>ANNEXE VI</u> : RESULTATS DES ANALYSES CORRELATOIRES ET SPECTRALES RELATIVES AUX CHRONIQUES DU CYCLE 1982.	75
-Pluie à Coudonnet; cycle 1982	77
-Pluie à Nespouls; cycle 1982	77
-Débits du Blagour; cycle 1982	81
-Débits du Sorpt; cycle 1982	85
-Débits de Fontille; cycle 1982	89
-Débits de la Couze-Perte; cycle 1982	93
-Analyse croisée: Débits du Blagour-Débits de la Couze-Perte.	97
<u>ANNEXE VII</u> : PRINCIPE DES ANALYSES CHIMIQUES CALCUL DE LA $p\text{CO}_2$ équi., CO_2 dissous, ET DU pH d'équi. DONNEES HYDROGEOCHIMIQUES BRUTES	101
<u>ANNEXE VIII</u> : TABLEAUX ET PLANS FACTORIELS COMPLETANT LES ACP PRÉSENTÉES DANS LE TEXTE. DESCRIPTION DES VARIATIONS DE LA CHIMIE DES EAUX LORS DES CRUES.	123
-Tableaux et plans factoriels complétant les ACP présentées dans le texte	125
-Description des variations de la chimie des eaux lors des crues	155
<u>ANNEXE IX</u> : CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU ET $p\text{CO}$ DE L'EAU DANS LE RÉSEAU SPELEOLOGIQUE DE LA COUZE.	227

ANNEXE I

Inventaire des sources et des pertes citées
dans le texte.

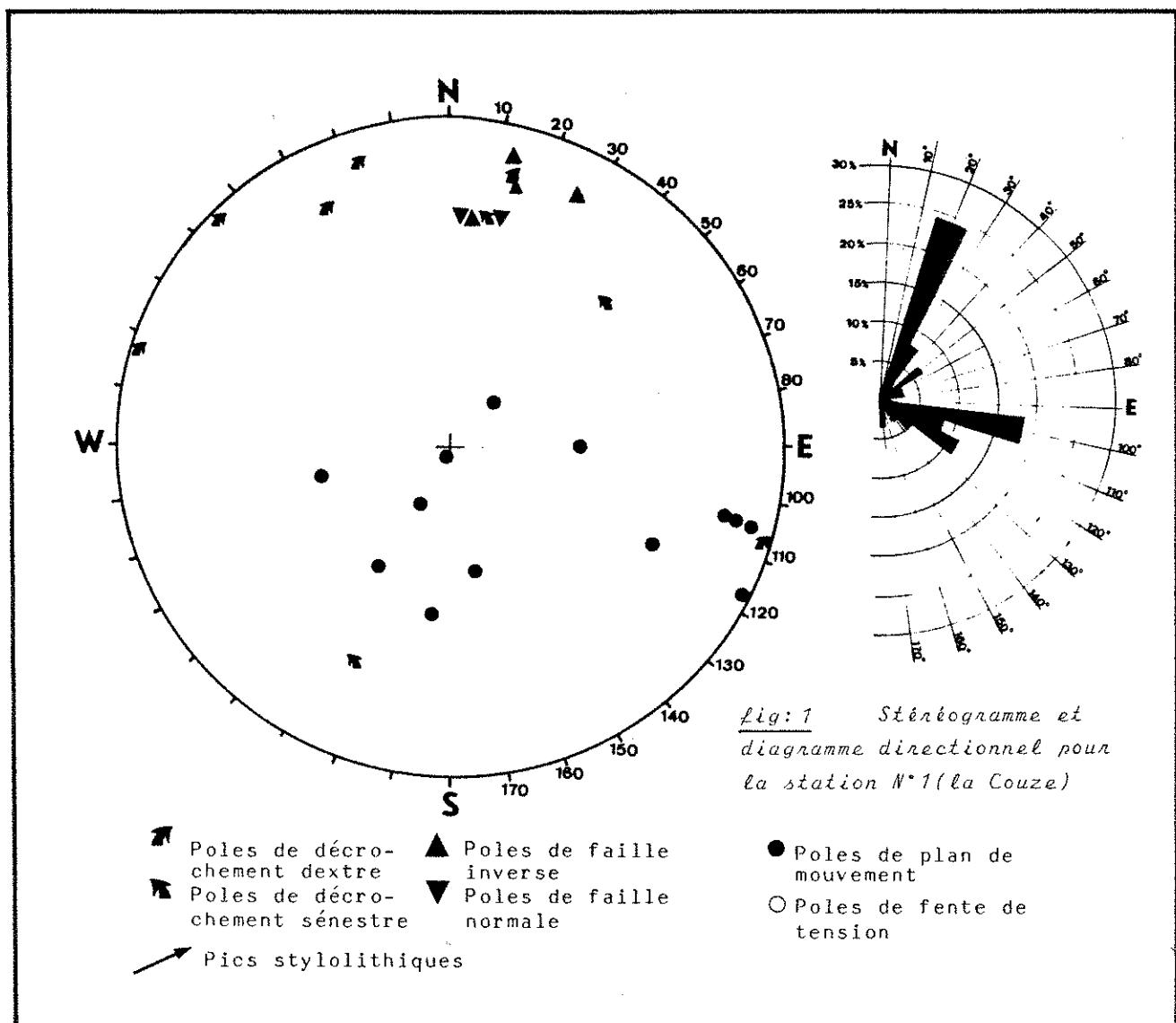
ANNEXE N° 1

13	source du Moulin de Lissac	source	perenne	531,63	310,86	125 m environ	naît à la base d'un banc calcaire du Lias
14	sources du Château de la Peyrouse	source karstique	perennnes	539,47 539,50	306,48 306,38	≥ 270 m ≥ 270 m	naissent à la base des calcaires du Bajocien
15	Trop plein de la Peyrouse	trop plein	temporaire	539,66	307,25	≥ 270 m	situé à la base des calcaires du Bajocien
16	source du Maurel	source	perenne	539,42	309,28	≥ 260 m	utilisé pour AEP de Sugeals Nazareth
17	source de Lacoste	source karstique	perenne	531,0	307,75	≥ 240 m	résurgence se trouvant à la base des calcaires (Bajocien, aquifères se trouvant à l'ouest de la faille de Lissac
18	source du Suspens	source	perenne	536,93	309,03	240 m	source diffuse ayant un débit très faible en étage
19	Aven-perte Ferrière	perte-aven	temporaire	522,74	305,975	270 m	aven-perte se trouve à la bordure d'une importante doline
20	Perte du Peuch	perte	temporaire	531,37	311,96	220	perte dans un effondrement
21	source de la Gironie	source karstique	perenne	539,70	304,725	≥ 245 m	naît à la base des calcaires du Bajocien
22	source de Ladoux de St Cernin	source karstique	perenne				naît à la base des calcaires du Bajocien - Utilisé pour AEP de Brive
23	Perte de Gignac	perte	temporaire				est alimentée par la source du Touron
24	Blagour de Souillac	source karstique	perenne				voir thèse de J.P. FABRE
25	Source de Cacrey	source karstique	perenne				voir thèse de J.P. FABRE
26	Oeil de Ladoux	source karstique	perenne				source présentant un trop plein explorable voir thèse de J.P. FABRE
27	Source St Martial	résurgence	perenne	531,67	310,86	125 m	petite sortie d'eau d'un débit d'étage de 0,28 l/s (à la sortie du captage!) Cette source est appréciée des habitants de la région

ANNEXE II

Micro-tectonique:

*description des différents diagrammes



* Station 1: Carrière de la Couze ou du Coustal (cf. fig: 1)

La station 1 se situe à proximité immédiate de la Faille de Meyssac. A partir des mesures qu'il a effectuées dans cette carrière E. Poitevin a notamment décrit un jeu décrochant en "tiroir" de celle-ci. La partie inférieure de la carrière s'ouvre dans les calcaires oolithiques du Bajocien; au sommet de la carrière apparaissent les calcaires micritiques du Bathonien.

Le diagramme directionnel permet de définir deux directions dominantes de fractures:

a) Direction N20°

Cette direction est surtout caractérisée par des

diaclases puisque la représentation stéréoscopique ne montre que deux décrochements dextres présentant cette direction. De plus, ces diaclases sont verticales.

b) Direction N100° à N120°

Cette direction montre des jeux normaux et inverses et en décrochements dextres et enestres. Les pendages sont compris entre 50° et la verticale.

Une autre famille, de direction N50°, présente un jeu en décrochement dextre. Grâce aux différents jeux décrochants trouvés dans cette carrière, on peut déterminer un axe Z de raccourcissement qui, localement, prend une direction N100° à N120°. Mais de toute évidence les accidents sont polyphasés. Il faut ajouter qu'il existe dans cette carrière de très nombreux stylolithes à pics verticaux sur des plans N120° inclinés vers le nord, attestant une phase en distension.

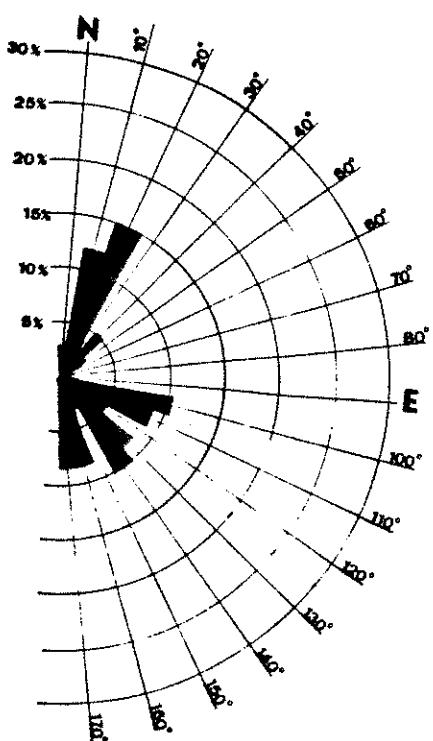


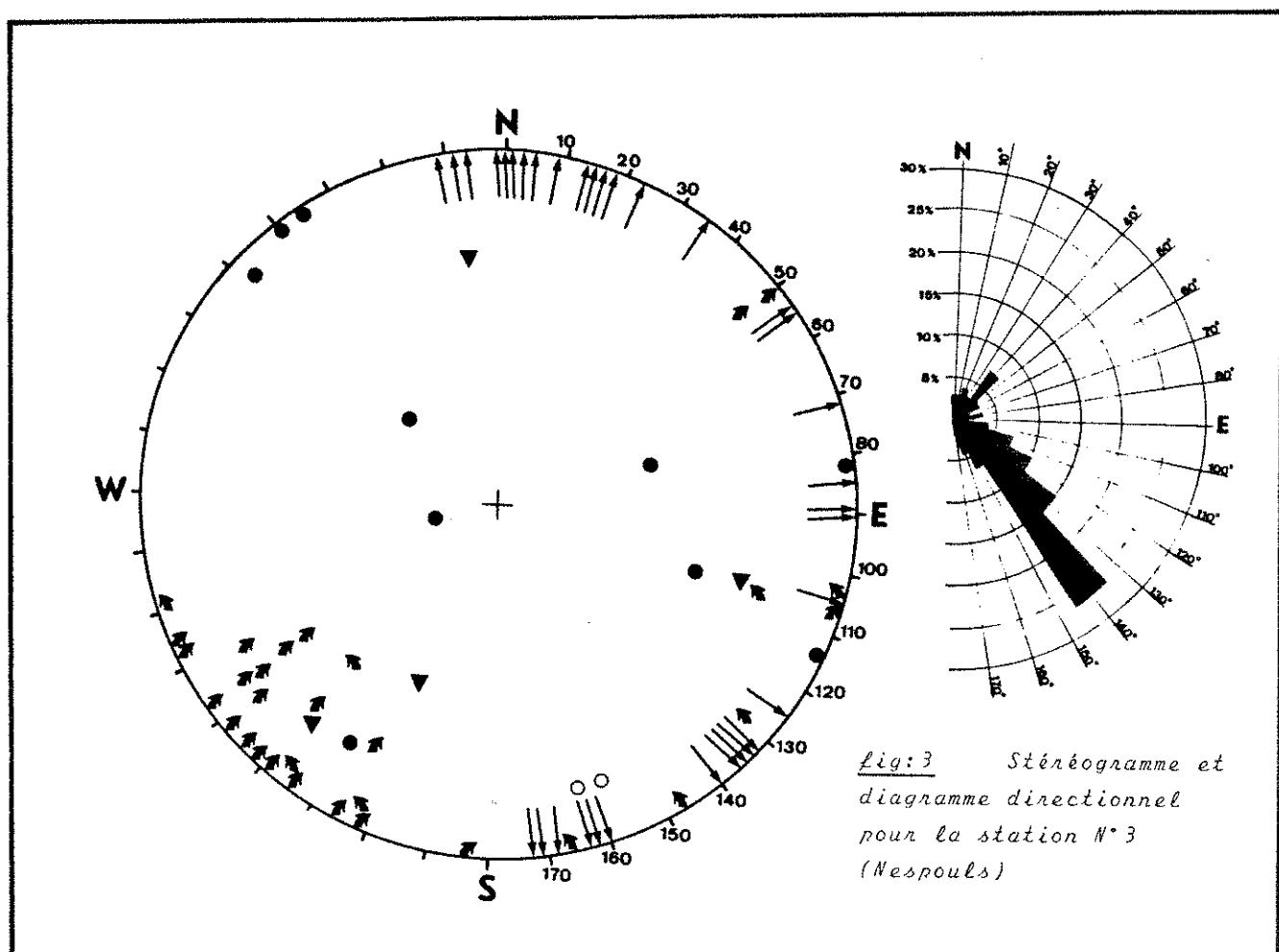
Fig : 2 Diagramme directionnel pour la station N° 2 (La font Trouvée)

Station 2: Carrière de la Font Trouvée (cf. fig: 2)

Cette carrière se situe à 1Km au sud-est de la précédente. Elle s'ouvre dans les calcaires oolithiques du Bajocien; comme dans la carrière précédente, au sommet, affleurent les calcaires micritiques du Bathonien inférieur. Cette carrière présente de nombreuses fractures le long desquelles il a été impossible de mettre en évidence un jeu relatif entre les compartiments. Nous ne présenterons donc qu'un diagramme directionnel, sur lequel on remarque que trois directions de fractures se retrouvent fréquemment:

- a) N10° à N20°
- b) N100° à N110°
- c) N160° à N170°

Ces diaclases ont des pendages supérieurs à 70°. Dans cette carrière, on note également la présence de stylolithes à pics verticaux.



Station 3 : Carrières de Nespouls (cf. fig: 3)

Nous avons rassemblé sur les mêmes diagrammes les mesures effectuées dans deux carrières se situant à proximité de Nespouls, à l'est et à l'ouest de la RN 20. Ces deux carrières s'ouvrent dans les calcaires micritiques à passages oolithiques du Bathonien. La direction de fractures la mieux représentée est N140°, mais toutes les directions existent. Cette station est caractérisée par un grand nombre de plans stylolithiques, dont les pics ont des directions qui se répartissent, dans tous les azimuts, avec un maximum entre N160° et N20° et entre N125 et N140°. Enfin, on peut individualiser une autre famille de stylolithes à pics orientés grossièrement est-ouest.

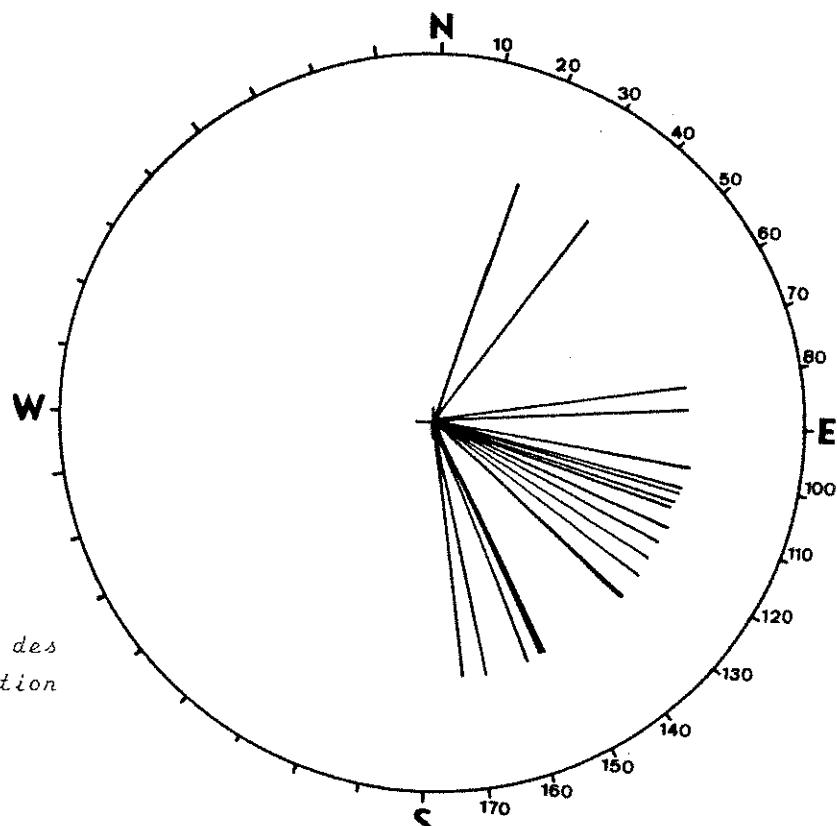


fig:4 Direction des
fractures de la station
N° 4 (Favars)

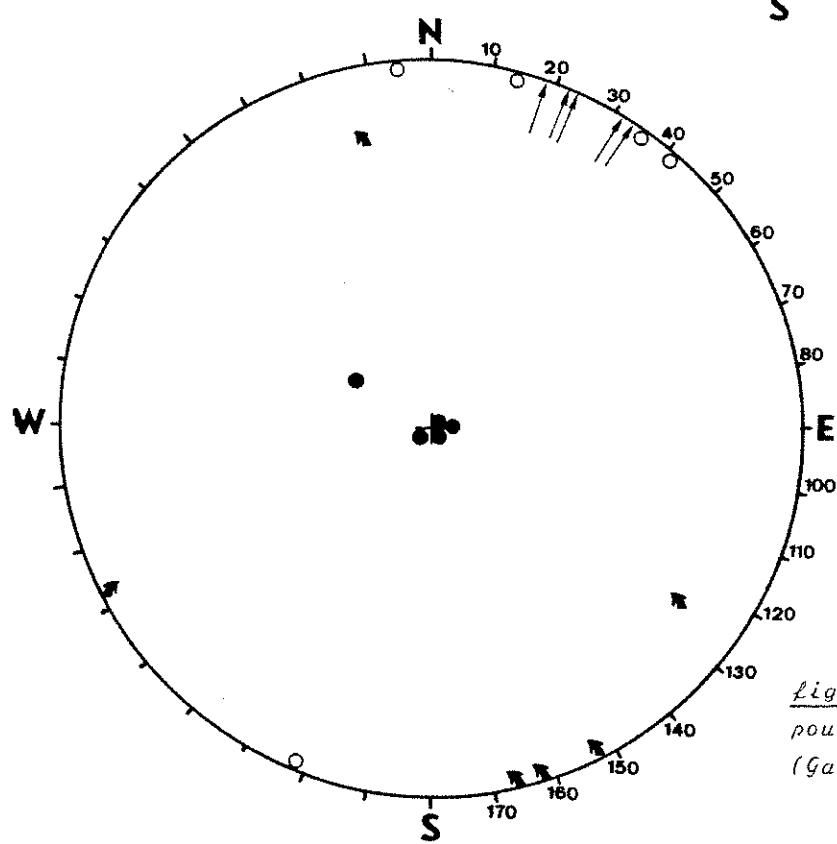


fig:5 Stéréogramme
pour la station N° 5
(Gare de Chasteaux)

On note l'absence de failles inverses. En revanche, les accidents de direction N140° peuvent être interprétés comme des failles normales ou comme des décrochements dextres ou sénestres. Les trois figures peuvent se trouver sur le même miroir de faille. A l'aide de ces décrochements on peut déterminer une direction de raccourcissement Z approximativement nord-sud, qui semble la plus importante. Pour expliquer les autres décrochements il faut envisager l'existence d'une direction de raccourcissement est-ouest. On notera la présence de fentes de tension et de pics stylolithiques de direction N60° à N70° s'intégrant mal dans ce modèle.

* Station 4 : Carrières de Favars (cf. fig: 4)

Ces carrières situées non loin de Favars s'ouvrent dans des calcaires micritiques à passages oolithiques. Il n'a pas été possible de déterminer des mouvements relatifs le long des plans de fracture. De plus, le nombre des mesures effectuées n'est pas suffisant pour tracer une représentation statistique des directions. Aussi, nous ne présenterons que les directions des différentes fractures rencontrées. On remarquera que les fractures de direction N100° à N130° et N155° à N175° sont les plus nombreuses.

* Station 5 : Carrière de la tranchée de la gare de Chasteaux (cf. fig: 5)

Cette station de situe non loin de la Faille de Chasteaux et s'ouvre dans les calcaires micritiques du Bathonien inférieur (Unité 4). Deux familles de décrochements conjugués ont été mises en évidence; des décrochements sénestres de direction N40° à N60° et un décrochement dextre de direction N130°. En conséquence, la direction de raccourcissement associée à ces décrochements serait N20° à N30°. Ce résultat est confirmé par la présence de pics stylolithiques de direction N20° à N30°. En revanche et comme pour la station 3 (Nespouls) il existe des fentes de tension de direction N100° à N130° qui s'intègrent mal dans ce modèle.

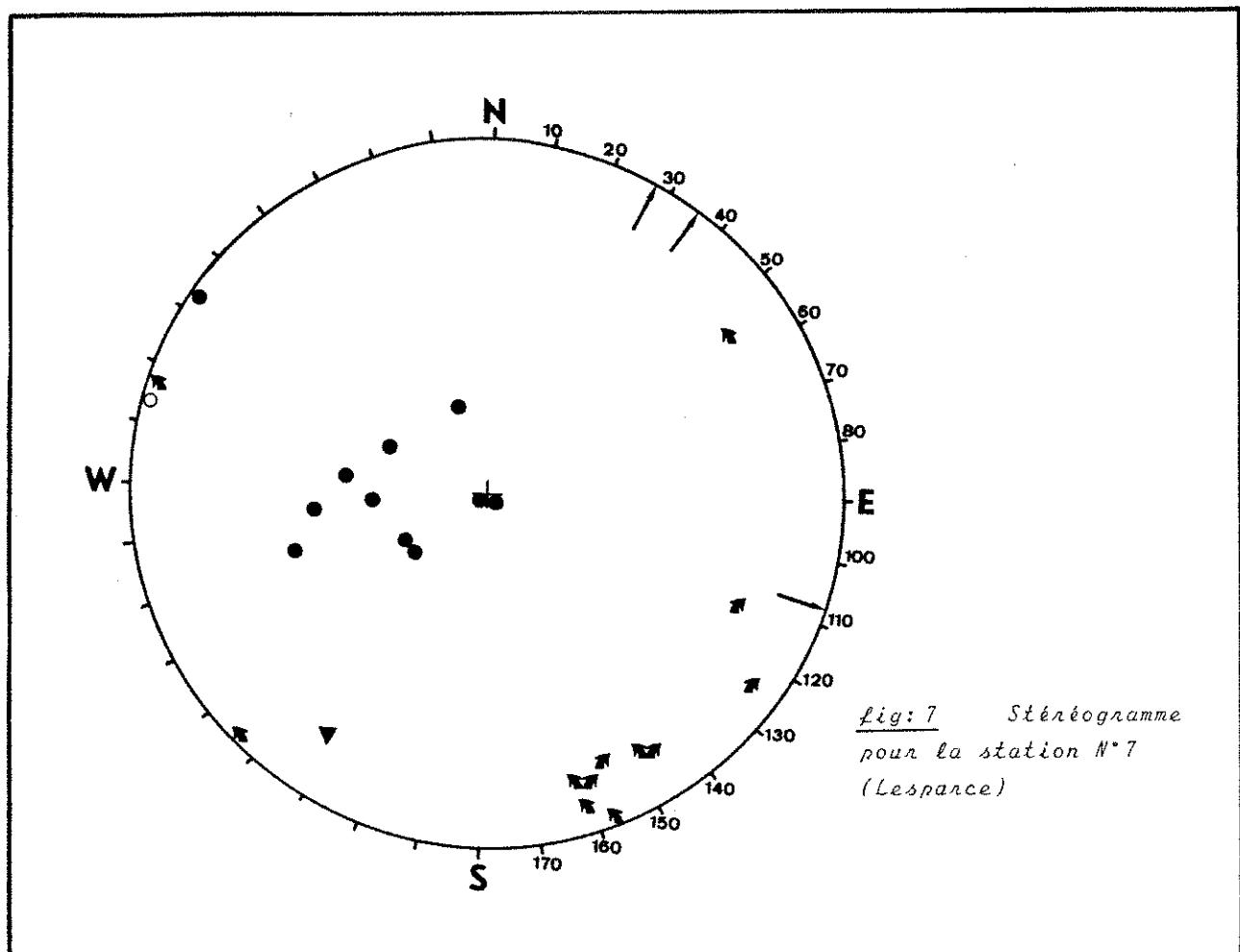


Fig: 7 Stereogramme pour la station N°7 (Lesparce)

* Station 7 : Carrière de Lesparce (cf. fig: 7)

Comme pour la station précédente cette carrière s'ouvre dans les calcaires micritiques du Bathonien à proximité de la Faille de Meyssac. Les bancs calcaires plongeant de 10° vers le NW (N60°- 10°NW), présentent surtout des plans de décrochements senestres et dextres de direction N50°. Deux familles de stylolithes apparaissent, N30° et N110°.

Sur ce diagramme on peut déterminer deux directions de raccourcissement N110° et N30° ainsi qu'une phase en distension

* Station 8 : Carrières du Puy Gérald (cf. fig: 8)

Nous avons regroupé sur un seul diagramme des mesures effectuées dans différentes carrières situées à proximité du point d'intersection des Failles de Meyssac et de Chasteaux. Toute ces carrières s'ouvrent dans les calcaires micritiques du

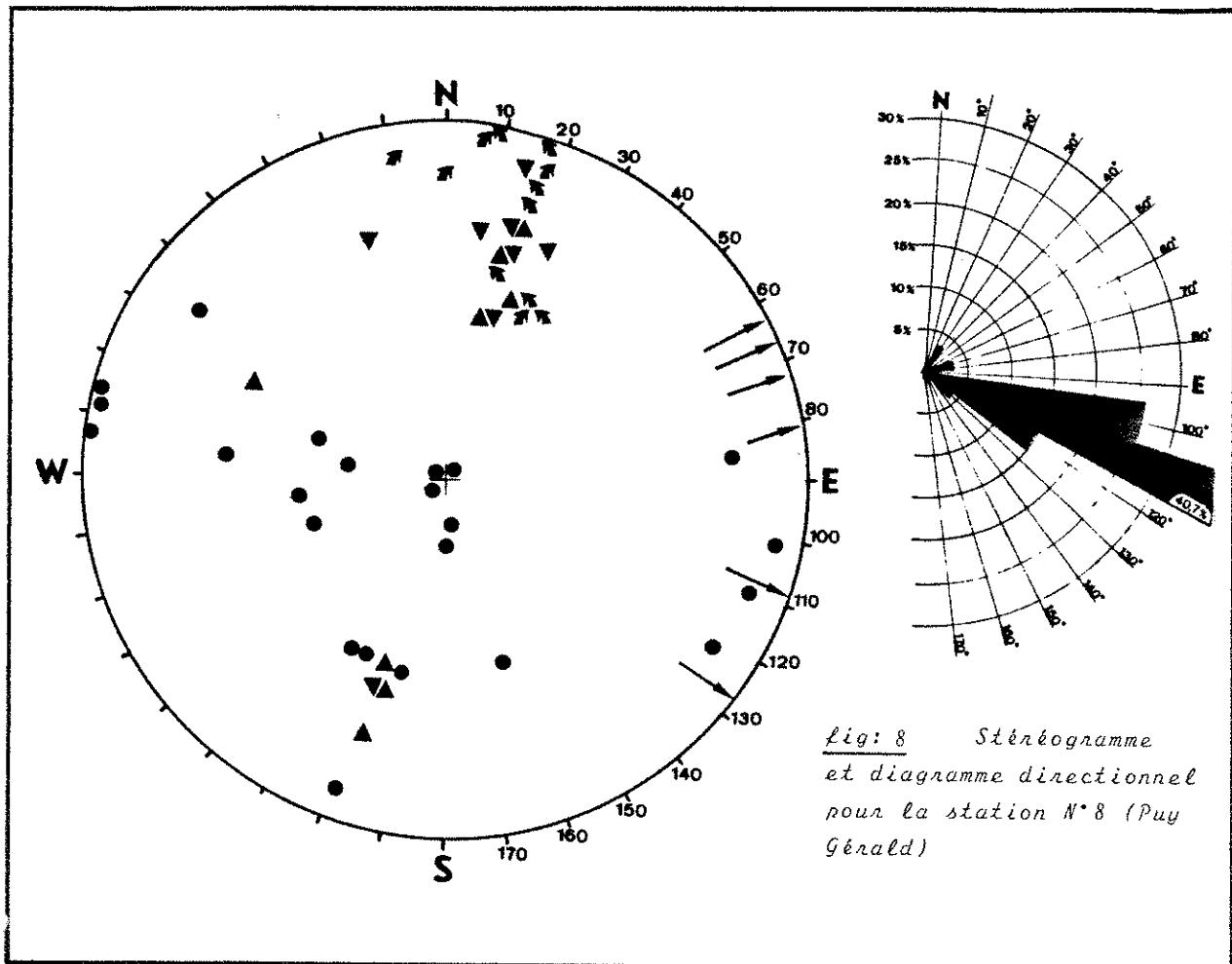


fig: 8 Stéréogramme et diagramme directionnel pour la station N° 8 (Puy Gérald)

Bathonien. La direction principale représentée dans cette station est N100° à N120°. Ces accidents sont à la fois des plans de décrochements dextres ou sénestres et des cisaillements inverses ou normaux. Il existe deux familles de stylolithes N110° à N130° et N60° à N80°. A la direction N110°- N130° est associée une faille inverse.

Comme pour la station 1 il semble que l'on puisse mettre en évidence ici une direction de raccourcissement N110° mais de toute évidence les plans de rupture trouvés dans ces différentes carrières sont polyphasés.

ANNEXE III

DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROMETRIQUES

DONNEES CLIMATOLOGIQUES:

- *Humidité relative à Gourdon
- *Températures à Brive
- *Insolation à Malemort

JOUR	JANU.	FÉVRI.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOÛT	SEPT.	OCTO.	NOV.	DEC.
1	84.6	78.0	80.3	82.6	81.6	52.9	68.4	91.1	83.8	79.6	94.1	79.0
2	85.6	73.6	84.5	88.5	82.8	71.1	70.5	89.6	78.4	83.3	88.6	83.1
3	93.5	88.1	83.9	67.6	79.9	98.1	88.8	81.6	75.4	89.4	88.9	88.3
4	98.4	91.6	87.6	70.0	65.0	79.9	78.0	73.9	67.9	77.5	88.4	97.9
5	74.4	86.0	78.3	78.1	89.4	69.8	78.5	76.0	67.3	77.4	98.9	93.0
6	83.4	82.5	86.3	77.4	78.8	81.8	76.5	84.4	64.4	65.6	78.8	87.8
7	78.8	85.0	76.5	73.0	56.3	75.3	76.5	66.9	63.6	79.3	67.3	97.1
8	78.6	82.5	77.5	72.8	80.9	71.9	78.1	92.9	84.5	72.9	69.3	96.4
9	81.5	93.4	79.1	66.3	72.1	91.1	81.1	85.4	93.9	74.3	57.1	91.4
10	89.9	73.0	66.5	53.3	82.3	78.1	98.8	77.4	80.5	82.3	64.8	97.9
11	85.6	65.0	54.1	74.0	90.0	73.6	87.9	78.0	87.1	86.6	67.0	92.8
12	80.1	63.9	63.5	77.9	93.4	72.6	84.8	77.9	90.8	94.8	80.3	91.1
13	77.9	54.4	78.8	46.9	85.9	75.6	81.0	75.9	82.8	80.3	90.8	90.1
14	88.8	61.5	75.5	59.0	77.5	69.1	80.1	71.6	77.4	80.1	81.9	85.3
15	84.0	53.3	79.6	72.6	70.6	71.9	83.1	63.4	73.4	86.4	72.4	90.0
16	89.6	65.1	80.1	78.6	79.3	71.8	87.1	69.9	81.9	81.3	68.0	85.6
17	89.0	71.1	77.8	80.6	70.5	59.5	81.4	75.8	74.0	58.0	62.9	87.5
18	85.6	71.3	73.9	48.4	55.0	56.8	78.4	56.4	83.1	83.0	61.8	90.3
19	81.6	69.3	65.5	43.4	54.4	58.9	73.4	66.0	84.3	90.1	75.3	74.0
20	84.8	65.3	55.8	62.8	46.3	66.3	86.5	71.5	62.0	90.5	76.3	60.1
21	80.5	66.5	56.0	58.3	86.1	65.9	84.3	73.5	80.1	83.4	84.3	78.5
22	85.9	85.1	67.8	46.0	78.4	52.1	88.1	72.1	85.5	87.8	84.0	95.1
23	77.8	96.5	98.8	63.3	70.3	60.8	80.9	75.3	80.0	88.4	80.3	91.0
24	75.3	91.0	87.3	49.5	81.3	61.4	83.3	68.4	75.8	85.8	90.0	83.6
25	91.6	78.6	62.6	69.8	90.1	91.8	76.0	61.9	74.3	93.6	75.0	75.4
26	84.9	61.1	74.3	83.4	86.9	79.6	76.9	52.1	87.0	82.4	71.1	61.1
27	71.1	78.1	52.8	76.3	81.9	91.9	77.4	61.0	87.3	93.9	75.3	80.6
28	60.1	81.9	78.9	68.9	83.1	92.9	71.0	65.0	88.5	82.3	89.3	80.4
29	57.9	93.5	68.3	72.0	80.6	55.8	91.0	79.0	77.4	81.3	70.8	90.9
30	56.4	92.3	81.5	47.4	69.3	58.9	69.1	78.8	80.8	89.1	65.4	80.9
31	45.5		84.5		62.5		67.8	85.0				
	80.5	74.2	76.2	66.6	26.3	73.1	78.7	74.5	29.7	84.0	78.7	84.7

HUMIDITE en % GOURDON année: 1991

JOUR	JANU.	FÉVRI.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOÛT	SEPT.	OCTO.	NOV.	DEC.
1	87.5	81.1	83.4	85.6	72.0	72.8	56.3	66.0	64.0	69.3		
2	91.5	68.9	74.5	79.1	69.8	72.0	47.8	77.8	76.6	69.3		
3	64.8	69.9	63.1	52.9	58.1	63.4	87.3	89.9	75.1	79.9		
4	80.1	66.1	74.9	55.6	95.3	80.1	73.6	84.1	61.5	79.9		
5	88.5	64.5	73.1	50.6	75.4	69.9	64.9	72.6	54.1	87.8		
6	92.6	68.6	58.5	61.4	83.9	64.3	63.3	83.4	84.5	88.8		
7	88.6	72.6	68.4	62.6	78.5	80.9	61.8	87.6	86.9	86.9		
8	74.5	84.0	26.3	65.8	78.0	73.3	49.3	81.4	76.1	92.1		
9	68.6	84.5	78.0	68.6	76.6	63.3	66.8	82.1	70.8	86.1		
10	81.8	55.3	84.1	51.3	64.8	75.1	58.6	75.4	67.6	82.6		
11	84.4	64.8	72.0	50.9	43.1	85.3	59.3	68.0	74.6	96.0		
12	89.9	71.6	81.4	55.6	32.5	76.9	82.3	58.8	75.0	98.0		
13	84.8	77.0	29.0	44.4	36.1	81.3	70.0	7.8	68.8	93.9		
14	70.9	89.0	74.1	41.6	34.4	81.9	72.5	65.5	61.3	89.9		
15	71.9	72.5	56.4	41.4	49.8	91.0	62.3	79.9	47.3	89.6		
16	70.1	92.9	90.4	46.9	62.0	81.0	66.3	73.8	47.5	81.6		
17	62.1	92.3	88.8	52.3	64.8	62.5	65.9	74.9	57.1	88.8		
18	70.5	94.4	98.9	41.3	72.9	68.3	59.3	68.9	57.0	90.5		
19	72.9	95.8	96.8	43.5	83.4	69.3	43.3	76.1	64.4	92.8		
20	83.3	77.3	91.0	62.4	82.4	67.3	55.5	78.9	62.4	83.4		
21	82.9	65.9	76.1	48.1	77.3	77.8	76.3	65.8	66.8	69.5		
22	96.0	86.5	87.5	53.4	28.4	71.9	76.5	59.8	72.6	82.8		
23	89.3	78.0	73.3	47.3	84.9	79.8	81.3	64.8	64.3	45.1		
24	88.1	72.9	62.5	47.4	24.9	60.8	88.5	67.9	68.6	86.6		
25	83.4	73.0	58.3	51.8	55.4	58.0	72.6	66.4	67.6	97.8		
26	97.4	83.8	48.4	48.1	35.0	80.5	63.4	86.4	86.1	94.6		
27	88.1	89.1	43.3	51.6	62.9	79.1	64.9	88.8	64.6	97.9		
28	69.5	95.6	71.6	52.1	86.0	27.0	57.0	75.4	62.4	85.4		
29	81.4	70.8	58.9	75.5	76.9	85.0	67.3	63.6	73.6	73.1		
30	87.1	77.5	56.6	59.5	64.5	83.3	67.8	67.4	74.4	77.8		
31	81.9	91.9			68.5		82.8	67.4		74.8		
	83.3	78.6	24.5	54.5	62.0	73.5	67.5	71.8	67.5	84.4		

HUMIDITE en % GOURDON année: 1992

JOUR	JANU.	FÉVRI.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCTO.	NOV.	DEC.
1	.8	3.5	2.4	5.7	11.2	18.2	14.0	18.4	18.5	13.7	14.3	2.2
2	3.0	.9	8.5	12.4	9.5	17.8	18.2	17.9	16.4	13.1	12.9	.2
3	6.1	4.7	5.9	13.2	7.0	13.1	14.5	20.0	16.2	11.0	12.5	2.2
4	8.1	5.4	5.7	13.5	6.4	13.4	14.3	24.4	15.4	12.5	10.0	.4
5	1.6	3.1	4.8	12.6	8.0	14.6	17.7	23.7	16.2	16.7	8.2	2.4
6	3.2	6.9	8.7	12.2	12.8	1.1	18.1	21.9	18.2	18.3	9.2	3.9
7	2.9	8.4	13.0	14.9	16.1	19.1	20.1	19.9	21.2	14.7	8.0	5.7
8	- .6	6.5	13.0	14.2	13.1	26.5	21.0	17.7	18.4	18.3	5.1	6.5
9	3.2	2.4	13.1	14.4	14.8	17.8	20.2	17.6	18.1	15.2	7.2	8.1
10	1.4	5.3	14.4	12.2	18.2	14.7	15.0	15.7	19.2	13.8	2.1	8.9
11	1.2	1.2	12.5	15.9	9.0	12.1	15.2	16.3	12.5	15.7	2.6	8.1
12	2.6	- .7	12.3	14.3	8.4	19.4	17.8	17.4	16.6	13.1	.4	5.2
13	- .3	3.2	8.4	12.5	9.5	18.6	18.3	18.6	14.7	10.5	6.7	5.1
14	2.3	2.5	2.7	16.3	10.2	21.4	19.4	21.2	14.4	12.2	4.2	4.2
15	3.9	1.5	6.4	14.1	12.0	23.2	17.3	23.4	15.4	14.7	2.6	8.7
16	4.7	1.9	6.7	12.4	10.1	21.5	17.3	22.6	17.2	14.5	3.6	8.9
17	6.2	2.2	4.4	11.6	10.9	15.8	17.1	22.5	16.5	19.5	5.7	6.1
18	5.4	1.5	2.9	18.9	15.4	12.8	12.5	12.4	15.3	14.0	9.7	5.9
19	6.6	- .9	6.2	8.5	18.5	13.7	13.4	12.3	16.3	11.3	9.4	- .3
20	8.2	.7	10.6	6.6	18.6	13.3	15.7	18.3	20.9	8.2	9.5	- .3
21	1.5	0.0	12.2	10.0	12.7	16.3	17.6	17.4	16.8	7.6	9.7	3.2
22	5.5	0.0	11.2	11.0	11.7	14.6	16.5	16.0	14.3	4.6	9.0	4.1
23	4.5	2.2	10.3	12.0	14.3	13.7	15.3	17.0	14.6	4.9	9.9	4.6
24	1.0	3.7	14.2	9.5	12.3	16.1	13.7	16.7	12.3	5.9	10.9	6.0
25	2.1	1.1	18.3	8.2	10.0	13.1	13.2	12.3	13.2	7.2	3.7	.1
26	3.4	2.6	12.9	5.7	10.8	14.7	13.6	18.5	13.7	3.8	1.8	1.4
27	5.9	5.7	12.4	5.6	18.0	14.8	18.1	19.7	10.3	2.5	4.4	4.9
28	5.8	2.7	11.2	6.7	11.0	11.7	19.7	19.6	11.4	8.1	5.4	7.0
29	5.0		11.5	7.2	18.3	11.9	22.3	18.0	10.2	11.9	4.4	7.5
30	4.8		10.0	9.9	19.2	12.1	24.1	19.3	13.7	11.5	5.3	9.8
31	2.7		8.6		16.0		24.5	12.2		12.8		9.6
	3.8	3.1	10.0	11.6	12.2	15.6	17.3	18.9	15.9	11.7	2.1	5.1

TEMPERATURE en °C BRIVE année: 1981

JOUR	JANU.	FÉVRI.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCTO.	NOV.	DEC.
1	6.5	5.6	10.7	7.3	8.9	18.3	20.3	19.6	13.3			
2	7.4	6.2	7.6	8.7	10.6	18.6	25.6	18.2	13.1			
3	10.6	9.7	10.3	8.6	11.2	20.6	26.3	16.9	17.6			
4	9.7	11.2	6.9	11.0	8.5	18.6	18.0	17.5	22.9			
5	9.5	9.2	5.5	13.4	9.5	19.2	22.0	18.9	22.8			
6	10.3	10.0	3.6	11.0	2.1	20.7	25.9	18.1	15.4			
7	6.7	8.5	.8	11.9	7.2	18.4	26.6	18.6	15.3			
8	8.4	6.6	4.4	10.5	6.2	20.4	28.2	18.1	16.1			
9	8.1	5.0	5.5	10.2	8.4	22.9	22.6	17.7	17.5			
10	10.1	8.0	5.9	8.2	8.4	20.9	22.9	21.2	19.5			
11	8.7	8.1	6.5	8.7	13.1	17.1	27.9	20.7	20.2			
12	5.9	9.0	2.4	8.1	12.9	16.1	22.1	22.7	19.7			
13	6.8	9.4	5.2	2.4	16.0	14.0	24.0	20.2	20.1			
14	7.8	6.2	7.6	5.9	12.4	13.6	20.2	18.3	21.2			
15	11.3	5.7	7.4	7.4	16.8	16.3	20.6	19.3	23.2			
16	11.7	4.2	2.9	8.9	16.8	18.4	20.5	20.2	22.8			
17	11.7	6.4	6.5	8.9	17.5	17.0	22.7	18.5	21.0			
18	10.8	8.2	5.2	12.8	14.3	17.5	22.4	17.8	21.7			
19	11.4	7.1	4.1	13.4	12.1	14.3	22.9	18.6	22.1			
20	2.4	5.2	2.3	13.1	14.8	18.2	24.4	17.0	22.3			
21	7.2	5.2	5.5	10.1	15.3	19.6	21.1	12.9	21.1			
22	6.4	2.9	5.1	11.9	14.0	21.2	19.2	14.9	18.0			
23	2.5	3.6	5.4	13.4	12.2	16.9	17.8	16.6	11.4			
24	3.2	.3	5.4	10.0	12.4	18.0	19.5	15.5	16.6			
25	2.2	3.6	6.2	8.0	15.4	19.9	19.3	16.7	18.2			
26	4.7	3.5	8.9	10.9	19.9	15.9	12.2	14.5	14.3			
27	4.7	7.1	8.2	12.4	14.5	14.9	19.3	15.2	15.6			
28	2.6	9.5	8.9	13.2	16.3	15.8	19.6	15.2	16.6			
29	2.2		8.0	11.3	17.9	17.6	16.9	12.0	12.3			
30	4.6		4.0	10.9	20.9	16.3	18.1	16.6	14.3			
31	6.1		2.6	19.9		17.3	14.3					
	2.4	6.7	6.3	10.3	13.8	17.3	21.6	17.7	18.4			

TEMPERATURE en °C BRIVE année: 1982

JOUR	JANU.	FÉVR.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCTO.	NOV.	DEC.
1	0.0	0.1	.2	1.5	0.0	11.2	11.6	1.5	7.2	0.0	0.6	5.2
2	0.0	2.6	.8	0.8	0.1	4.6	6.1	2.4	8.2	0.0	0.8	1.3
3	0.0	0.0	.9	4.4	.6	0.0	4.5	12.4	0.2	0.0	0.3	1.6
4	0.0	0.0	0.0	10.6	2.5	9.2	2.2	11.9	0.4	2.6	4.3	0.0
5	.9	.2	0.0	0.9	.8	12.5	5.4	9.9	10.3	6.6	.2	1.3
6	0.0	.8	0.0	4.3	2.0	8.4	6.5	3.5	9.5	7.4	9.2	0.0
7	2.0	1.3	7.8	5.5	6.1	10.8	11.5	2.4	4.1	4.9	5.7	0.0
8	2.5	0.3	1.0	8.9	2.1	10.9	2.8	.7	0.0	6.0	5.6	0.0
9	3.4	.9	5.2	2.5	5.0	.1	0.0	4.4	0.0	2.2	7.9	2.9
10	0.0	4.4	2.3	3.3	2.9	10.6	0.0	7.7	7.4	1.0	7.9	0.0
11	1.2	2.2	2.0	3.7	0.0	12.8	0.0	7.0	4.2	7.4	6.3	0.0
12	0.0	8.7	2.8	7.2	0.0	12.9	1.8	10.2	0.0	.2	0.0	0.0
13	3.4	0.5	3.8	10.0	0.0	10.1	3.7	11.1	3.1	1.0	0.0	0.0
14	0.0	0.6	2.8	6.8	8.2	12.9	8.5	11.6	7.5	0.0	4.4	.3
15	0.0	2.7	2.6	8.4	10.1	12.4	2.3	11.4	10.8	.0	8.0	0.0
16	0.0	2.5	0.0	5.5	2.3	9.2	.9	10.5	2.2	8.4	5.4	0.0
17	.7	2.4	6.3	11.4	11.4	10.8	2.0	10.8	11.0	7.1	4.7	0.0
18	2.8	8.4	3.8	11.2	11.9	8.2	7.5	12.1	0.0	.1	4.8	.4
19	0.0	1.0	9.5	11.2	8.2	9.9	7.1	11.4	1.1	.2	3.5	1.7
20	2.4	5.5	9.1	6.6	5.0	3.4	2.6	7.5	8.1	.4	2.0	.6
21	0.0	2.0	9.1	7.2	0.0	10.5	8.1	11.1	.1	7.3	6.8	0.0
22	0.0	0.0	5.4	10.2	5.8	12.3	1.9	11.9	0.0	2.9	7.4	0.0
23	7.6	0.0	0.0	0.1	2.0	0.1	8.8	9.0	8.0	2.6	7.1	0.0
24	7.5	.9	2.7	12.0	3.9	5.7	6.7	10.4	7.7	3.6	.3	0.0
25	0.0	.0	2.8	.4	1.7	0.0	6.2	12.0	1.9	.4	6.3	2.5
26	7.5	8.4	9.0	3.8	1.9	2.8	6.1	11.9	.5	0.0	2.3	3.8
27	7.2	0.0	8.4	4.3	3.9	0.0	8.5	11.5	1.7	.3	3.5	0.0
28	0.3	.1	0.0	9.2	0.0	.5	12.8	12.0	.2	1.7	0.0	0.0
29	3.0	1.7	8.5	7.2	4.9	12.6	11.5	8.1	3.5	.5	3.2	
30	2.8	9.7	.1	12.6	10.5	11.4	9.8	9.7	0.0	0.0	0.0	
31	0.1	1.8		3.9			9.7	0.0		0.0		
	81.3	113.9	129.5	205.7	141.1	234.1	178.9	271.5	153.0	78.3	146.8	24.8

INSOLATION en h BRIVE année: 1981

JOUR	JANU.	FÉVR.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCTO.	NOV.	DEC.
1	1.9	0.5	2.7	0.0	0.0	6.6	0.0	8.2	9.5			
2	.5	2.9	3.7	3.5	4.7	10.2	8.2	1.6	.6			
3	3.2	2.3	8.9	10.5	11.2	11.5	1.3	0.0	11.1			
4	.4	3.1	4.9	8.9	0.0	2.1	12.3	.2	10.9			
5	0.0	2.6	7.9	0.7	2.6	12.0	11.7	6.9	9.9			
6	0.0	5.6	9.3	1.6	5.0	11.3	12.2	5.1	3.1			
7	0.0	6.0	.7	11.0	9.2	5.8	12.8	4.9	.9			
8	1.4	2.9	3.6	3.7	4.9	12.3	12.0	4.5	5.2			
9	1.3	4.9	0.0	0.7	5.7	11.5	3.2	8.5	11.2			
10	.2	2.3	.7	11.5	10.9	5.7	13.0	7.8	8.0			
11	.8	3.8	5.0	11.8	13.5	.5	11.8	12.5	6.6			
12	4.4	6.1	1.1	11.5	12.4	6.5	9.8	11.3	10.2			
13	2.1	.1	3.6	11.9	12.7	7.8	11.6	4.7	10.2			
14	6.5	2.5	10.1	11.5	11.4	2.1	3.6	11.8	10.3			
15	5.4	5.7	2.7	10.4	10.2	4.9	7.3	2.6	10.2			
16	6.6	0.0	0.0	5.7	2.7	10.0	2.8	3.6	10.0			
17	5.5	0.0	2.0	10.1	10.8	10.4	2.5	4.5	7.4			
18	2.0	0.0	3.6	10.8	.8	4.9	11.6	10.2	9.7			
19	5.3	0.0	0.0	11.6	8.4	11.8	11.5	4.2	7.4			
20	0.0	5.7	0.0	11.8	.9	8.6	7.5	.6	9.5			
21	.5	5.0	0.0	11.7	10.0	5.0	6.3	9.5	7.7			
22	0.0	0.0	.2	11.8	1.9	9.2	3.5	11.2	4.1			
23	2.1	5.4	2.1	11.6	.2	6.7	5.8	9.7	1.4			
24	2.7	3.6	5.1	11.2	6.6	11.7	8.2	11.2	5.2			
25	3.6	1.7	10.0	2.3	12.7	1.5	9.6	12.2	.5			
26	0.0	0.0	9.4	10.8	10.5	6.7	11.2	.9	1.2			
27	0.0	0.0	3.2	12.2	0.0	6.0	8.6	4.2	8.2			
28	3.4	.3	.5	10.9	3.3	1.1	8.3	8.7	8.6			
29	0.0	0.0	10.5	9.3	8.0	10.2	0.0	11.9	4.4			
30	0.0	0.0	2.7	8.9	2.3	12.8	4.4	9.8	8.5			
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	4.2					
	20.1	96.0	119.1	280.8	206.5	222.4	248.9	202.3	211.6			

INSOLATION en h BRIVE année: 1982

PLUIE A COUDONNET ET A NESPOULS; CYCLE 1982

Pluie de 0h à 0h

COUDONNET

ANNEE : 1981

P mn

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.1	0.1	.	3.9	2.9	2.4	0.9	3.6
2	0.4	.	6.2	.	12.9	.	11.3	10.3	.	8.3	0.2	0.1
3	2.1	2.0	18.0	2.4	2.6	15.5	11.3	.	0.21	0.1	0.2	0.1
4	11.9	14.7	.	.	11.7	.	.	.	0.21	0.1	0.4	1.9
5	0.1	0.7	0.2	.	2.9	.	0.2	.	.	1.4	0.4	0.1
6	4.3	0.4	3.8	2.8	0.2	0.3	.	8.9	.	.	0.1	2.1
7	0.4	.	0.1	6.4	0.6	0.1	.	0.6	.	.	.	9.4
8	0.1	.	1.2	0.1	2.7	.	1.3	10.8	9.2	0.1	0.1	10.4
9	.	0.1	.	.	11.4	0.1	0.8	0.9	17.7	2.3	.	4.1
10	6.4	1.1	.	1.6	6.3	.	65.4	.	0.2	0.8	.	15.9
11	1.3	0.1	0.1	7.9	11.5	.	0.6	0.1	0.31	8.3	.	17.2
12	0.1	0.2	13.4	0.2	38.4	.	0.1	.	7.4	12.8	0.5	26.3
13	6.7	.	14.9	.	5.4	.	0.3	.	0.1	.	0.6	12.0
14	0.8	.	1.0	.	0.2	.	0.4	.	.	4.9	0.1	17.3
15	14.0	.	3.4	0.4	0.6	.	0.1	.	.	0.8	0.2	7.6
16	4.0	.	3.0	13.7	5.6	.	0.1	.	.	0.2	.	6.0
17	15.5	.	2.5	0.1	5.2	.	0.7	.	0.2	.	0.1	2.3
18	1.9	.	0.2	.	.	.	2.1	.	4.2	.	.	13.9
19	3.5	0.1	.	2.7	.	.	.
20	5.9	.	.	0.1	.	.	1.7	.	.	3.7	.	0.3
21	0.3	.	.	.	3.8	.	0.1	3.7	3.4	3.6	.	6.9
22	0.6	2.1	5.6	.	0.1	.	0.1	.	28.5	0.5	0.1	9.9
23	0.2	1.9	18.2	.	2.0	.	9.7	.	0.2	0.2	0.1	6.9
24	.	7.1	2.2	.	5.8	.	11.2	0.1	0.1	0.1	6.6	7.1
25	0.2	.	.	3.6	28.7	10.6	0.2	.	3.2	14.5	0.2	.
26	0.1	0.1	1.1	2.5	14.0	0.6	.	.	11.6	0.2	.	.
27	.	7.2	.	1.4	5.9	15.2	.	.	13.8	2.5	7.8	3.8
28	0.1	21.2	4.2	.	3.6	10.2	.	.	5.0	0.1	4.8	7.4
29	.	21.0	.	3.1	1.5	.	.	.	0.2	.	0.2	1.2
30	.	5.6	4.7	4.9	.	8.5
31	.	0.1	.	4.1	.	.	.	12.5	.	3.1	.	2.3

CHARGE TRANSFER

JHEP03(2019)022

140

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
111	5.5	0.11	0.9	18.3	•	0.31	•	0.11	0.11	•	•	•	•
121	0.2	•	7.6	•	•	0.7	•	5.2	•	•	•	•	•
131	•	0.3	•	•	•	•	3.9	•	0.11	•	•	•	•
141	2.0	•	5.1	•	25.4	4.6	0.41	•	10.1	•	•	•	•
151	2.1	•	•	•	•	1.9	0.11	•	4.2	8.3	•	•	•
161	23.9	•	•	0.3	5.2	•	•	•	4.2	•	0.1	•	•
171	12.9	•	•	•	•	0.5	0.4	•	•	•	0.1	•	•
181	0.2	•	2.2	•	5.5	0.11	•	•	•	0.1	•	•	•
191	1.2	0.2	1.5	0.1	5.6	•	•	•	•	•	•	•	•
1101	0.1	•	4.7	•	•	0.2	•	•	•	•	•	•	•
1111	•	•	4.2	•	•	3.7	•	0.1	•	•	•	•	•
1121	0.1	•	2.6	•	•	0.3	6.0	•	•	•	•	•	•
1131	0.1	3.4	1.2	•	•	12.6	0.11	•	•	•	•	•	•
1141	•	1.3	0.1	•	•	7.2	1.9	•	•	•	•	•	•
1151	1.9	3.0	•	•	•	2.8	•	1.4	•	•	•	•	•
1161	2.4	23.7	9.11	•	0.3	0.4	•	0.1	0.3	•	•	•	•
1171	•	0.8	16.7	•	•	0.11	•	0.3	•	•	•	•	•
1181	•	0.6	2.11	•	5.6	•	•	0.2	•	•	•	•	•
1191	•	0.11	5.4	•	0.2	•	•	•	0.3	•	•	•	•
1201	0.3	•	2.3	•	0.2	•	•	0.3	1.6	•	•	•	•
1211	0.7	•	1.11	•	•	0.4	5.1	0.3	•	•	•	•	•
1221	3.8	3.2	•	•	•	0.6	1.6	0.1	4.0	•	•	•	•
1231	1.6	0.5	•	•	7.9	5.8	2.5	0.11	•	•	•	•	•
1241	1.6	0.1	•	•	•	•	•	0.9	•	•	•	•	•
1251	•	0.2	0.11	•	•	2.2	•	•	•	•	•	•	•
1261	6.3	0.11	•	•	•	5.4	•	6.2	26.3	•	•	•	•
1271	6.8	4.4	•	•	4.9	1.9	•	•	0.1	•	•	•	•
1281	•	2.6	0.3	•	2.6	•	•	0.11	•	2.6	•	•	•
1291	2.9	•	•	•	•	0.1	22.8	0.1	38.7	•	•	•	•
1301	1.4	•	2.1	•	0.3	•	2.5	•	2.6	•	•	•	•
1311	•	•	1.6	•	2.2	•	1.5	0.11	•	•	•	•	•

NESPOULS

ANNEE: 1981

P mm

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1				0.1			7.9	0.8	2.8	0.1	3.6	
2				9.1	0.2	9.8	6.0	0.2	12.3	0.2	0.1	
3			3.0	3.7	15.0	10.6	0.1	0.1	14.5	0.3	0.1	
4				13.8					1.4	0.4	1.8	
5				4.5	0.1	0.2				0.5	0.1	
6			3.0	0.7	0.2		3.5			0.2	2.0	
7			6.7	1.0	0.1						9.2	
8				3.1		1.5	21.5	11.4	0.2		13.4	
9				11.7	0.2		0.1	15.8	1.0	0.1	5.9	
10			0.3	6.6	0.1	65.7	0.2	0.1	1.2	0.1	13.9	
11			12.0	11.8		1.5		0.3	11.0		23.8	
12			0.2	38.6				6.4	12.7	0.3	26.8	
13				7.0		0.8		0.9		1.3	12.6	
14				0.1		0.3		0.2	4.2	0.2	11.4	
15			1.4	0.7				0.1	0.5	0.1	8.9	
16			13.3	9.2					0.1		6.8	
17			0.1	3.0		0.6		0.3		0.1	3.7	
18				0.1		1.4	0.1	4.2	0.3		12.0	
19				0.3		0.2		3.2	0.1			
20				2.7		2.8	2.7		4.7		1.9	
21				0.2		0.1	1.1	3.3	1.8	0.1	7.5	
22				6.2		10.4		0.2	0.3	0.2	9.1	
23				1.9		5.1	0.2	0.1	0.1	7.3	6.8	
24			2.2	23.2	7.6			2.7	17.2	0.2	0.2	
25			1.5	11.0	0.3			10.2	0.2	0.1		
26			0.1	3.2	18.1			8.2	2.0	8.9	4.4	
27				3.9	9.9			4.2		4.3	7.4	
28				0.1	2.2	0.2		0.1	0.2		1.4	
29				0.1	0.1			0.1	0.1	6.6	4.4	9.3
30					5.4		16.6		2.2		2.0	
31												

44.3 184.6 52.0 111.0 60.2 102.8 97.6 29.5 214.6

NESPOULS

ANNEE: 1982

P mm

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	4.5	0.1	0.7	17.9	0.1	6.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
2	0.2	0.1	7.2	0.1		2.3		0.2		0.1		
3		0.1			0.1	0.1	3.9	10.9		1.1		
4	1.7		4.7		16.5	3.3	0.2	0.1		5.9		
5	3.6		0.4		2.3	0.1	0.1	0.2		17.1		
6	32.1		0.1	1.0	5.1	0.2		12.3	13.2	21.2		
7	9.3		0.2	0.1	0.2	0.2		3.7		0.7		
8	0.2		2.9	0.2	3.7	0.1		0.1		6.4		
9	1.3	0.1	1.4	0.1	4.0					1.5		
10			5.9									
11	0.2		1.2	0.1		4.7	0.4			10.9		
12	0.1		3.4			0.9	0.2			11.4		
13	0.1	5.4	1.1			6.6	4.3			26.0		
14	0.1	1.1	0.1			4.7	3.6			9.6		
15		4.4				2.9		1.9		0.3		
16	0.1	23.3	9.2			0.5				1.5		
17		0.9	10.2		0.7	0.1	0.8	0.3		4.0		
18		0.4	2.5		8.3							
19		4.6		0.1					7.6			
20	0.2		3.6		0.1	0.1	1.2	4.8	0.3			
21	0.8					0.8	3.7	0.1	0.3			
22	3.7	3.0	0.1		0.1	2.1				3.9		
23	1.7	1.0			8.6	3.9	2.9	0.1	0.1			
24	1.4		0.1		0.1	0.1				1.0		
25		0.2	0.1			3.4	0.1			12.2		
26	6.6	0.1			0.1	3.1		7.0	19.2			
27	5.2	4.0	0.3		3.6	2.1			0.2			
28		2.6			1.9	0.1		0.1				
29	3.3		0.1			13.4	0.1	29.2				
30	1.8		2.4		0.2	1.8		2.6				
31		1.4		7.3	1.7	0.2						

78.2 46.7 63.9 19.5 63.0 48.5 38.3 42.2 89.8 117.8

PLUIE A COUDONNET; ANNEES 1970 à 1980

Hauteurs de pluie de 8h à 8h

COUDONNET			ANNEE: 1970												P mm									
!	!	J	!	F	!	M	!	A	!	M	!	J	!	J	!	A	!	S	!	O	!	N	!	D
1	1	.	10.1	.	0.7	3.0	.	2.2	.	0.2	0.4	.	0.3	.	.	.	0.2	0.4	.	0.1	0.1	0.1	0.1	
2	2	.	8.4	2.4	0.6	2.4	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	2.4	.	0.1	0.1	0.1	0.1	
3	3	4.2	4.6	1.6	0.7	.	5.5	.	.	1.7	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
4	4	18.5	3.9	9.3	18.3	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
5	5	.	3.2	.	3.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
6	6	0.3	.	0.9	2.5	0.6	12.6	.	0.1	0.1	22.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
7	7	.	1.4	6.6	.	9.8	3.5	2.7	.	1.9	7.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
8	8	5.5	1.6	0.5	1.0	1.8	.	1.2	4.9	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
9	9	0.9	8.0	0.4	4.4	5.5	.	0.2	.	3.7	16.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
10	10	1.0	10.0	0.6	1.7	.	0.2	.	3.7	16.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
11	11	13.0	5.8	.	3.3	.	.	.	0.1	0.1	1.1	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
12	12	0.2	3.2	2.6	10.4	.	0.6	.	3.8	.	2.8	10.0	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
13	13	.	6.2	.	14.4	.	1.5	.	0.8	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
14	14	0.4	3.5	.	.	9.6	2.3	2.2	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
15	15	6.2	2.0	.	.	9.1	16.0	.	2.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
16	16	2.9	3.3	.	.	2.0	3.4	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
17	17	0.1	10.5	1.0	0.1	0.1	0.2	2.5	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
18	18	1.1	0.6	6.9	10.6	.	19.7	.	6.5	.	14.2	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
19	19	.	0.6	0.6	3.0	.	1.2	.	0.1	0.1	6.6	1.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
20	20	0.3	8.4	3.5	2.4	.	3.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
21	21	2.0	1.3	1.4	0.2	0.1	.	.	1.1	.	5.8	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
22	22	0.3	4.4	2.7	.	.	.	0.2	7.4	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
23	23	1.1	5.6	0.8	1.2	.	.	.	8.7	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
24	24	.	0.8	2.3	2.0	.	.	0.3	.	0.2	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
25	25	7.4	8.8	.	.	0.5	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
26	26	8.0	.	0.8	0.8	.	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
27	27	.	.	.	5.1	.	20.0	.	0.1	0.1	0.2	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
28	28	0.2	.	.	4.7	.	4.7	1.0	10.0	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
29	29	19.1	.	1.0	5.0	.	0.7	.	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
30	30	10.2	.	2.8	1.9	0.2	1.4	.	7.6	0.4	5.5	2.6	.	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
31	31	.	5.8	.	.	0.7	.	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
			102.9	116.2	51.0	77.2	41.2	93.3	14.2	60.5	21.0	59.0	67.2	29.8										

COUDONNET			ANNEE: 1971												P mm									
!	!	J	!	F	!	M	!	A	!	M	!	J	!	J	!	A	!	S	!	O	!	N	!	D
1	1	5.7	.	.	.	10.4	.	.	.	15.3	0.2
2	2	0.6	0.2	0.1	0.2	8.6
3	3	3.1	.	.	.	5.0	.	.	.	4.2	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	4	5.0	4.2	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
5	5	0.1	.	.	2.7	.	10.2	.	21.4	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
6	6	3.6	.	.	0.8	.	0.9	.	21.4	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
7	7	.	.	0.2	.	1.1	.	0.6	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
8	8	.	0.2	.	7.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
9	9	.	0.2	.	0.4	2.2	4.0	.	.	7.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
10	10	3.9	.	.	7.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
11	11	6.6	.	1.6	7.8	0.6	0.6	0.3	
12	12	7.1	2.1	.	0.2	2.7	
13	13	2.4	0.2	5.5	.	.	16.4	1.6	.	20.9	
14	14	4.3	.	6.2	.	.	6.9	.	1.8	0.1	0.4	
15	15	.	13.8	5.8	.	.	8.8	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
16	16	7.6	4.2	13.9	13.0	.	0	.	0.1	0.1	0.1	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	
17	17	0.1	12.7	3.2	.	18.2	.	2.2	.	4.8	2.3	.	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
18	18	15.0	11.3	7.7	.	7.8	.	12.1	13.3	.	14.0	
19	19	12.5	5.1	5.9	.	1.4	1.0	0.8	3.0	8.3	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
20	20	3.8	3.8	3.0	.	12.5	.	0	13.0	0.1	1.2	
21	21	14.2	2.7	4.5	.	5.4	.	10.2	.	21.2	
22	22	11.8	.	0.8	9.1	8.6	.	4.6	0.6	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
23	23	13.4	0.1	19.2	4.6	5.4	28.0	.	3.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
24	24	2.1	.	5.9	14.5	.	1	1.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
25	25	9.4	0.2	5.6	.	1.3	0.2	14.9	9.4	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
26	26	17.3	.	4.8	0.5	6.9																		

COUDONNET

ANNEE: 1972

P min

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	I	O	N	D
1	.	6.5	0.2	.	.	.	0.7	0.4	.	0.6	1.3	.	1
2	{11.2}	3.3	4.0	.	.	0.7	.	0.2	5.4
3	5.8	4.1	5.2	2.2
4	.	0.7	21.6	9.0	0.3	4.1	0.8	{ . }	9.6	.	.	.	3.1
5	0.4	.	9.6	3.5	0.4	.	2.9	0.3	0.4
6	.	7.9	.	2.9	0.3	6.0	1
7	.	13.9	5.1	0.8	.	5.8	.	.	14.4	.	.	.	9.1
8	.	0.3	.	0.2	1.1	.	.	9.0	0.8	.	0.5	13.8	1
9	6.2	1.0	2.1	1.2	.	0.6	.	47.9	9.3	0.3	0.3	0.3	1
10	.	9.2	.	9.0	3.0	0.2	.	18.7	.	16.2	.	.	1
11	3.5	20.6	.	16.1	3.2	.	.	1.1	.	1.2	3.6	.	0.2
12	0.2	5.8	.	0.2	5.0	.	1	20.5	.	1.8	0.9	0.3	1
13	5.4	3.1	.	3.2	0.9	.	1	.	3.4	4.6	6.4	.	1
14	0.1	.	.	5.4	5.8	0.8	.	6.4	2.4	.	7.8	.	1
15	0.5	0.2	0.2	.	2.4	5.3	.	1.6	0.2	.	0.4	.	1
16	1.8	0.2	4.4	0.2	.	1
17	1.5	16.0	.	.	1.0	.	1	1.2	.	0.1	4.7	.	1
18	.	.	.	2.4	14.8	.	1	0.4	.	0.2	.	.	1
19	.	6.2	.	.	0.4	0.2	5.5	.	.	.	15.7	.	1
20	.	8.4	1.2	.	0.3	3.2	.	1
21	.	0.9	.	.	0.9	10.5	0.3	1
22	0.2	.	0.1	1
23	0.2	0.6	.	.	29.4	.	1	1
24	3.3	.	1	.	.	0.2	0.3	.	1
25	4.8	.	6.4	0.4	.	1.6	0.2	0.2	1
26	15.7	0.3	5.8	.	0.2	.	1	0.2	.	1.7	.	.	1
27	5.0	.	0.9	0.3	0.6	.	1	17.9	.	1.6	0.2	16.1	1
28	1	.	2.0	.	0.8	.	0.2	1
29	.	0.3	.	.	.	0.8	.	7.4	.	.	1.1	0.2	1
30	.	0.3	.	.	.	1.8	.	9.8	.	.	.	2.1	1
31	.	.	7.6	.	.	.	1	20.7	.	8.0	.	0.2	1

COUDON.NET

ANNEE: 1973

P mm

	J	F	M	I	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D
1	.	0.3	.	1	.	0.3	45.2	.	1	1.0	.	.	.	9.0
2	.	0.2	.	2.8	4.2	()	.	.	2.8
3	2.6	.	.	0.5	
4	0.2	13.3	0.2	.	.	.	2.2	
5	7.4	1.6	
6	.	.	0.2	.	.	4.6	11.5	1.8	.	.	.	19.0	2.7	
7	0.3	0.4	.	.	.	8.3	.	.	0.2	.	1.9	0.2	3.2	
8	0.4	.	4.0	.	.	0.1	.	0.2	
9	.	6.0	0.1	.	.	13.2	
10	0.6	1.2	.	.	.	0.6	0.1	0.1	.	
11	.	.	15.2	.	1.3	.	0.2	.	.	0.8	8.0	0.2	0.8	
13	6.6	1.7	.	.	.	3.1	6.0	.	.	.	34.8	.	2.4	
14	6.8	11.6	15.4	.	.	10.0	.	.	
15	4.3	1.6	12.4	.	.	2.8	4.3	3.2	
16	4.5	.	.	0.2	0.3	1.1	
17	4.9	4.4	.	(4.2)	.	3.5	20.4	.	3.6	
18	17.7	.	0.6	.	12.4	.	0.2	.	
19	.	1.6	2.7	0.1	.	.	0.2	.	.	
20	6.4	.	.	2.2	18.4	2.3	1.6	.	.	.	0.4	0.1	4.4	
21	6.2	4.0	.	1.9	.	2.2	4.1	.	.	2.6	1.8	0.4	1.3	
22	(.)	.	8.7	0.6	2.8	0.2	.	.	0.6	.	.	.	14.2	
23	2.1	6.3	.	0.6	3.6	0.2	.	14.2	
24	.	18.0	12.8	6.3	.	.	.	29.2	.	.	.	0.3	14.8	
25	.	13.4	2.6	5.2	4.9	.	0.2	0.6	.	
26	1.4	3.4	.	.	.	
27	25.7	0.6	.	3.2	7.4	1.7	0.4	.	()	
28	.	.	13.2	0.8	.	.	.	1.3	0.8	.	1.8	0.3	.	
29	1.4	.	.	0.3	
30	5.4	.	.	.	0.7	.	.	4.0	.	.	26.2	0.1	.	
31	0.5	.	.	.	52.8	.	0.2	
	71.4	82.1	15.6	40.8	123.2	79.1	104.8	12.1	29.2	81.0	54.1	94.0		

COUDONNET

ANNEE: 1974

P mm

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.3	4.4	2.7	0.2	33.0	7.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
2	1.5	8.7	2.3	0.4	3.0	2.6	3.3	1.5	0.2	0.1	0.1	0.1
3	0.1	20.0	20.0	12.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	10.2	6.3	11.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	4.8	3.5	1.9	0.4	1.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0.1	12.3	1.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8	13.8	2.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
9	7.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
11	3.5	1.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
12	2.2	5.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
13	0.7	4.2	3.4	0.6	37.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
14	1.4	1.3	0.3	1.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
15	11.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
16	0.4	14.1	1.4	11.0	1.8	15.1	3.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
17	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	2.9	12.0	5.0	5.0	2.9	1.5	1.5
18	0.5	0.8	0.1	0.1	0.1	0.8	5.9	5.6	6.0	0.1	0.1	0.1
19	13.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	7.2	0.1	13.0	0.1	0.1	0.1
20	0.2	14.7	0.1	0.1	0.1	0.2	37.4	0.1	2.5	7.8	0.2	0.2
21	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	4.0	0.1	2.1	0.5	0.1	0.1	0.1
22	2.0	2.5	0.1	0.1	12.6	0.1	0.2	3.9	0.1	0.6	0.1	0.1
23	0.1	0.1	0.1	0.1	2.6	3.1	0.1	1.1	3.6	10.6	0.1	0.1
24	0.3	0.1	0.1	0.1	5.4	1.5	0.1	0.4	0.9	0.6	7.3	0.3
25	5.4	0.1	0.1	0.1	0.1	14.1	0.1	0.1	1.2	7.6	0.3	0.3
26	0.1	2.8	0.1	0.1	8.7	0.1	0.1	0.1	0.1	15.6	0.2	0.2
27	0.2	0.7	0.1	(0.4)	2.5	0.1	0.1	0.8	10.6	4.2	0.2	0.2
28	8.0	0.1	0.1	(0.1)	8.5	0.1	0.1	6.2	2.0	2.4	0.1	0.1
29	0.2	0.7	0.1	(0.7)	0.7	6.5	0.1	1.7	0.3	1.6	0.1	0.1
30	1.9	1.5	(24.6)	2.8	1.9	15.0	1.6	9.4	0.1	0.1	0.1	0.1
31	1.4	0.1	(0.6)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2

46.6 40.9 66.9 51.1 (73.2) 73.2 48.4 67.6 101.8 81.1 99.0 30.7

COUDONNET

ANNEE: 1975

P mm

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.11	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	8.1	0.1	0.1
2	0.11	3.0	9.4	1.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2.9	0.1	0.1
3	0.2	0.4	4.5	0.1	0.1	3.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.11	0.2	6.0	0.3	0.1	10.5	0.1	0.2	0.7	0.2	0.2	0.2
5	0.11	1.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	0.1	0.1	0.1
6	3.11	0.6	3.6	0.1	0.1	0.2	0.1	1.7	0.1	0.1	0.1	0.3
7	0.7	8.4	6.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	0.3	0.3
8	0.5	9.2	7.5	6.5	0.1	0.1	0.1	9.2	0.1	0.1	3.7	0.1
9	0.11	1.11	0.8	0.9	0.1	0.1	0.1	15.3	0.1	0.5	0.5	0.1
10	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	9.8	0.1	2.9	0.5	0.1	0.1	0.1
11	6.8	8.9	0.1	14.1	2.2	0.1	0.1	5.0	0.1	0.3	1.4	1.4
12	7.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	8.0	0.1	0.7	0.3
13	7.7	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	18.1	0.9	0.1	0.1	0.1
14	0.2	2.4	4.3	0.1	0.1	0.1	(18.0)	23.0	13.1	0.4	1.9	1.9
15	0.11	2.0	1.4	0.2	1.1	0.1	(2.8)	4.3	12.7	8.2	8.8	8.8
16	13.4	0.2	1.2	0.1	8.1	4.0	(0.2)	12.3	4.9	12.7	9.9	9.9
17	23.4	0.2	0.1	0.2	5.1	4.3	6.6	3.1	0.1	1.6	3.9	3.9
18	14.0	0.1	0.1	5.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	1.1	0.1	0.1
19	0.2	2.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	5.6	0.1	0.1
20	5.2	7.9	2.2	0.1	0.1	0.1	38.8	0.1	0.1	4.8	0.1	0.2
21	0.5	1.4	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
22	8.2	8.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
23	7.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
24	0.5	0.7	(8.8)	0.2	0.2	1.8	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
25	3.5	0.1	(2.6)	0.1	0.1	0.1	0.1	4.9	0.2	0.2	2.8	2.8
26	2.3	0.1	0.1	0.1	3.0	0.1	0.1	0.1	0.1	9.8	0.1	0.1
27	13.0	4.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	6.7	0.1	0.1
28	20.0	0.1	(12.0)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	8.5	0.2	0.2	0.2
29	4.8	0.2	3.6	(8.1)	3.2	0.1	0.1	4.8	0.1	6.5	0.2	0.2
30	0.2	3.0	0.1	(2.4)	0.1	0.1	0.1	3.5	0.1	4.0	0.1	0.1
31	0.2	0.1	(4.1)	0.1	0.1	0.1	0.3	6.3	0.1	0.1	0.1	0.1

118.4 22.9 64.5 52.1 69.8 31.5 33.1 86.7 93.1 40.0 87.5 30.6

COUDONNET

ANNEE: 1976

P mm

	J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D
1	0.3	0.6	5.8	.	.	.	2.5	22.6
2	0.1	.	4.5	.	16.3	23.3
3	1.6	0.1	.	.	(10.0)	16.6	11.5
4	0.1	0.7	.	0.4	.	.	.	2.6	.	.	15.0	.	2.9
5	.	0.1	0.1	0.5	0.5	.	.	2.6	.	.	.	1.1	2.8
6	0.1	1.1	0.1	1.6	.	.	.	0.1	.	.	.	8.3	12.0
7	0.1	0.5	0.1	0.5	.	.	.	0.2	.	.	.	1.2	10.8
8	0.3	2.5	.	0.1	1.4	.	3.9	.	2.6	.	.	2.2	1.7
9	0.8	.	.	.	0.1	.	1.7	1.8	11.8	.	.	17.4	4.4
10	0.9	3.5	.	.	33.3	.	0.1	0.7	.	4.0	.	3.5	0.4
11	1.6	7.3	0.8	.	0.7	.	6.0	.	11.8	19.2	4.0	.	.
12	.	16.3	4.5	.	2.4	.	5.1	.	13.0	8.1	10.8	.	.
13	.	9.8	7.6	.	.	.	0.2	0.3	3.2	7.1	.	.	.
14	0.1	0.4	0.9	5.2	.	0.2	.	0.4	6.8	5.0	.	.	.
15	.	2.9	0.1	.	0.1	.	0.1	1.5	5.1	7.7	.	.	.
16	.	1.6	.	.	10.1	2.0	1.4	.	4.0
17	0.2	.	2.2	0.1	0.1	.	9.4	.	.	4.0	.	.	.
18	0.3	0.2	0.1	4.4	1.5	.	6.4	.	.	32.7	.	.	.
19	0.2	.	0.4	.	0.4	.	0.1	.	.	16.6	.	.	.
20	4.2	.	0.1	0.4	1.9	.	0.1	.	.	1.7	.	.	.
21	0.9	0.1
22	1.8	1.0	13.1	.	0.3	.	26.9
23	4.1	2.1	3.4	.	.	.	4.1	.	4.4
24	0.1	.	0.3	0.7	.	0.1	0.1	.	6.2
25	0.6	.	0.1	1.6	0.6	.	0.1	.	(1.3)	11.8	.	.	.
26	0.1	0.1	0.1	.	.	0.1	0.1	1.7	(1.4)	0.9	0.4	.	.
27	0.5	0.1	.	.	0.2	.	0.1	10.0	1.1	2.2	.	.	.
28	.	0.1	.	.	2.7	.	2.6	.	7.1	3.0	.	.	.
29	.	0.1	.	.	0.1	.	0.1	2.4	.	7.1	3.0	.	.
30	1.4	.	0.1	.	0.1	.	2.4	9.8	{20.0}	4.6	22.4	.	.
31	.	1.5	0.7	0.9	0.9	0.9	8.4	1.4	1.4	21.5	.	.	.

20.3 46.2 36.6 16.8 43.1 3.5 53.7 62.6 92.9 168.6 113.1 113.9

COUDONNET

ANNEE: 1977

P mm

	J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D
1	5.3	.	.	5.9	0.5	0.2	.	.	.	1.5	.	.	.
2	0.6	.	.	10.5	27.4	2.7	.	.	.
3	.	12.5	.	0.4	13.5	.	2.5	.	.	.	0.9	.	.
4	.	6.2	.	0.3	13.3	.	0.1	.	.	.	1.2	.	.
5	.	2.2	.	.	0.5	.	0.1	.	.	11.2	.	17.0	.
6	.	0.4	.	.	0.2	1.6	.	0.1	.	51.2	.	3.2	.
7	.	.	.	5.2	.	9.6	0.9	4.0	.	.	.	0.6	.
8	.	11.8	.	.	.	7.6	6.7	.	.	1.5	.	7.7	.
9	.	20.6	.	.	.	30.3	1.1	.	.	13.7	.	1.5	.
10	2.5	13.6	9.7	.	.	24.8
11	4.9	2.2	0.4	1.5	.	0.1	.	0.1	.	.	2.1	7.5	.
12	3.8	4.2	2.6	2.3	5.1	.	0.1	.	.	.	13.7	.	.
13	4.0	2.7	11.6	.	0.8	9.6	.	0.1	.	.	6.8	0.2	.
14	3.1	2.8	.	.	10.3	29.6	.	0.1	.	.	6.2	0.2	.
15	3.0	4.5	.	.	3.2	.	0.1	5.2	.	.	6.2	0.2	.
16	.	6.2	.	.	1.7	.	0.1	17.9	.	.	3.9	.	.
17	.	4.5	0.5	10.4	0.5	11.0	.	22.7	.	.	0.4	.	.
18	9.0	.	2.0	0.7	10.2	3.5	.	8.0
19	0.5	0.4	13.6	.	7.5	1.9	.	2.0	.	.	0.2	.	.
20	.	13.4	6.4	.	16.1	.	0.1	4.9	.	1.0	3.0	.	.
21	11.9	0.6	4.8	.	3.5	.	4.6	.	0.4	1.9	4.9	.	.
22	3.4	1.5	1.4	.	3.4	4.7	.	6.7	.	32.0	1.1	1.8	.
23	.	20.6	.	.	2.4	15.0	.	0.5	2.7	.	2.5	0.3	.
24	5.4	2.7	.	.	.	6.7	.	9.2	1.7	6.8	.	.	.
25	14.4	0.8	.	.	1.9	12.6	6.7
26	3.1	.	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	.	2.6	.	.
27	.	1.8	9.3	1.1	.	9.3	.	1.1	0.8	.	0.3	14.7	.
28	1.9	.	3.6	0.5	.	7.0	1.8	.	1.1	0.8	.	3.9	.
29	6.3	.	.	.	0.6	.	1.0
30	6.1	.	.	.	4.7	7.5	.	0.4	.	0.8	2.0	.	.
31	.	1.5	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	8.4	1.4	1.4	0.6	.	.

89.2 115.6 88.0 38.8 122.0 162.4 43.3 84.2 13.4 124.0 51.8 68.7

COUDONNET												ANNEE: 1978												P mm				
!	!	J	!	F	!	M	!	A	!	M	!	J	!	J	!	A	!	S	!	O	!	N	!	D				
1	1	.	13.1	2.0	2.5	1.5	.	.	.	2.9	2.4
2	2	3.6	.	3.6	3.6	3.0
3	3	0.5	1.0	22.5	1.8	.	.	1.5	6.6	.	.	.	2.9	3.3	.	.	.	
4	4	1.2	8.8	.	0.8	.	.	1.5	3.4	.	.	16.3	8.5	.	.	.		
5	5	.	3.9	.	3.9	.	.	1.5	3.4	.	.	2.1	15.3	
6	6	.	0.6	.	0.6	.	.	8.0	.	.	.	2.1	15.3	0.2	.	.	.		
7	7	15.2	18.3	
8	8	.	0.2	.	0.2	.	.	9.1	.	.	.	2.2	4.0	.	.	.	
9	9	5.0	
10	10	0.9	4.3	.	3.1	1.2	
11	11	13.2	.	0.5	0.5	1.2	2.4	.	.	.	
12	12	2.2	.	3.9	2.0	2.5	10.5	.	.	.	
13	13	.	0.5	.	7.5	1.8	2.6	15.2	.	.	
14	14	.	0.4	11.3	1.2	.	0.2	.	.	0.6	18.5	.	.	.		
15	15	0.6	11.5	3.5	0.3	3.8	.	1.3	4.2	.	.	.		
16	16	2.7	9.2	10.0	0.7	20.9	2.4	0.8	
17	17	0.5	1.9	5.8	2.8	3.3	0.7	3.4	1.7	.	.	.		
18	18	4.3	0.3	.	11.0	20.2	.	5.4	
19	19	8.0	4.8	.	5.9	0.8	1.2	
20	20	0.8	13.6	7.7	2.0	.	0.9	0.5	4.7	
21	21	.	0.4	2.3	1.2	6.8	8.2	.	.	.		
22	22	1.1	.	5.6	.	.	(0.5)	3.6	.	.	.		
23	23	8.6	.	10.5	.	.	(5.5)	4.7	.	.	.			
24	24	10.3	.	4.5	9.3	.	(12.2)	0.4	7.9	
25	25	2.0	9.8	4.0	1.3	.	(2.4)	0.7	8.4	0.5		
26	26	5.2	0.9	5.2	8.5	.	(0.4)	0.6	1.4	0.6	1.8		
27	27	9.2	2.4	.	1.8	0.4	.	.	0.6	.	5.7	
28	28	6.1	0.4	.	0.8	9.4		
29	29	0.6	.	20.9	5.2	1.8	12.4	
30	30	0.4	.	6.7	13.0	.	.	21.4	.	.	.	1.0	18.8	
31	31	8.9	3.4	.	0.9	1	22.7	18.8	

COUDONNET												ANNEE: 1979												P mm					
!	!	J	!	F	!	M	!	A	!	M	!	J	!	J	!	A	!	S	!	O	!	N	!	D					
1	1	0.2	3.1	0.11	5.8	6.1	2.9	.	.	0.3	5.4	(0.1)	11.9	0.5	
2	2	.	3.3	0.9	12.7	5.5	0.1	.	.	0.1	5.1	(0.1)	6.0	
3	3	6.3	2.3	0.6	10.6	2.9	0.1	.	.	0.1	0.1	(3.4)	0.2		
4	4	9.0	10.6	4.1	7.4	0.9	.	.	.	0.1	0.1	(8.0)	0.8		
5	5	1.0	9.9	4.0	6.1	0.1	(2.7)	2.1		
6	6	0.1	9.2	1.5	3.3	(8.0)	0.8	
7	7	0.3	3.6	(0.1)	2.1	
8	8	10.1	7.9	0.11	0.9	0.9	.	.	.	2.8	.	.	2.5	7.5	
9	9	1.3	3.8	5.5	.	.	0.8	.	.	3.6	.	.	1.9	0.4	1.3	
10	10	13.8	3.2	10.1	17.2	.	0.3	.	.	1.2	0.1	40.3	.	.	12.1	
11	11	0.1	13.5	2.0	1.3	.	4.3	.	.	2.4	.	.	12.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
12	12	0.1	3.9	1.2	.	4.5	5.0	.	.	1.8	.	13.3	1.9	13.9	0.9
13	13	0.1	3.8	0.8	.	4.5	0.1	0.1	0.1	0.1	1.8	7.7
14	14	.	0.3	34.3	0.7	.	0.8	.	1.8	4.5	0.1	12.6	0.1	0.1	3.2	4.2	
15	15	.	0.9	10.6	.	14.9	0.1	10.8	5.3	0.1	12.6	0.1	0.1	0.4	29.9	
16	16	.	0.2	5.9	.	0.2	2.1	.	.	5.3	.	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9	
17	17	.	0.1	0.4	0.1	26.0	2.3	.	.	5.3	.	0.3	0.1	0.1	0.9	13.1
18	18	0.1	1.5	.	2.0	.	.	0.9	0.4	13.1	.	1.5	.	.	2.2	
19	19	3.4	0.4	.	8.0	.	0.9	0.4	13.1	.	1.5	.	.	2.2	
20	20	0.1	0.1	1.1	1.6	20.3	.	.	.	1.3	1.5	.	.	.	2.2
21	21	0.2	4.8	4.2	7.1	0.1	.	.	.	6.0	4.3	2.5	
22	22	9.5	.	4.8	1.7	7.6	0.2		
23	23	.	0.2	1.8	21.5	9.5	.	.	19.1	0.7	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
24	24	.	0.1	2.1	8.2	4.1	.	.	3.2	0.7	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
25	25	0.1	3.0	5.8	0.6	.	.	5.3	0.5	35.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
26	26	9.8	0.1	1.9	3.8	14.2	10.8	.	0.5	1.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
27	27	12.1	.	15.3	0.2	0.2	19.0	.	.	11.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.5
28	28	1.1	2.3	3.7	11.9	0.1	.	.	.	1.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
29	29	8.3	2.9	0.1	0.1	2.8	26.3
30	30	2.2	0.5	2.7	.	0.1	.	1.7	.	1.7	19.6</									

COUDONNET

ANNEE : 1980

P num

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	8.4	(2.4)	.	0.5	1.0	.	0.3	.	.	0.1	0.1	.
2	6.3	(1.9)	0.1	0.1	0.6	0.1	.	.
3	0.1	(4.1)	.	.	0.9	4.2
4	5.8	(8.9)	.	.	3.8	.	.	.	1.1	0.1	.	1.4
5	3.4	(2.7)	1.7	.	0.1	0.9	.	.	1.1	.	.	1.2
6	1.2	(3.2)	12.0	.	3.0	0.2	.	.	0.1	.	0.2	4.6
7	1.4	.	25.4	.	8.1	.	27.7	.	.	1.2	0.3	0.1
8	.	.	4.8	.	3.1	.	1.8	.	13.3	17.4	11.9	0.2
9	4.4	4.3	0.2	.	.	5.4	11.2	.	.	.	21.1	.
10	1.3	1.0	2.0	.	.	3.6	6.6	.	0.1	17.7	.	.
11	.	0.2	0.1	.	.	0.8	2.3	.	1.0	23.9	10.3	.
12	0.1	0.1	4.8	.	3.2	1.0	1.4	.	1.6	0.4	3.5	.
13	.	0.4	1.2	.	10.1	1.3	.	.	1.0	0.9	0.1	4.3
14	0.1	.	0.6	0.1	2.9	4.7	9.3	7.5	0.1	7.2	0.1	6.2
15	.	2.4	1.0	4.9	.	.	7.6	15.6	0.1	.	.	3.2
16	.	1.2	.	.	.	1.6	.	0.1	0.1	20.3	.	.
17	.	0.1	.	5.1	.	2.5	.	.	0.1	1.5	4.2	4.3
18	2.8	0.1	.	.	.	4.4	.	2.5	.	4.8	2.6	2.3
19	1.8	.	15.0	0.1	1.0	1.6	.	0.2	1.0	0.1	0.1	4.9
20	4.6	.	7.8	1.2	5.7	0.3	3.7	.	21.4	0.1	.	11.5
21	17.1	.	0.5	.	0.5	0.2	.	.	0.1	0.2	.	2.5
22	12.5	5.9	.	2.5	1.8	0.2	.	.	6.2	2.0	.	0.5
23	6.1	23.2	.	0.4	.	16.6	.	0.1	0.1	.	0.1	1.3
24	8.6	37.4	5.3	.	.	2.0	.	.	.	18.8	0.1	0.2
25	1.4	13.9	1.6	.	.	10.1	1.2	9.7	0.1	.	5.2	1.6
26	1.7	0.1	5.1	.	6.8	6.4	13.8	31.3	0.1	0.1	.	15.0
27	(+)	.	2.2	.	7.7	.	0.1	.	0.1	0.1	0.5	4.8
28	(+)	.	0.3	.	9.8	.	7.7	0.5	.	.	3.2	.
29	(0.2)	.	0.3	.	7.2	1.6	.	.	0.1	0.1	0.1	.
30	(+)	.	0.3	.	1.3	.	.	0.2	0.1	.	.	.
31	(11.9)	.	0.2	.	2.4	.	3.8	0.4
	101.2	113.5	92.5	14.9	81.0	65.4	98.5	67.7	48.9	117.1	63.7	74.7

DONNEES HYDROMETRIQUES: CYCLE 1982

Débits de la Couze au Soulier
Débits du Blagour au Soulier
Débits du Sorpt à Roziers
Débits de la source de Fontille
Débits de la Couze-Perte au Briant
Hydrogrammes

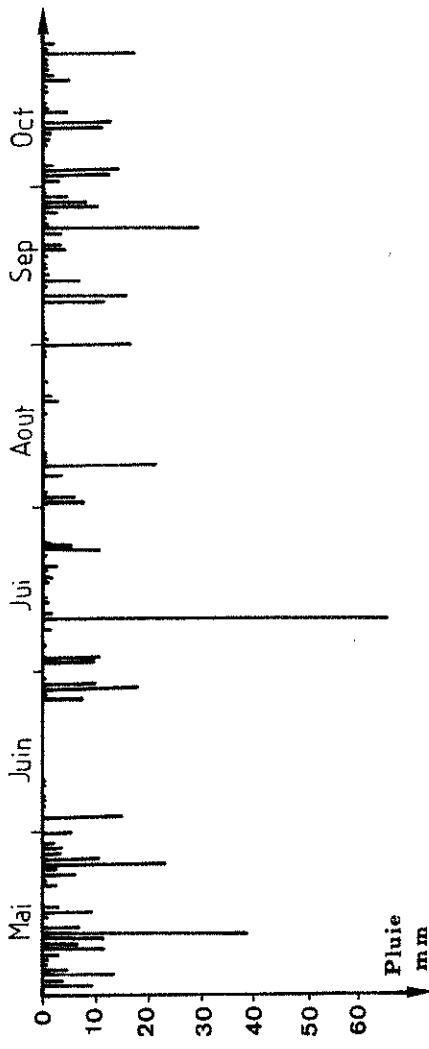
LA COUZE ANNEE: 1981 B.V.: 65.00km² Q m³/s

! ! J	! F	! M	! A	! M	! J	! J	! J	! A	! S	! O	! N	! D	!
! 1!				1.745!	0.560!	1.415!	0.540!	0.360!	0.265!	0.405!	0.795!	0.800!	
! 2!				1.520!	0.540!	1.230!	0.540!	0.335!	0.260!	0.525!	0.755!	0.880!	
! 3!				1.340!	0.540!	1.220!	0.620!	0.330!	0.260!	2.080!	0.685!	0.655!	
! 4!				1.245!	0.590!	1.420!	0.600!	0.335!	0.260!	1.985!	0.595!	0.560!	
! 5!				1.150!	0.725!	1.260!	0.580!	0.355!	0.260!	0.965!	0.530!	0.530!	
! 6!				1.070!	0.700!	1.100!	0.560!	0.355!	0.260!	0.684!	0.470!	0.530!	
! 7!				1.080!	0.700!	1.000!	0.550!	0.350!	0.260!	0.540!	0.450!	0.975!	
! 8!				1.000!	0.650!	0.940!	0.540!	0.335!	0.260!	0.475!	0.425!	2.000!	
! 9!				0.985!	0.645!	0.890!	0.530!	0.430!	0.270!	0.435!	0.415!	4.200!	
! 10!				0.940!	1.440!	0.840!	4.880!	0.375!	0.295!	0.405!	0.405!	3.160!	
! 11!				0.905!	1.530!	0.790!	2.900!	0.360!	0.290!	0.420!	0.395!	7.130!	
! 12!				0.980!	9.055!	0.750!	1.450!	0.350!	0.275!	1.085!	0.380!	10.340!	
! 13!				0.960!	10.815!	0.730!	1.070!	0.335!	0.275!	1.660!	0.370!	12.400!	
! 14!				0.905!	4.480!	0.700!	0.915!	0.335!	0.270!	1.020!	0.360!	15.815!	
! 15!				0.840!	2.755!	0.670!	0.810!	0.335!	0.260!	0.990!	0.335!	8.940!	
! 16!				0.860!	2.200!	0.660!	0.775!	0.335!	0.260!	0.820!	0.315!	6.870!	
! 17!				0.970!	2.200!	0.645!	0.750!	0.335!	0.260!	0.660!	0.310!	5.080!	
! 18!				0.905!	1.850!	0.620!	0.730!	0.350!	0.260!	0.560!	0.310!	4.790!	
! 19!				0.795!	1.590!	0.605!	0.645!	0.350!	0.260!	0.500!	0.295!	5.170!	
! 20!				0.750!	1.345!	0.600!	0.615!	0.350!	0.260!	0.465!	0.290!	3.410!	
! 21!				0.735!	1.215!	0.585!	0.615!	0.340!	0.260!	0.465!	0.285!	2.825!	
! 22!				0.715!	1.100!	0.580!	0.600!	0.335!	0.260!	0.445!	0.285!	3.910!	
! 23!				0.700!	1.035!	0.580!	0.600!	0.335!	0.250!	0.420!	0.290!	4.585!	
! 24!				0.670!	1.015!	0.570!	0.590!	0.315!	0.430!	0.390!	0.295!	4.965!	
! 25!				0.645!	1.370!	0.565!	0.560!	0.310!	0.335!	0.435!	0.290!	4.080!	
! 26!				0.615!	3.400!	0.560!	0.535!	0.295!	0.320!	1.215!	0.290!	3.030!	
! 27!				0.600!	4.140!	0.580!	0.505!	0.290!	1.095!	0.880!	0.290!	2.535!	
! 28!				0.600!	2.845!	0.615!	0.475!	0.280!	0.755!	0.710!	0.355!	2.320!	
! 29!				0.580!	2.280!	0.560!	0.445!	0.275!	0.605!	0.625!	0.420!	2.740!	
! 30!				0.570!	1.895!	0.530!	0.420!	0.270!	0.480!	0.585!	0.445!	2.645!	
! 31!					1.580!		0.390!	0.265!		0.695!		3.050!	
				0.913	2.154	0.794	0.850	0.332	0.371	0.759	0.404	4.223	

BLAUGOUR (19)				ANNEE: 1981				B.V.: 40.00km/s				Q m3/s														
!	!	J	!	F	!	M	!	A	!	M	!	J	!	J	!	A	!	S	!	O	!	N	!	D	!	
!	1!								!	0.300!	0.950!	0.340!	0.180!	0.150!	0.225!	0.455!	0.510!									
!	2!								!	0.290!	0.805!	0.340!	0.150!	0.150!	0.265!	0.440!	0.550!									
!	3!								!	0.290!	0.805!	0.385!	0.145!	0.150!	1.435!	0.405!	0.395!									
!	4!								!	0.320!	0.920!	0.385!	0.155!	0.155!	1.240!	0.350!	0.340!									
!	5!								!	0.380!	0.800!	0.365!	0.180!	0.155!	0.610!	0.310!	0.320!									
!	6!								!	0.355!	0.675!	0.360!	0.185!	0.160!	0.439!	0.255!	0.345!									
!	7!								!	0.380!	0.610!	0.365!	0.170!	0.160!	0.345!	0.255!	0.615!									
!	8!								!	0.350!	0.585!	0.355!	0.155!	0.160!	0.265!	0.265!	1.335!									
!	9!								!	0.345!	0.570!	0.355!	0.245!	0.160!	0.275!	0.255!	2.965!									
!	10!								!	0.740!	0.545!	3.135!	0.195!	0.170!	0.245!	0.245!	2.170!									
!	11!								!	0.895!	0.530!	2.075!	0.190!	0.170!	0.260!	0.225!	4.935!									
!	12!								!	6.000!	0.490!	0.960!	0.190!	0.155!	0.545!	0.210!	6.825!									
!	13!								!	0.570!	7.245!	0.470!	0.670!	0.175!	0.160!	1.000!	0.210!	8.340!								
!	14!								!	0.535!	2.985!	0.440!	0.615!	0.185!	0.170!	0.640!	0.200!	10.045!								
!	15!								!	0.490!	1.815!	0.410!	0.535!	0.190!	0.170!	0.595!	0.175!	5.590!								
!	16!								!	0.505!	1.500!	0.400!	0.525!	0.190!	0.170!	0.500!	0.160!	4.535!								
!	17!								!	0.560!	1.555!	0.385!	0.510!	0.195!	0.170!	0.400!	0.160!	3.415!								
!	18!								!	0.550!	1.260!	0.360!	0.505!	0.205!	0.170!	0.330!	0.160!	3.240!								
!	19!								!	0.455!	1.060!	0.345!	0.430!	0.205!	0.170!	0.300!	0.150!	3.470!								
!	20!								!	0.430!	0.865!	0.340!	0.405!	0.205!	0.170!	0.275!	0.150!	2.245!								
!	21!								!	0.420!	0.770!	0.340!	0.405!	0.195!	0.180!	0.280!	0.145!	1.930!								
!	22!								!	0.415!	0.690!	0.345!	0.395!	0.195!	0.160!	0.260!	0.155!	2.830!								
!	23!								!	0.400!	0.640!	0.345!	0.400!	0.200!	0.535!	0.240!	0.160!	3.155!								
!	24!								!	0.375!	0.665!	0.345!	0.390!	0.185!	0.260!	0.220!	0.165!	3.370!								
!	25!								!	0.360!	0.950!	0.345!	0.365!	0.190!	0.200!	0.265!	0.160!	2.765!								
!	26!								!	0.335!	2.180!	0.350!	0.345!	0.175!	0.175!	0.750!	0.160!	2.070!								
!	27!								!	0.320!	2.660!	0.375!	0.320!	0.170!	0.630!	0.520!	0.160!	1.730!								
!	28!								!	0.325!	1.875!	0.415!	0.290!	0.165!	0.415!	0.415!	0.205!	1.610!								
!	29!								!	0.315!	1.540!	0.360!	0.265!	0.165!	0.375!	0.375!	0.235!	1.910!								
!	30!								!	0.305!	1.255!	0.320!	0.240!	0.160!	0.260!	0.345!	0.265!	1.810!								
!	31!								!	1.050!		!	0.215!	0.150!	!	0.390!	!	2.095!								
									1.394	0.499	0.556	0.182	0.215	0.460	0.228	2.822										

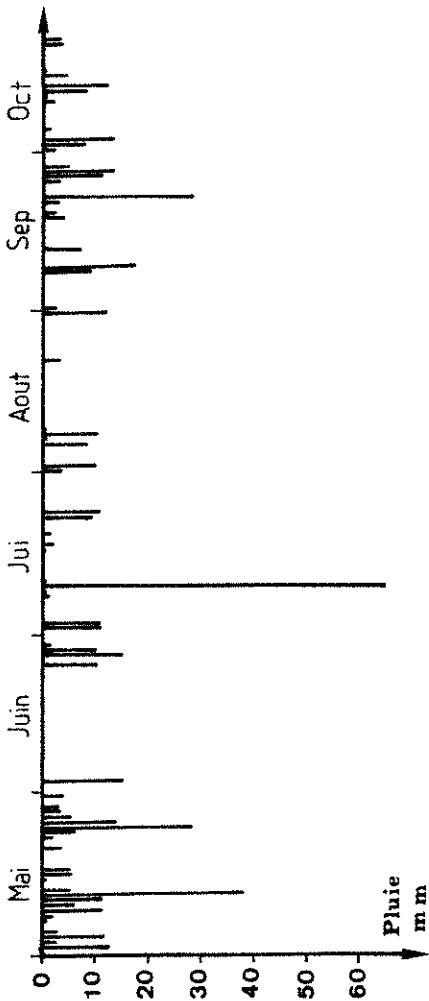
BLAUGOUR (19)				ANNEE: 1982				B.V.: 40.00km/s				Q m3/s													
!	!	J	!	F	!	M	!	A	!	M	!	J	!	J	!	A	!	S	!	O	!	N	!	D	!
!	1!	1.695!	0.710!	0.485!	0.765!	0.280!	0.230!	0.185!	0.145!	0.120!	0.330!														
!	2!	1.600!	0.675!	0.310!	1.365!	0.280!	0.225!	0.180!	0.145!	0.120!	0.270!														
!	3!	1.445!	0.635!	0.915!	0.885!	0.280!	0.225!	0.180!	0.145!	0.115!	0.280!														
!	4!	1.230!	0.575!	0.790!	0.740!	0.295!	0.225!	0.180!	0.145!	0.115!	0.275!														
!	5!	1.095!	0.525!	0.700!	0.655!	0.330!	0.220!	0.130!	0.140!	0.115!	0.180!														
!	6!	2.915!	0.495!	0.645!	0.565!	0.265!	0.220!	0.175!	0.140!	0.115!	0.620!														
!	7!	7.310!	0.480!	0.605!	0.510!	0.270!	0.220!	0.175!	0.140!	0.115!	1.125!														
!	8!	4.075!	0.465!	0.590!	0.505!	0.280!	0.215!	0.175!	0.140!	0.115!	0.620!														
!	9!	2.440!	0.415!	0.540!	0.490!	0.280!	0.215!	0.175!	0.140!	0.110!	0.525!														
!	10!	1.865!	0.390!	0.530!	0.465!	0.270!	0.215!	0.170!	0.135!	0.110!	0.460!														
!	11!	1.595!	0.375!	0.745!	0.450!	0.265!	0.210!	0.170!	0.135!	0.110!	0.395!														
!	12!	1.340!	0.350!	0.725!	0.430!	0.265!	0.210!	0.170!	0.135!	0.110!	0.665!														
!	13!	1.120!	0.360!	0.680!	0.400!	0.260!	0.210!	0.170!	0.135!	0.110!	2.800!														
!	14!	1.075!	0.385!	0.590!	0.365!	0.260!	0.210!	0.165!	0.135!	0.110!	3.600!														
!	15!	0.950!	0.385!	0.575!	0.350!	0.260!	0.205!	0.165!	0.130!	0.105!	3.145!														
!	16!	0.900!	1.315!	0.565!	0.355!	0.255!	0.205!	0.165!	0.130!	0.105!	1.540!														
!	17!	0.770!	2.855!	1.955!	0.315!	0.255!	0.205!	0.165!	0.130!	0.105!	1.060!														
!	18!	0.740!	1.330!	1.760!	0.325!	0.255!	0.200!	0.160!	0.130!	0.105!	0.955!														
!	19!	0.695!	0.955!	1.375!	0.320!	0.250!	0.200!	0.160!	0.130!	0.105!	0.760!														
!	20!	0.635!	0.800!	1.470!	0.325!	0.250!	0.200!	0.160!	0.130!	0.105!	0.675!														
!	21!	0.620!	0.680!	1.265!	0.325!	0.245!	0.195!	0.160!	0.130!	0.105!	0.615!														
!	22!	0.590!	0.640!	1.095!	0.325!	0.245!	0.195!	0.160!	0.125!	0.100!	0.575!														
!	23!	0.600!	0.610!	0.905!	0.325!	0.245!	0.195!	0.155!	0.125!	0.100!															
!	24!	0.560!	0.525!	0.305!	0.310!	0.240!	0.195!	0.155!	0.125!	0.100!															
!	25!	0.560!	0.530!	0.715!	0.305!	0.240!	0.190!	0.155!	0.125!	0.100!															
!	26!	0.560!	0.485!	0.685!</td																					

LE BLAGOUR
1981



Débits
 m^3/s

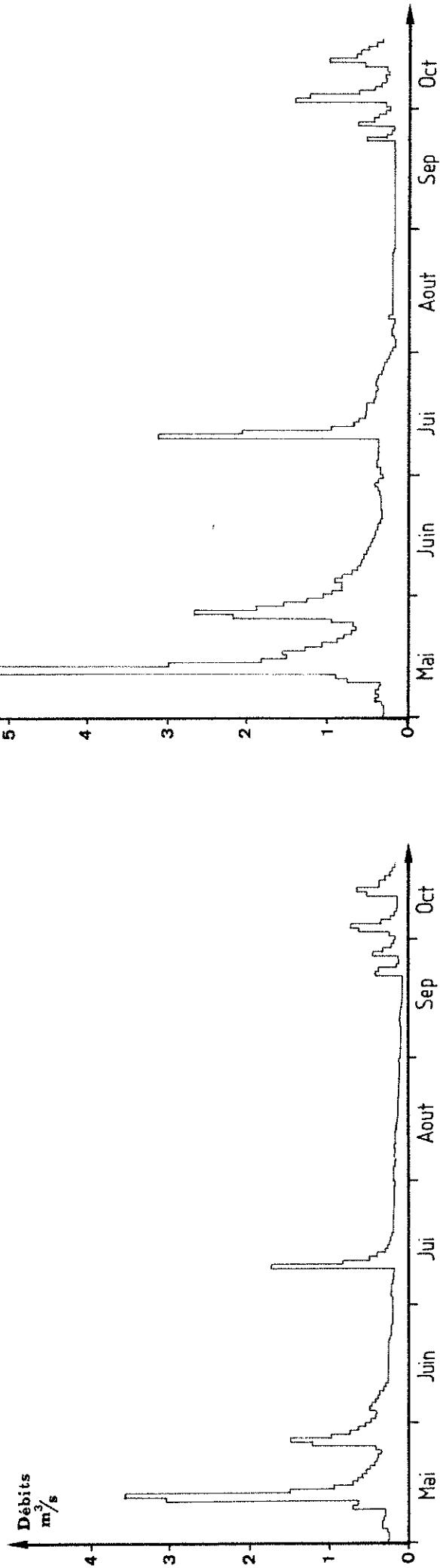
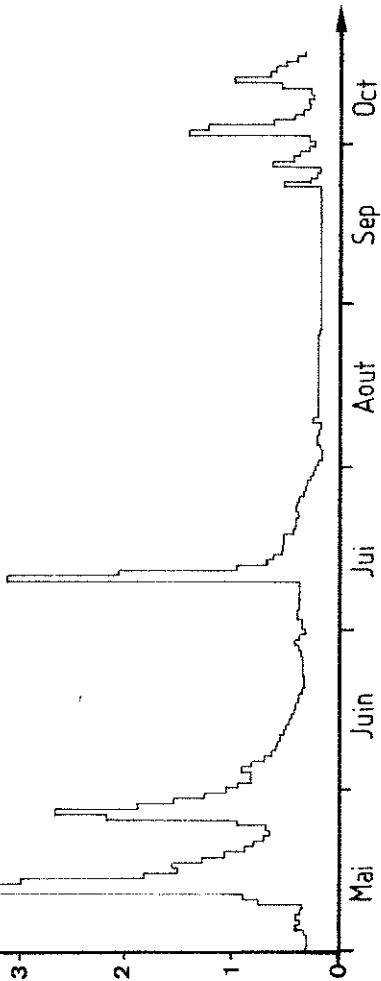
7
6
5
4
3
2
1
0



LE SORPT
1981

Débits
 m^3/s

4
3
2
1
0

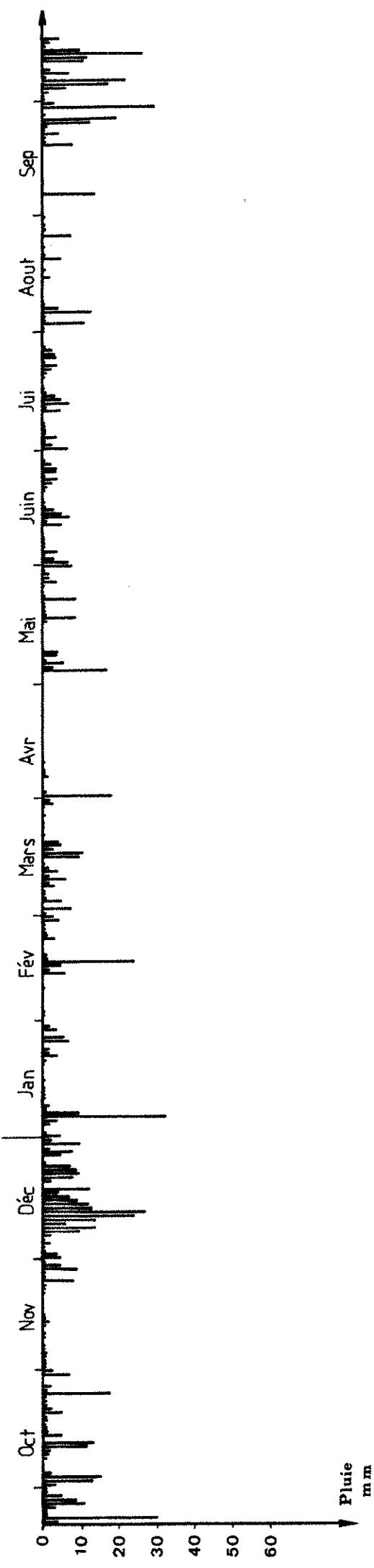


SORPT AMN83: 1981 B.V.: 25.00km2 Q m3/s

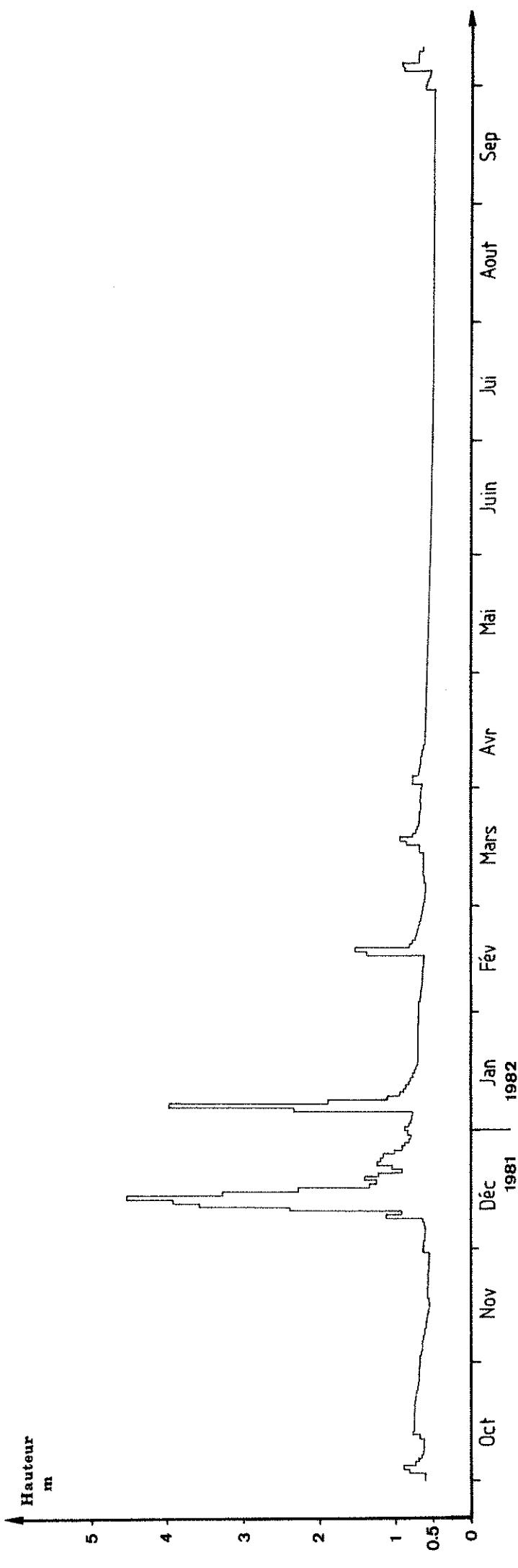
! ! J ! F ! M ! A ! M ! J ! J ! A ! S ! O ! N ! D !
! 1 ! 0.260! 0.455! 0.200! 0.180! 0.115! 0.180! 0.340! 0.290!
! 2 ! 0.250! 0.425! 0.200! 0.185! 0.110! 0.260! 0.315! 0.330!
! 3 ! 0.250! 0.415! 0.235! 0.185! 0.110! 0.645! 0.280! 0.260!
! 4 ! 0.270! 0.500! 0.215! 0.180! 0.105! 0.745! 0.245! 0.220!
! 5 ! 0.345! 0.460! 0.215! 0.175! 0.105! 0.355! 0.220! 0.210!
! 6 ! 0.345! 0.425! 0.200! 0.170! 0.100! 0.245! 0.215! 0.185!
! 7 ! 0.320! 0.390! 0.185! 0.180! 0.100! 0.190! 0.195! 0.360!
! 8 ! 0.300! 0.355! 0.185! 0.180! 0.100! 0.160! 0.160! 0.665!
! 9 ! 0.300! 0.320! 0.175! 0.185! 0.110! 0.160! 0.160! 1.235!
! 10 ! 0.700! 0.295! 1.745! 0.180! 0.125! 0.160! 0.160! 0.990!
! 11 ! 0.635! 0.260! 0.825! 0.170! 0.120! 0.160! 0.170! 2.195!
! 12 ! 3.055! 0.260! 0.490! 0.160! 0.120! 0.540! 0.170! 3.515!
! 13 ! 0.390! 3.570! 0.260! 0.400! 0.160! 0.115! 0.660! 0.160! 4.060!
! 14 ! 0.370! 1.495! 0.260! 0.300! 0.150! 0.100! 0.380! 0.130! 5.770!
! 15 ! 0.350! 0.940! 0.260! 0.275! 0.145! 0.090! 0.395! 0.160! 3.350!
! 16 ! 0.355! 0.700! 0.260! 0.250! 0.145! 0.090! 0.320! 0.155! 2.335!
! 17 ! 0.390! 0.645! 0.260! 0.240! 0.140! 0.090! 0.260! 0.150! 1.665!
! 18 ! 0.355! 0.590! 0.260! 0.225! 0.145! 0.090! 0.230! 0.150! 1.550!
! 19 ! 0.340! 0.530! 0.260! 0.215! 0.145! 0.090! 0.200! 0.145! 1.700!
! 20 ! 0.320! 0.480! 0.260! 0.210! 0.145! 0.090! 0.190! 0.140! 1.165!
! 21 ! 0.315! 0.445! 0.245! 0.210! 0.145! 0.080! 0.185! 0.140! 0.895!
! 22 ! 0.300! 0.410! 0.235! 0.205! 0.140! 0.440! 0.185! 0.130! 1.080!
! 23 ! 0.300! 0.395! 0.235! 0.200! 0.135! 0.390! 0.180! 0.130! 1.430!
! 24 ! 0.295! 0.350! 0.225! 0.200! 0.130! 0.168! 0.170! 0.130! 1.595!
! 25 ! 0.285! 0.420! 0.220! 0.195! 0.120! 0.135! 0.170! 0.130! 1.295!
! 26 ! 0.280! 1.230! 0.210! 0.190! 0.120! 0.145! 0.465! 0.130! 0.960!
! 27 ! 0.280! 1.480! 0.205! 0.185! 0.120! 0.465! 0.360! 0.130! 0.605!
! 28 ! 0.275! 0.970! 0.200! 0.185! 0.115! 0.340! 0.295! 0.150! 0.710!
! 29 ! 0.265! 0.740! 0.200! 0.180! 0.110! 0.230! 0.250! 0.185! 0.630!
! 30 ! 0.265! 0.640! 0.210! 0.180! 0.110! 0.200! 0.240! 0.180! 0.635!
! 31 ! 0.520! 0.175! 0.115! 0.305! 0.305! 0.305!
0.760 0.295 0.293 0.150 0.155 0.298 0.176 1.401

SORPT AMN83: 1982 B.V.: 25.00km2 Q m3/s

! ! J ! F ! M ! A ! M ! J ! J ! A ! S ! O ! N ! D !
! 1 ! 0.895! 0.370! 0.265! 0.330! 0.165! 0.115! 0.075! 0.055! 0.040! 0.115!
! 2 ! 0.825! 0.360! 0.365! 0.530! 0.160! 0.110! 0.075! 0.055! 0.040! 0.075!
! 3 ! 0.695! 0.335! 0.425! 0.430! 0.155! 0.110! 0.075! 0.055! 0.040! 0.060!
! 4 ! 0.600! 0.315! 0.390! 0.360! 0.160! 0.105! 0.075! 0.055! 0.040! 0.055!
! 5 ! 0.550! 0.315! 0.360! 0.330! 0.175! 0.100! 0.075! 0.055! 0.040! 0.145!
! 6 ! 1.355! 0.280! 0.325! 0.315! 0.180! 0.100! 0.075! 0.050! 0.040! 0.400!
! 7 ! 3.790! 0.270! 0.310! 0.300! 0.165! 0.100! 0.075! 0.050! 0.035! 0.485!
! 8 ! 1.750! 0.265! 0.310! 0.200! 0.155! 0.100! 0.075! 0.050! 0.035! 0.195!
! 9 ! 1.100! 0.265! 0.300! 0.270! 0.150! 0.100! 0.070! 0.050! 0.035! 0.215!
! 10 ! 0.860! 0.260! 0.280! 0.265! 0.150! 0.100! 0.070! 0.050! 0.035! 0.160!
! 11 ! 0.705! 0.255! 0.375! 0.250! 0.145! 0.100! 0.070! 0.050! 0.030! 0.140!
! 12 ! 0.605! 0.250! 0.425! 0.240! 0.150! 0.100! 0.070! 0.050! 0.030! 0.300!
! 13 ! 0.525! 0.240! 0.370! 0.240! 0.150! 0.100! 0.070! 0.050! 0.030! 1.505!
! 14 ! 0.475! 0.230! 0.350! 0.235! 0.145! 0.100! 0.070! 0.050! 0.030! 1.765!
! 15 ! 0.450! 0.215! 0.335! 0.235! 0.145! 0.100! 0.070! 0.045! 0.030! 1.635!
! 16 ! 0.425! 0.725! 0.335! 0.230! 0.145! 0.100! 0.065! 0.045! 0.030! 0.620!
! 17 ! 0.405! 1.300! 1.085! 0.225! 0.140! 0.100! 0.065! 0.045! 0.030! 0.380!
! 18 ! 0.360! 0.605! 1.010! 0.215! 0.140! 0.100! 0.065! 0.045! 0.030! 0.320!
! 19 ! 0.350! 0.480! 0.750! 0.215! 0.135! 0.090! 0.065! 0.045! 0.030! 0.270!
! 20 ! 0.335! 0.405! 0.715! 0.200! 0.130! 0.090! 0.065! 0.045! 0.030! 0.220!
! 21 ! 0.320! 0.390! 0.635! 0.200! 0.130! 0.090! 0.065! 0.045! 0.030! 0.195!
! 22 ! 0.315! 0.360! 0.550! 0.195! 0.120! 0.090! 0.065! 0.045! 0.030! 0.185!
! 23 ! 0.305! 0.335! 0.495! 0.190! 0.120! 0.090! 0.060! 0.040! 0.030! 0.360!
! 24 ! 0.290! 0.315! 0.445! 0.190! 0.120! 0.090! 0.060! 0.040! 0.030! 0.965!
! 25 ! 0.280! 0.310! 0.395! 0.165! 0.115! 0.090! 0.060! 0.040! 0.030!
! 26 ! 0.260! 0.290! 0.365! 0.165! 0.115! 0.090! 0.060! 0.040! 0.030!
! 27 ! 0.445! 0.280! 0.350! 0.180! 0.110! 0.080! 0.060! 0.040! 0.030!
! 28 ! 0.535! 0.270! 0.355! 0.175! 0.110! 0.080! 0.060! 0.040! 0.030!
! 29 ! 0.425! 0.310! 0.170! 0.110! 0.080! 0.060! 0.040! 0.030!
! 30 ! 0.390! 0.300! 0.170! 0.110! 0.080! 0.055! 0.040! 0.300!
! 31 ! 0.375! 0.300! 0.120! 0.055! 0.040!
0.678 0.368 0.437 0.251 0.140 0.096 0.067 0.047 0.042



EVENT D'ENTRECORDS
1982



FONTIILLE	ANNEE: 1981												B.V.:	4.00km2	Q: m3/s
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
11													0.023	0.045	0.031
12													0.027	0.042	0.031
13													0.071	0.039	0.028
14													0.096	0.036	0.026
15													0.062	0.036	0.026
16													0.050	0.034	0.026
17													0.039	0.031	0.021
18													0.034	0.026	0.021
19													0.031	0.027	0.165
110													0.031	0.023	0.109
111													0.026	0.020	0.306
112													0.045	0.016	0.325
113													0.039	0.015	0.917
114													0.066	0.012	1.081
115													0.063	0.010	0.739
116													0.063	0.010	0.473
117													0.063	0.012	0.222
118													0.063	0.015	0.197
119													0.063	0.010	0.240
120													0.063	0.016	0.193
121													0.063	0.015	0.110
122													0.061	0.015	0.145
123													0.050	0.015	0.196
124													0.055	0.015	0.187
125													0.053	0.012	0.176
126													0.050	0.013	0.133
127													0.047	0.012	0.109
128													0.047	0.012	0.101
129													0.047	0.012	0.084
130													0.046	0.034	0.079
131													0.046		0.091
													0.052	0.021	0.436

FONTIILLE	ANNEE: 1982												B.V.:	4.00km2	Q: m3/s
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
11	0.098	0.051	0.037	0.042	0.017	0.009	0.007	0.005	0.004	0.015					
12	0.057	0.050	0.034	0.059	0.016	0.009	0.007	0.005	0.004	0.012					
13	0.082	0.047	0.031	0.069	0.016	0.009	0.007	0.005	0.004	0.010					
14	0.076	0.044	0.026	0.052	0.015	0.009	0.007	0.005	0.004	0.010					
15	0.074	0.042	0.025	0.050	0.015	0.009	0.007	0.005	0.004	0.010					
16	0.492	0.042	0.026	0.047	0.015	0.009	0.007	0.005	0.004	0.101					
17	0.931	0.039	0.028	0.045	0.015	0.009	0.007	0.005	0.004	0.108					
18	0.365	0.036	0.028	0.042	0.013	0.009	0.007	0.005	0.004	0.050					
19	0.159	0.036	0.031	0.039	0.013	0.008	0.007	0.005	0.004	0.050					
10	0.119	0.036	0.031	0.037	0.013	0.008	0.007	0.005	0.004	0.047					
11	0.106	0.036	0.031	0.034	0.013	0.008	0.007	0.005	0.004	0.034					
12	0.098	0.036	0.031	0.032	0.012	0.008	0.007	0.005	0.004						
13	0.087	0.034	0.031	0.031	0.012	0.008	0.007	0.005	0.004						
14	0.080	0.034	0.031	0.030	0.012	0.008	0.007	0.005	0.004						
15	0.071	0.034	0.046	0.028	0.011	0.008	0.007	0.005	0.004						
16	0.066	0.231	0.045	0.028	0.011	0.008	0.007	0.005	0.004						
17	0.060	0.279	0.094	0.027	0.011	0.008	0.007	0.005	0.004						
18	0.055	0.086	0.120	0.027	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004						
19	0.055	0.071	0.071	0.026	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004						
20	0.055	0.063	0.026	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004	0.004						
21	0.054	0.060	0.058	0.026	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004						
22	0.054	0.055	0.052	0.024	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004						
23	0.054	0.052	0.050	0.023	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004						
24	0.052	0.047	0.050	0.023	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004						
25	0.052	0.044	0.050	0.023	0.009	0.008	0.006	0.005	0.004						
26	0.052	0.042	0.047	0.021	0.009	0.008	0.006	0.004	0.004						
27	0.052	0.039	0.046	0.020	0.009	0.008	0.006	0.004	0.004						
28	0.052	0.037	0.045	0.019	0.009	0.007	0.006	0.004	0.004						
29	0.051		0.042	0.019	0.009	0.007	0.006	0.004	0.004						
30	0.051		0.042	0.017	0.009	0.007	0.006	0.004	0.004	0.025					
31	0.051		0.042	0.009		0.006	0.006	0.004							
	0.122	0.061	0.045	0.03	0.012	0.008	0.007	0.005	0.005						

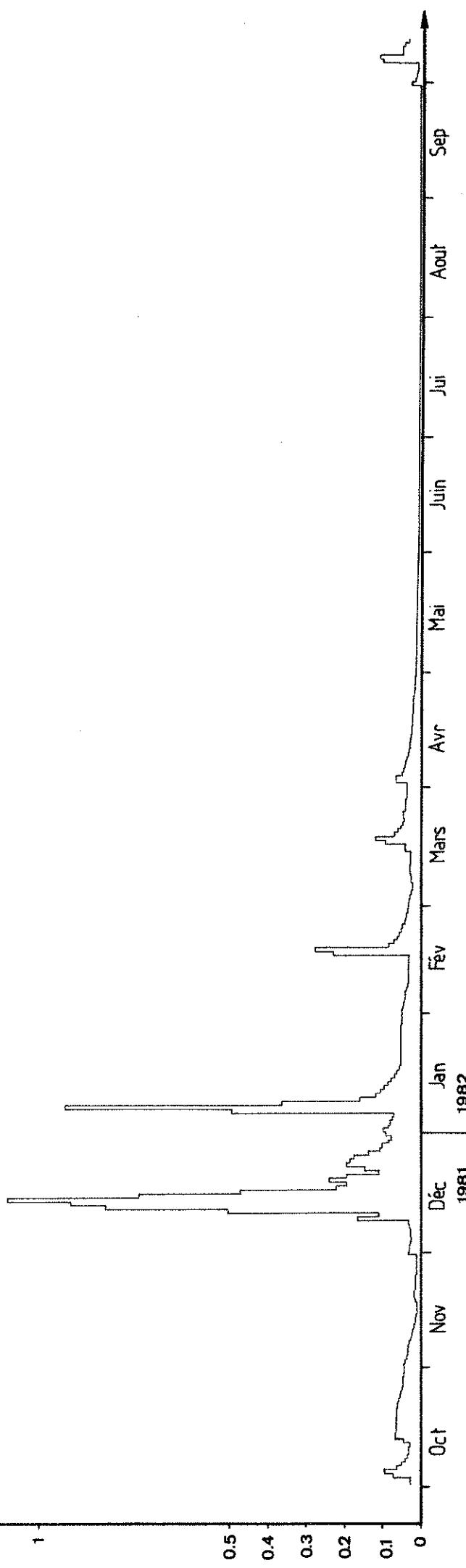
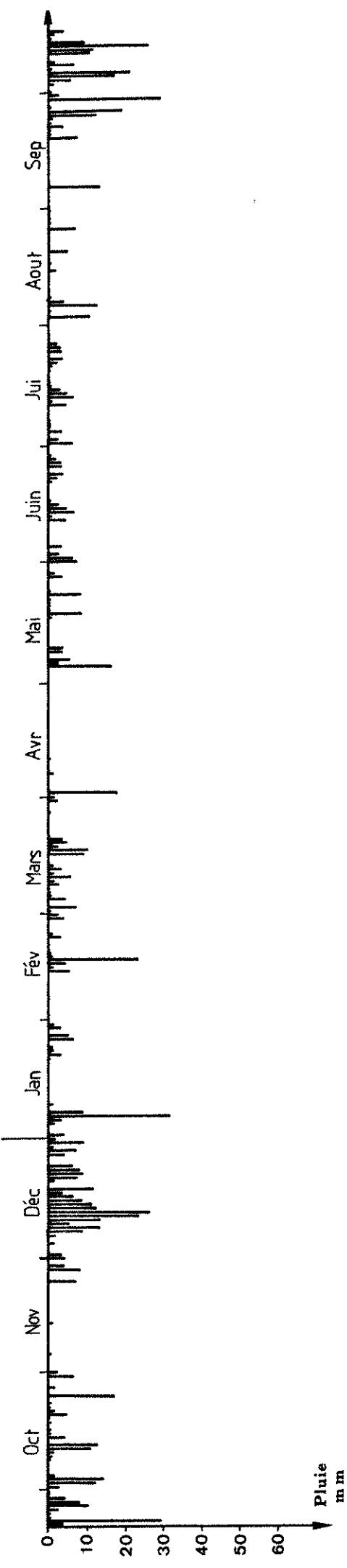
SOURCE DE FONVILLE

1982

Débits
 m^3/s

1

0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0



COUZE (PERTE)				ANNEE: 1981				B.V.: 12.00km2				Q m3/s							
I	M	J	F	I	M	J	A	I	R	J	S	I	A	S	O	I	N	I	D
111															0.021	0.076	0.115		
121															0.076	0.055	0.069		
131															0.217	0.050	0.055		
141															0.130	0.048	0.050		
151															0.073	0.045	0.063		
161															0.050	0.043	0.065		
171															0.038	0.042	0.195		
181															0.033	0.037	0.365		
191															0.030	0.035	0.660		
101															0.030	0.034	0.565		
111															0.052	0.033	1.660		
121															0.093	0.032	2.610		
131															0.078	0.031	2.615		
141															0.066	0.029	2.655		
151															0.065	0.024	1.065		
161															0.052	0.027	0.955		
171															0.045	0.026	0.625		
181															0.037	0.025	0.370		
191															0.036	0.024	0.675		
1201															0.035	0.023	0.410		
1211															0.034	0.022	0.415		
1221															0.034	0.018	0.660		
1231															0.034	0.016	0.605		
1241															0.033	0.026	0.900		
1251															0.115	0.027	0.470		
1261															0.148	0.023	0.350		
1271															0.081	0.025	0.330		
1281															0.071	0.066	0.340		
1291															0.051	0.052	0.485		
1301															0.053	0.051	0.445		
1311															0.039		0.380		
															0.065	0.066	0.710		

COUZE (PERCENT)			J.J. 1962			S.V. 12.05.1962			J.J. 1962		
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
11	0.340	0.110	0.099	0.290	0.017	0.011	.	.	.	0.003	.
12	0.265	0.100	0.255	0.345	0.017	0.010	.	.	.	0.002	.
13	0.225	0.090	0.160	0.145	0.015	0.003	.	.	.	0.001	.
14	0.195	0.080	0.175	0.120	0.002	0.006	.	.	.	0.001	.
15	0.190	0.071	0.140	0.100	0.039	0.005	.	.	.	0.012	.
16	1.555	0.062	0.115	0.091	0.026	0.005	.	.	.	0.054	.
17	2.120	0.056	0.110	0.082	0.030	0.003	.	.	.	0.075	.
18	0.585	0.060	0.125	0.074	0.028	0.003	.	.	.	0.036	.
19	0.330	0.055	0.105	0.068	0.027	0.002	.	.	.	0.040	.
101	0.305	0.050	0.155	0.050	0.024	0.002	.	.	.	0.026	.
111	0.250	0.048	0.130	0.054	0.021	0.003	.	.	.	0.027	.
121	0.195	0.045	0.135	0.050	0.019	0.003	.	.	.	0.051	.
131	0.150	0.050	0.135	0.048	0.018	0.003	.	.	.	0.524	.
141	0.130	0.053	0.110	0.045	0.015	0.003	.	.	.	0.432	.
151	0.120	0.048	0.110	0.041	0.014	0.004	.	.	.	0.262	.
161	0.120	0.535	0.135	0.041	0.013	0.003	.	.	.	0.168	.
171	0.100	0.395	0.505	0.038	0.013	0.003	.	.	.	0.170	.
181	0.088	0.220	0.280	0.034	0.016	0.002	.	.	.	0.141	.
191	0.080	0.165	0.270	0.034	0.014	0.002	.	.	.	0.113	.
201	0.080	0.135	0.260	0.031	0.011	0.002	.	.	.	0.094	.
211	0.076	0.120	0.220	0.029	0.011	0.002	.	.	.	0.081	.
221	0.089	0.110	0.175	0.027	0.009	0.002	.	.	.	0.100	.
231	0.090	0.105	0.145	0.023	0.014	0.002	.	.	.	0.231	.
241	0.079	0.092	0.125	0.022	0.014	0.002	.	.	.	0.272	.
251	0.070	0.088	0.115	0.020	0.013	0.002
261	0.120	0.076	0.100	0.020	0.012	0.002
271	0.215	0.076	0.093	0.020	0.011	0.002
281	0.130	0.100	0.085	0.020	0.011	0.002
291	0.120		0.077	0.018	0.010	0.002	.	.	.	0.019	.
301	0.145		0.074	0.018	0.010	0.002
311	0.125		0.073		0.009	
	0.282	0.115	0.156	0.067	0.017	0.003	0.000	0.000	0.001	.	.

LA COUZE (PERTE)

1982

Débits
 m^3/s

2.5

2

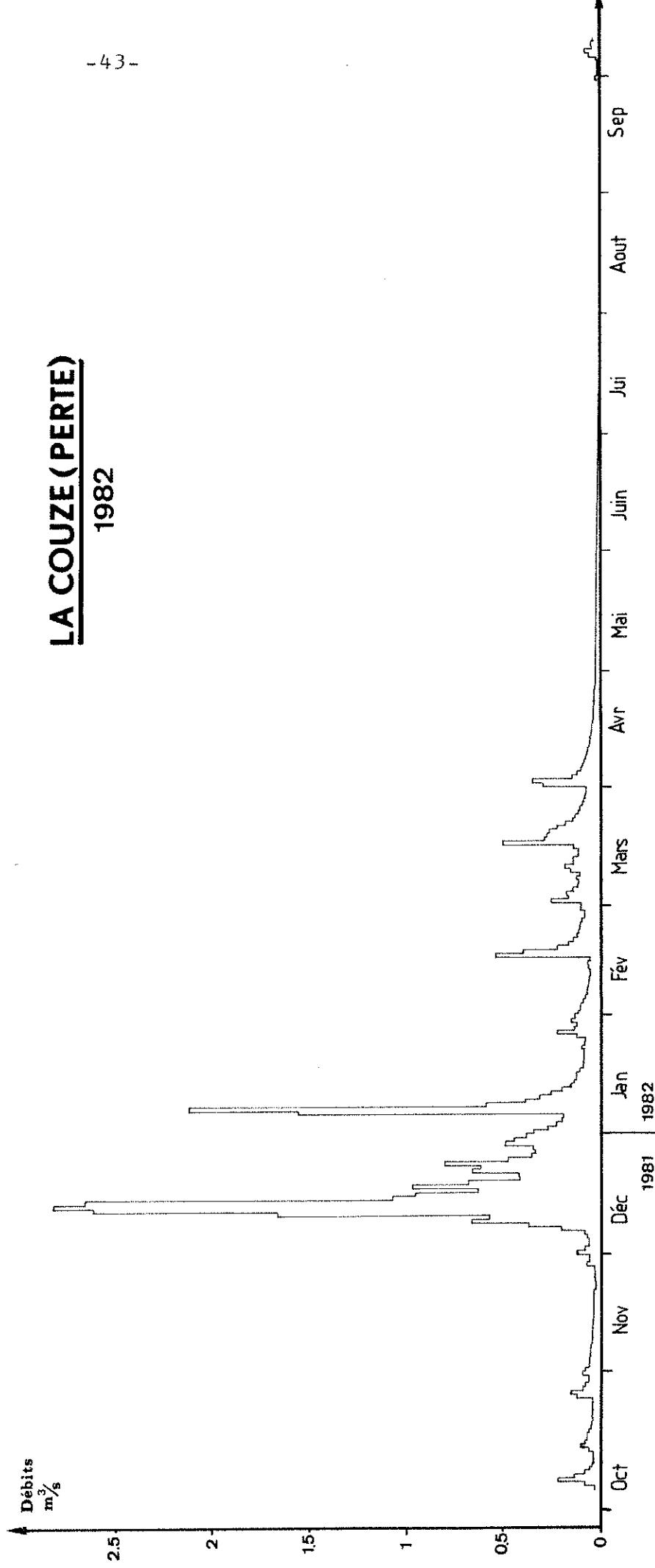
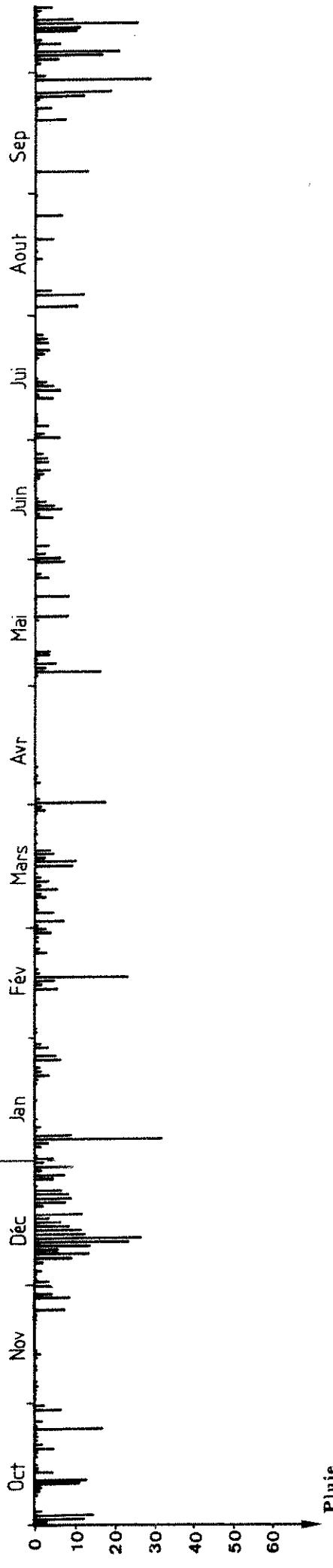
1

0.5

0

0

Pluie
mm



DEBITS DE LA COUZE AU SOULIER; ANNEES 1971 à 1980

LA COUZE	ANNEE: 1972												B.V.: 65.00 km ²					
!	J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	!	!	!	!	
1!	0.300!	0.810!	0.730!	0.480!	0.550!	0.270!	0.150!	0.140!	0.380!	0.160!	0.150!	0.500!	!	!	!	!	!	
2!	0.420!	0.810!	0.680!	0.480!	0.550!	0.260!	0.155!	0.140!	0.270!	0.160!	0.180!	0.500!	!	!	!	!	!	
3!	0.960!	0.990!	0.700!	0.480!	0.530!	0.260!	0.160!	0.130!	0.240!	0.160!	0.160!	0.500!	!	!	!	!	!	
4!	1.100!	1.070!	0.700!	0.480!	0.550!	0.240!	0.170!	0.140!	0.240!	0.160!	0.150!	0.500!	!	!	!	!	!	
5!	1.020!	0.960!	3.580!	0.900!	0.500!	0.240!	0.180!	0.140!	0.270!	0.160!	0.140!	0.550!	!	!	!	!	!	
6!	0.700!	0.780!	3.560!	0.930!	0.500!	0.240!	0.160!	0.140!	0.270!	0.155!	0.140!	0.600!	!	!	!	!	!	
7!	0.570!	0.780!	3.470!	0.780!	0.500!	0.240!	0.170!	0.140!	1.300!	0.150!	0.140!	0.930!	!	!	!	!	!	
8!	0.480!	1.520!	2.740!	0.730!	0.500!	0.240!	0.160!	0.140!	3.830!	0.150!	0.140!	2.570!	!	!	!	!	!	
9!	0.440!	1.210!	2.020!	0.680!	0.460!	0.230!	0.160!	0.200!	1.390!	0.150!	0.140!	3.180!	!	!	!	!	!	
10!	0.400!	0.990!	1.660!	0.650!	0.460!	0.230!	0.160!	0.190!	1.070!	0.160!	0.140!	1.590!	!	!	!	!	!	
11!	0.420!	2.690!	1.380!	1.240!	0.440!	0.220!	0.160!	0.200!	0.850!	0.180!	0.150!	1.170!	!	!	!	!	!	
12!	0.440!	4.550!	1.170!	2.140!	0.460!	0.220!	0.160!	0.240!	0.590!	0.160!	0.150!	0.990!	!	!	!	!	!	
13!	0.550!	4.150!	1.070!	1.450!	0.480!	0.220!	0.240!	0.530!	0.460!	0.150!	0.150!	0.810!	!	!	!	!	!	
14!	0.650!	3.470!	0.960!	1.310!	0.480!	0.220!	0.200!	0.530!	0.430!	0.150!	0.380!	0.750!	!	!	!	!	!	
15!	0.700!	2.340!	0.900!	1.490!	0.460!	0.220!	0.160!	3.080!	0.380!	0.150!	0.850!	0.700!	!	!	!	!	!	
16!	0.600!	1.820!	0.840!	1.280!	0.440!	0.220!	0.160!	0.990!	0.300!	0.150!	0.480!	0.650!	!	!	!	!	!	
17!	0.550!	2.450!	0.750!	1.100!	0.420!	0.210!	0.150!	0.530!	0.270!	0.140!	0.480!	0.550!	!	!	!	!	!	
18!	0.460!	3.180!	0.700!	0.990!	0.440!	0.200!	0.150!	0.340!	0.270!	0.140!	0.480!	0.500!	!	!	!	!	!	
19!	0.400!	2.100!	0.700!	0.930!	0.440!	0.200!	0.150!	0.300!	0.240!	0.140!	0.430!	0.500!	!	!	!	!	!	
20!	0.400!	2.020!	0.680!	0.840!	0.480!	0.200!	0.150!	0.240!	0.220!	0.140!	2.080!	0.460!	!	!	!	!	!	
21!	0.400!	2.260!	0.650!	0.810!	0.480!	0.190!	0.150!	0.230!	0.220!	0.140!	1.980!	0.460!	!	!	!	!	!	
22!	0.400!	2.060!	0.650!	0.750!	0.500!	0.200!	0.150!	0.220!	0.220!	0.140!	2.480!	0.420!	!	!	!	!	!	
23!	0.400!	1.660!	0.620!	0.730!	1.730!	0.190!	0.150!	0.200!	0.200!	0.140!	1.590!	0.380!	!	!	!	!	!	
24!	0.400!	1.380!	0.580!	0.700!	0.920!	0.200!	0.150!	0.200!	0.200!	0.140!	1.100!	0.380!	!	!	!	!	!	
25!	0.380!	1.170!	0.500!	0.680!	0.560!	0.200!	0.140!	0.200!	0.200!	0.130!	0.870!	0.380!	!	!	!	!	!	
26!	0.480!	1.020!	0.550!	0.620!	0.430!	0.190!	0.140!	0.180!	0.180!	0.140!	0.750!	0.380!	!	!	!	!	!	
27!	2.280!	0.960!	0.550!	0.600!	0.360!	0.190!	0.145!	0.180!	0.180!	0.150!	0.650!	0.340!	!	!	!	!	!	
28!	1.860!	0.870!	0.500!	0.600!	0.340!	0.190!	0.145!	0.200!	0.180!	0.180!	0.600!	0.550!	!	!	!	!	!	
29!	1.340!	0.750!	0.500!	0.580!	0.300!	0.190!	0.140!	0.180!	0.180!	0.160!	0.550!	0.550!	!	!	!	!	!	
30!	1.040!	!	0.500!	0.580!	0.280!	0.190!	0.150!	0.240!	0.160!	0.150!	0.550!	0.500!	!	!	!	!	!	
31!	0.810!	!	0.500!	!	0.280!	!	0.140!	0.270!	!	0.150!	!	0.500!	!	!	!	!	!	

LA COUZE			ANNEE: 1976						B.V.: 65.00km ²						Q m ³ /s	
!	J	F	! M	! A	! M	! J	! J	! J	! A	! S	! O	! N	! D	!	!	!
11	0.228	0.277	0.366	0.375	0.204	0.220	0.139	0.092	0.168	0.650	1.500	6.600				
21	0.207	0.265	0.353	0.350	0.204	0.220	0.113	0.092	0.141	0.484	1.240	13.100				
31	0.213	0.252	0.323	0.314	0.204	0.208	0.100	0.093	0.114	0.213	5.950	12.100				
41	0.216	0.240	0.293	0.292	0.204	0.189	0.111	0.097	0.100	0.720	5.850	8.300				
51	0.216	0.231	0.282	0.292	0.204	0.180	0.128	0.100	0.100	1.480	2.400	5.150				
61	0.210	0.222	0.301	0.292	0.211	0.180	0.140	0.100	0.100	0.675	1.780	3.930				
71	0.196	0.216	0.313	0.292	0.233	0.180	0.140	0.100	0.100	0.464	2.110	6.050				
81	0.192	0.216	0.290	0.285	0.248	0.180	0.140	0.100	0.100	0.391	1.750	6.150				
91	0.192	0.216	0.270	0.263	0.248	0.174	0.140	0.100	0.110	0.349	1.470	3.950				
101	0.192	0.226	0.252	0.248	0.298	0.149	0.140	0.100	0.151	0.324	5.150	2.980				
111	0.192	0.257	0.240	0.248	0.665	0.140	0.140	0.100	0.179	0.337	4.180	2.370				
121	0.192	0.715	0.240	0.248	0.685	0.140	0.140	0.100	0.246	1.730	3.610	2.000				
131	0.192	4.690	0.267	0.248	0.468	0.140	0.140	0.100	0.327	1.630	3.820	1.690				
141	0.192	3.610	0.302	0.248	0.393	0.145	0.140	0.100	0.246	1.310	2.620	1.490				
151	0.192	1.770	0.293	0.248	0.326	0.198	0.132	0.100	0.500	1.040	1.930	1.340				
161	0.192	1.220	0.311	0.248	0.282	0.179	0.109	0.100	0.491	1.270	1.530	1.220				
171	0.202	0.930	0.324	0.248	0.261	0.163	0.137	0.100	0.328	0.965	1.300	1.110				
181	0.216	0.855	0.324	0.248	0.260	0.143	0.171	0.100	0.260	1.540	1.150	1.070				
191	0.216	0.750	0.324	0.244	0.260	0.152	0.149	0.100	0.220	5.500	1.030	1.010				
201	0.216	0.665	0.297	0.229	0.259	0.171	0.126	0.100	0.205	4.730	0.930	0.930				
211	0.216	0.605	0.282	0.213	0.239	0.153	0.106	0.100	0.180	2.320	0.850	0.875				
221	0.215	0.570	0.332	0.217	0.220	0.147	0.100	0.107	0.180	1.410	0.770	0.800				
231	0.204	0.535	0.760	0.237	0.220	0.168	0.100	0.130	0.180	1.090	0.700	0.750				
241	0.343	0.500	1.150	0.217	0.220	0.180	0.100	0.140	0.154	0.930	0.645	0.735				
251	0.408	0.463	0.810	0.235	0.220	0.180	0.100	0.131	0.101	1.340	0.610	0.705				
261	0.373	0.429	0.630	0.192	0.220	0.180	0.100	0.107	0.100	2.430	0.590	0.655				
271	0.320	0.408	0.497	0.170	0.220	0.180	0.100	0.100	0.100	1.640	0.590	0.625				
281	0.303	0.390	0.436	0.197	0.220	0.180	0.100	0.092	0.349	1.230	0.570	0.600				
291	0.288	0.366	0.414	0.204	0.220	0.177	0.100	0.094	0.248	1.020	0.530	0.560				
301	0.302		0.380	0.204	0.220	0.159	0.100	0.125	0.192	1.090	0.565	0.540				
311	0.309		0.380		0.220		0.097	0.160		1.590		0.540				
	0.237	0.763	0.388	0.252	0.276	0.172	0.122	0.105	0.199	1.351	1.924	2.901				

LA COUZE	ANNEE: 1977												B.V. : 65.00km ²	Q m ³ /s
!	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	!	
1	2.110!	2.040!	1.240!	1.290!	0.495!	0.865!	0.915!	0.334!	0.302!	0.176!	0.315!	0.446!	!	
2	1.680!	1.630!	1.160!	1.460!	0.610!	0.805!	0.860!	0.323!	0.295!	0.176!	0.314!	0.423!	!	
3	1.250!	1.610!	1.100!	2.230!	1.730!	0.750!	0.835!	0.310!	0.288!	0.183!	0.305!	0.411!	!	
4	1.060!	3.810!	1.040!	1.870!	3.850!	0.700!	0.790!	0.296!	0.285!	0.190!	0.295!	0.410!	!	
5	0.930!	3.640!	1.000!	1.570!	3.730!	0.690!	0.750!	0.287!	0.280!	0.198!	0.263!	0.399!	!	
6	0.830!	2.560!	0.995!	1.400!	1.910!	0.680!	0.710!	0.287!	0.276!	0.247!	0.259!	1.410!	!	
7	0.770!	2.080!	0.935!	1.300!	1.430!	0.670!	0.670!	0.287!	0.272!	1.460!	0.259!	1.640!	!	
8	0.715!	1.890!	0.860!	1.210!	1.220!	0.660!	0.635!	0.287!	0.268!	0.575!	0.259!	1.100!	!	
9	0.710!	3.060!	0.800!	1.130!	1.090!	0.880!	0.600!	0.287!	0.263!	0.510!	0.252!	1.140!	!	
10	0.730!	10.500!	0.800!	1.070!	0.985!	9.750!	0.575!	0.284!	0.260!	1.130!	0.229!	1.020!	!	
11	0.765!	7.850!	0.815!	0.975!	0.945!	3.820!	0.525!	0.275!	0.259!	0.680!	0.231!	0.870!	!	
12	0.815!	4.290!	0.755!	0.930!	0.905!	2.030!	0.715!	0.266!	0.259!	0.500!	0.234!	0.775!	!	
13	0.895!	3.140!	1.120!	0.895!	0.850!	1.530!	0.625!	0.259!	0.259!	0.428!	0.285!	0.860!	!	
14	1.110!	2.630!	1.560!	0.840!	0.790!	2.330!	0.580!	0.264!	0.252!	0.387!	0.555!	0.870!	!	
15	1.250!	2.350!	1.230!	0.785!	0.920!	9.100!	0.535!	0.273!	0.244!	0.339!	1.140!	0.800!	!	
16	1.180!	2.820!	1.080!	0.750!	0.955!	3.640!	0.486!	0.281!	0.235!	0.299!	1.560!	0.715!	!	
17	1.070!	3.690!	0.945!	0.745!	0.955!	2.280!	0.437!	0.464!	0.250!	0.276!	1.230!	0.630!	!	
18	1.020!	3.340!	0.880!	0.745!	0.885!	2.180!	0.452!	0.655!	0.254!	0.260!	1.040!	0.615!	!	
19	1.170!	2.600!	0.885!	0.725!	1.440!	1.930!	0.434!	0.560!	0.249!	0.260!	0.795!	0.560!	!	
20	1.300!	2.500!	1.400!	0.700!	1.850!	1.620!	0.416!	0.585!	0.244!	0.287!	0.705!	0.510!	!	
21	1.210!	3.540!	2.160!	0.680!	2.810!	1.410!	0.400!	0.725!	0.239!	0.259!	0.680!	0.495!	!	
22	2.780!	2.900!	3.760!	0.660!	1.850!	1.290!	0.388!	0.575!	0.234!	0.214!	0.575!	0.488!	!	
23	2.660!	2.420!	2.860!	0.625!	1.690!	1.430!	0.387!	0.685!	0.239!	0.740!	0.525!	0.473!	!	
24	1.880!	2.080!	8.950!	0.595!	1.660!	1.900!	0.387!	0.520!	0.251!	0.630!	0.510!	0.466!	!	
25	1.730!	1.800!	3.660!	0.595!	1.360!	1.510!	0.387!	0.439!	0.227!	0.535!	0.985!	0.459!	!	
26	4.090!	1.610!	2.380!	0.595!	1.200!	1.350!	0.387!	0.484!	0.218!	0.570!	0.970!	0.459!	!	
27	3.300!	1.480!	2.000!	0.585!	1.220!	1.210!	0.387!	0.442!	0.210!	0.460!	0.800!	0.560!	!	
28	2.210!	1.360!	2.030!	0.555!	1.240!	1.100!	0.382!	0.399!	0.201!	0.393!	0.650!	1.920!	!	
29	1.830!	1.860!	0.525!	1.120!	1.030!	0.365!	0.358!	0.192!	0.309!	0.545!	1.890!	!		
30	1.990!	1.590!	0.498!	1.020!	0.975!	0.352!	0.380!	0.183!	0.315!	0.482!	1.200!	!		
31	2.860!	1.400!	0.935!	0.346!	0.310!	0.326!	0.310!	0.326!	0.326!	0.326!	1.000!	!		
	1.545	3.044	1.718	0.951	1.408	2.004	0.539	0.393	0.250	0.429	0.575	0.807		

LA COUZE	ANNEE: 1978												B.V. : 65.00km ²	Q m ³ /s
!	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	!	
1	0.930!	5.050!	1.500!	3.390!	2.160!	0.665!	0.351!	0.321!	0.224!	0.198!	0.145!	0.126!	!	
2	0.835!	5.600!	1.390!	3.020!	1.530!	0.625!	0.351!	0.281!	0.203!	0.186!	0.145!	0.130!	!	
3	0.865!	3.050!	2.510!	2.480!	1.320!	0.595!	0.351!	0.263!	0.203!	0.166!	0.145!	0.130!	!	
4	0.800!	2.380!	5.100!	2.080!	1.190!	0.590!	0.348!	0.245!	0.203!	0.175!	0.156!	0.127!	!	
5	0.780!	2.680!	2.650!	1.840!	1.080!	0.575!	0.330!	0.232!	0.214!	0.175!	0.145!	0.118!	!	
6	0.735!	2.850!	1.970!	1.620!	1.040!	0.560!	0.315!	0.247!	0.199!	0.175!	0.145!	0.125!	!	
7	0.700!	2.380!	1.690!	1.460!	0.985!	0.550!	0.315!	0.280!	0.228!	0.163!	0.145!	0.124!	!	
8	0.665!	2.010!	1.490!	1.360!	1.280!	0.530!	0.315!	0.286!	0.285!	0.164!	0.144!	0.124!	!	
9	0.630!	1.740!	1.340!	1.270!	1.420!	0.510!	0.315!	0.274!	0.260!	0.170!	0.136!	0.130!	!	
10	0.600!	1.600!	1.210!	1.190!	1.260!	0.484!	0.315!	0.258!	0.225!	0.172!	0.135!	0.137!	!	
11	0.985!	1.530!	1.130!	1.120!	1.080!	0.459!	0.306!	0.243!	0.217!	0.164!	0.109!	0.122!	!	
12	1.720!	1.430!	1.090!	1.060!	1.000!	0.459!	0.285!	0.232!	0.208!	0.160!	0.130!	0.134!	!	
13	1.420!	1.330!	1.040!	1.020!	0.980!	0.446!	0.274!	0.231!	0.200!	0.160!	0.130!	0.151!	!	
14	1.150!	1.260!	1.000!	0.985!	0.930!	0.435!	0.265!	0.231!	0.191!	0.160!	0.130!	0.334!	!	
15	1.010!	1.230!	1.070!	0.925!	0.895!	0.447!	0.271!	0.231!	0.183!	0.160!	0.138!	0.765!	!	
16	0.930!	4.910!	1.710!	0.835!	0.860!	0.467!	0.287!	0.231!	0.176!	0.160!	0.154!	0.463!	!	
17	0.855!	5.050!	2.860!	0.815!	0.815!	0.477!	0.287!	0.231!	0.175!	0.159!	0.146!	0.324!	!	
18	0.815!	3.810!	2.690!	0.845!	1.400!	0.444!	0.287!	0.231!	0.175!	0.149!	0.150!	0.278!	!	
19	0.950!	2.760!	1.820!	1.000!	1.880!	0.422!	0.287!	0.231!	0.175!	0.151!	0.140!	0.248!	!	
20	2.330!	3.370!	1.700!	1.180!	1.410!	0.412!	0.287!	0.231!	0.221!	0.202!	0.155!	0.221!	!	
21	2.670!	3.580!	2.600!	1.160!	1.590!	0.402!	0.287!	0.300!	0.195!	0.162!	0.143!	0.297!	!	
22	2.050!	2.490!	2.250!	1.070!	1.950!	0.393!	0.287!	0.228!	0.184!	0.160!	0.151!	0.555!	!	
23	1.770!	2.110!	2.040!	1.020!	1.560!	0.387!	0.287!	0.214!	0.176!	0.160!	0.167!	0.466!	!	
24	5.700!	1.820!	2.750!	0.970!	1.370!	0.387!	0.287!	0.204!	0.183!	0.160!	0.155!	0.670!	!	
25	5.000!	1.710!	3.400!	0.985!	1.180!	0.387!	0.285!	0.203!	0.202!	0.126!	0.145!	1.090!	!	
26	3.240!	2.010!	2.930!	1.110!	1.050!	0.387!	0.264!	0.203!	0.203!	0.159!	0.139!	0.545!	!	
27	2.950!	1.870!	2.710!	1.440!	0.920!	0.387!	0.270!	0.217!	0.195!	0.143!	0.130!	0.418!	!	
28	4.160!	1.670!	2.330!	1.350!	0.785!	0.373!	0.280!	0.228!	0.178!	0.145!	0.130!	0.321!	!	
29	4.350!	2.020!	1.260!	0.765!	0.352!	0.276!	0.222!	0.167!	0.120!	0.123!	0.375!	!		
30	3.000!	6.050!	1.810!	0.740!	0.351!	0.270!	0.216!	0.166!	0.130!	0.119!	1.310!	!		
31	2.200!	5.100!	1.070!	0.705!	0.343!	0.210!	0.137!	0.137!	0.137!	0.137!	2.630!	!		
	1.832	2.617	2.295	1.389	1.198	0.465	0.299	0.240	0.200	0.160	0.141	0.419		

ANNEXE IV

ANALYSE DES COURBES DE RECESSION

LA COUZE AU SOULIER

LE BLAGOUR AU SOULIER

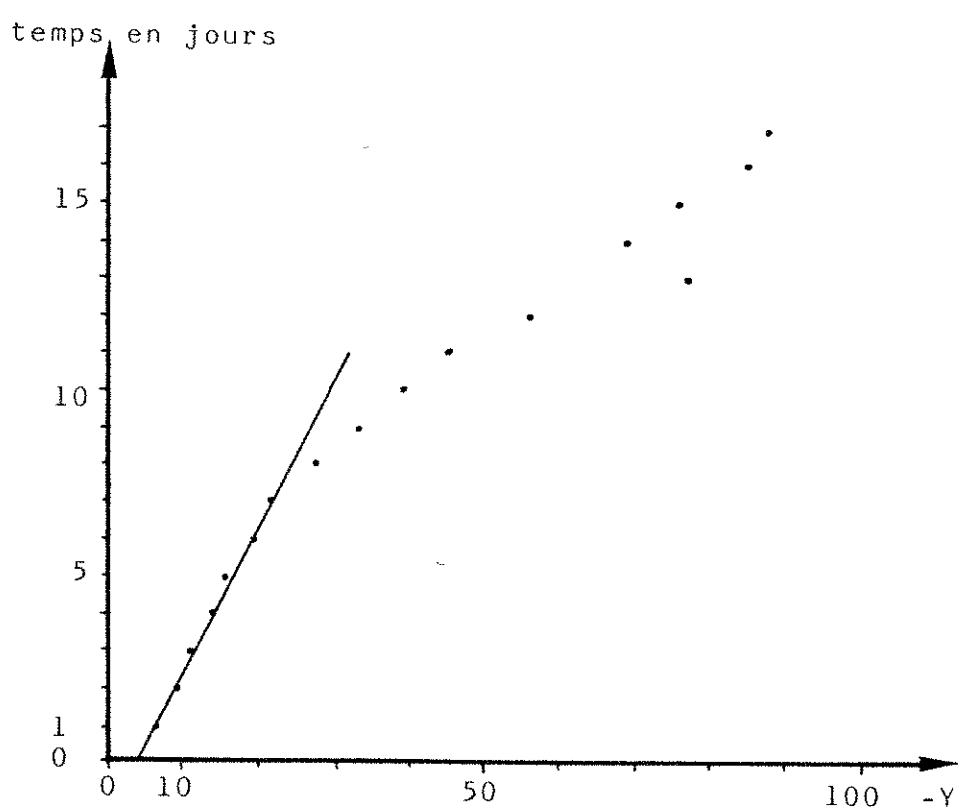
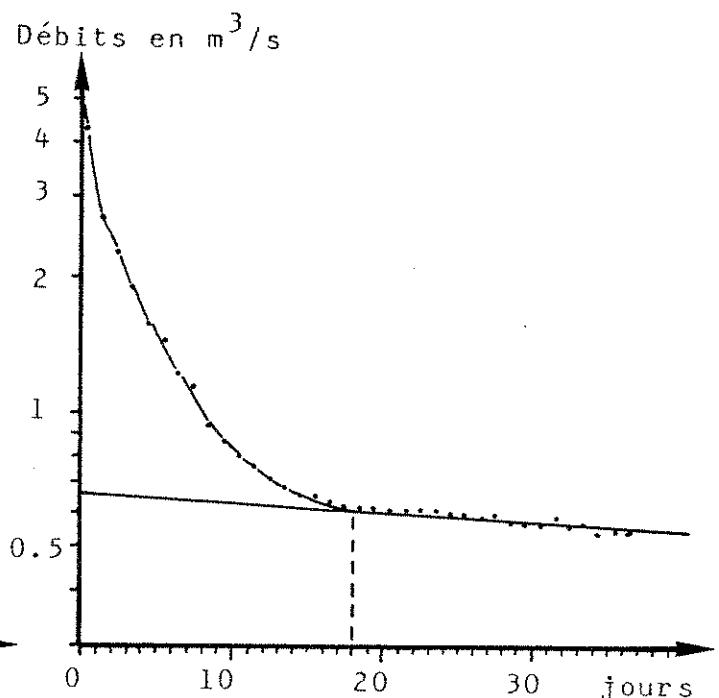
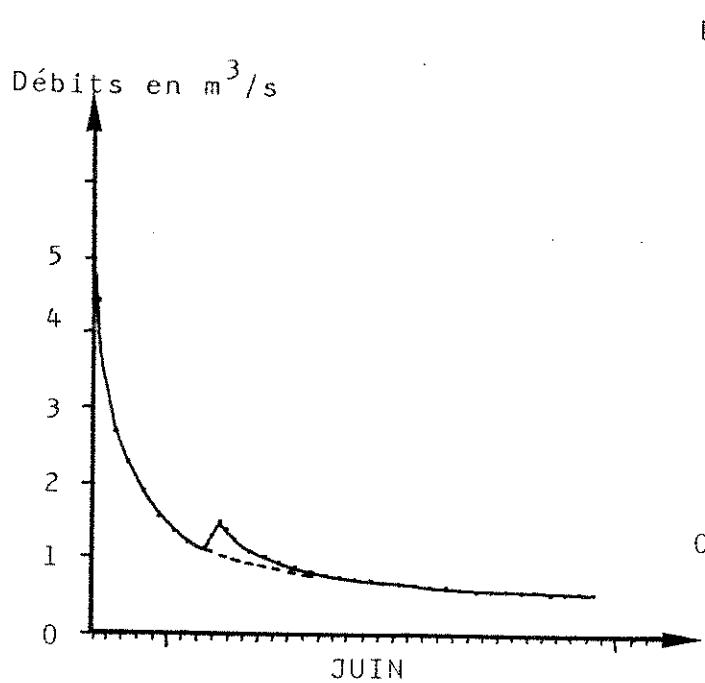
LE SORPT A ROZIER

LA COUZE AU SOULIER

Crue du 27-05-81

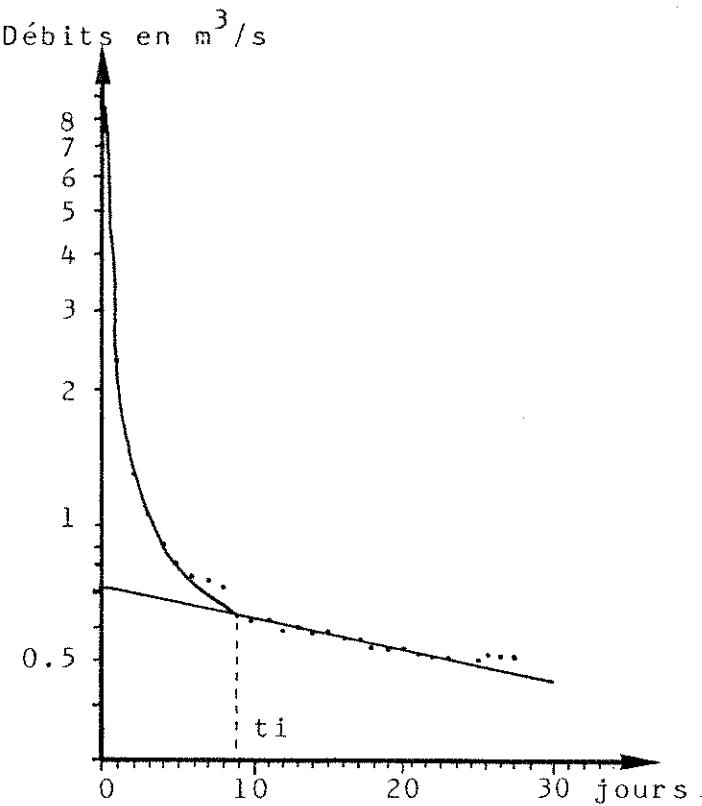
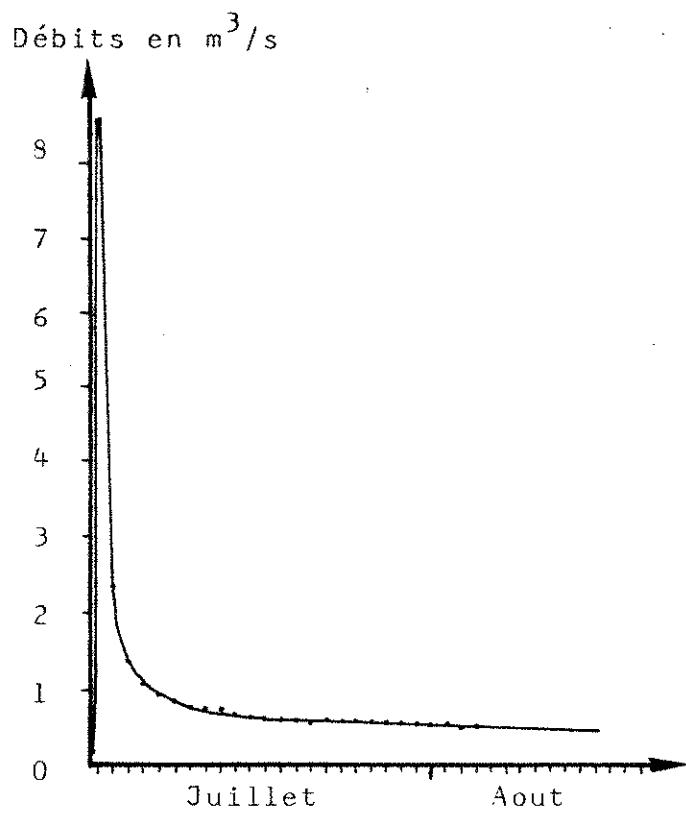
Crue du 10-07-81

Crue du 02-04-82



LA COUZE AU SOULIER

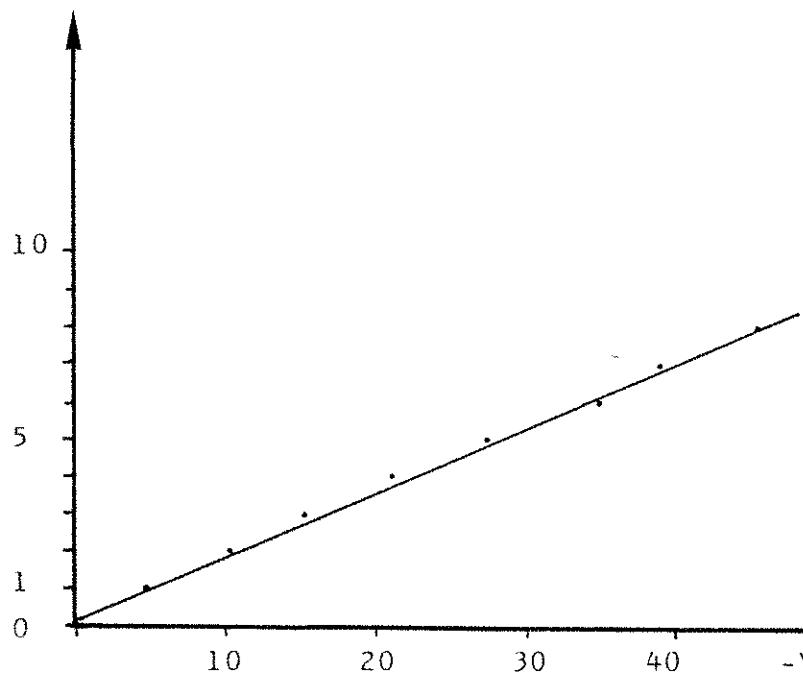
Crue du 27-5-81



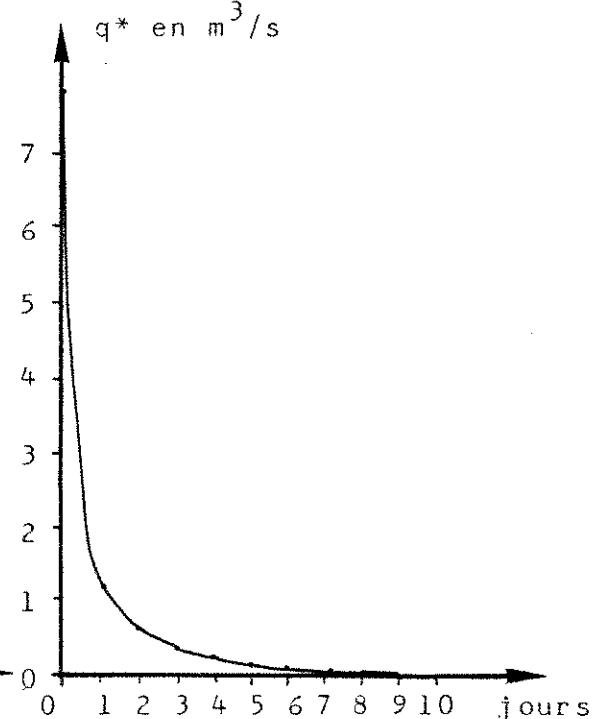
LA COUZE AU SOULIER

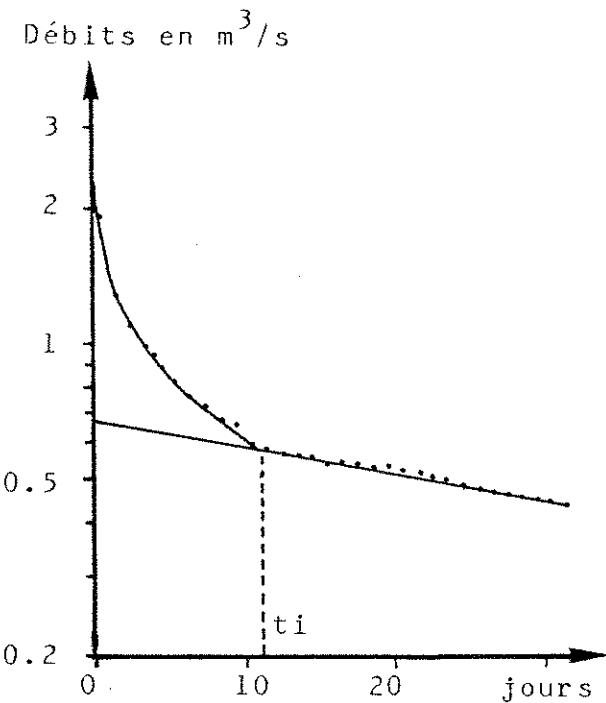
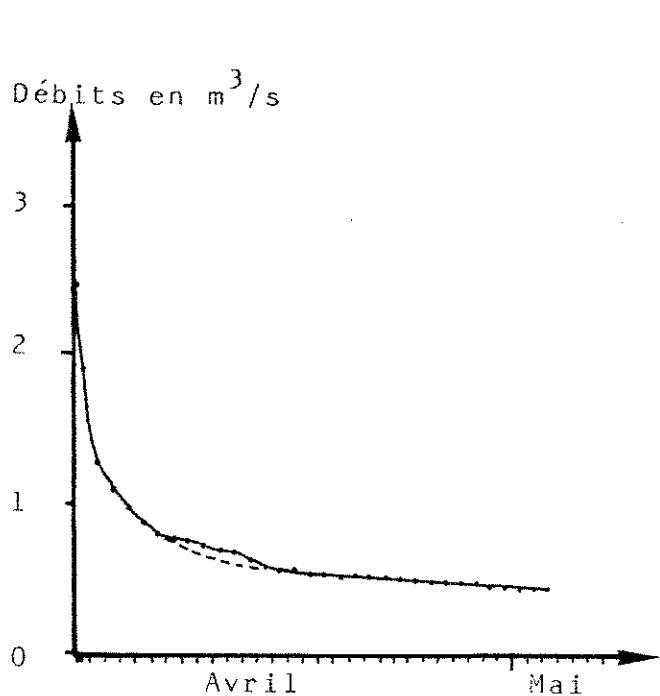
Crue du 10-07-81

temps en jours

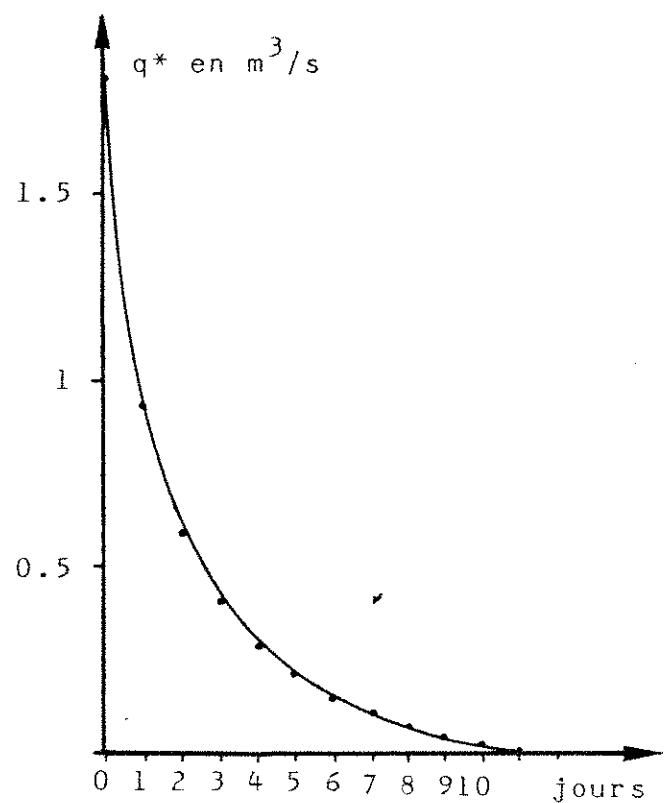
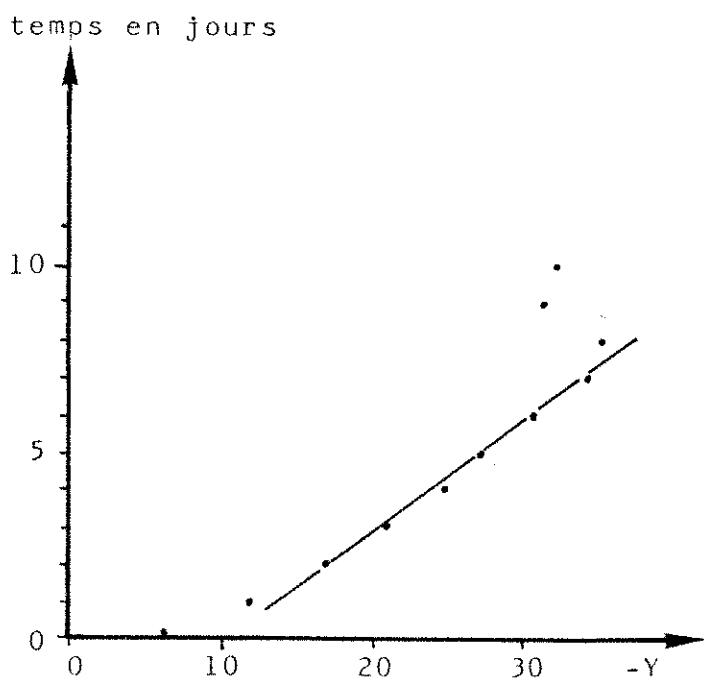


q^* en m^3/s





LA COUZE AU SOULIER
Crue du 2-04-82

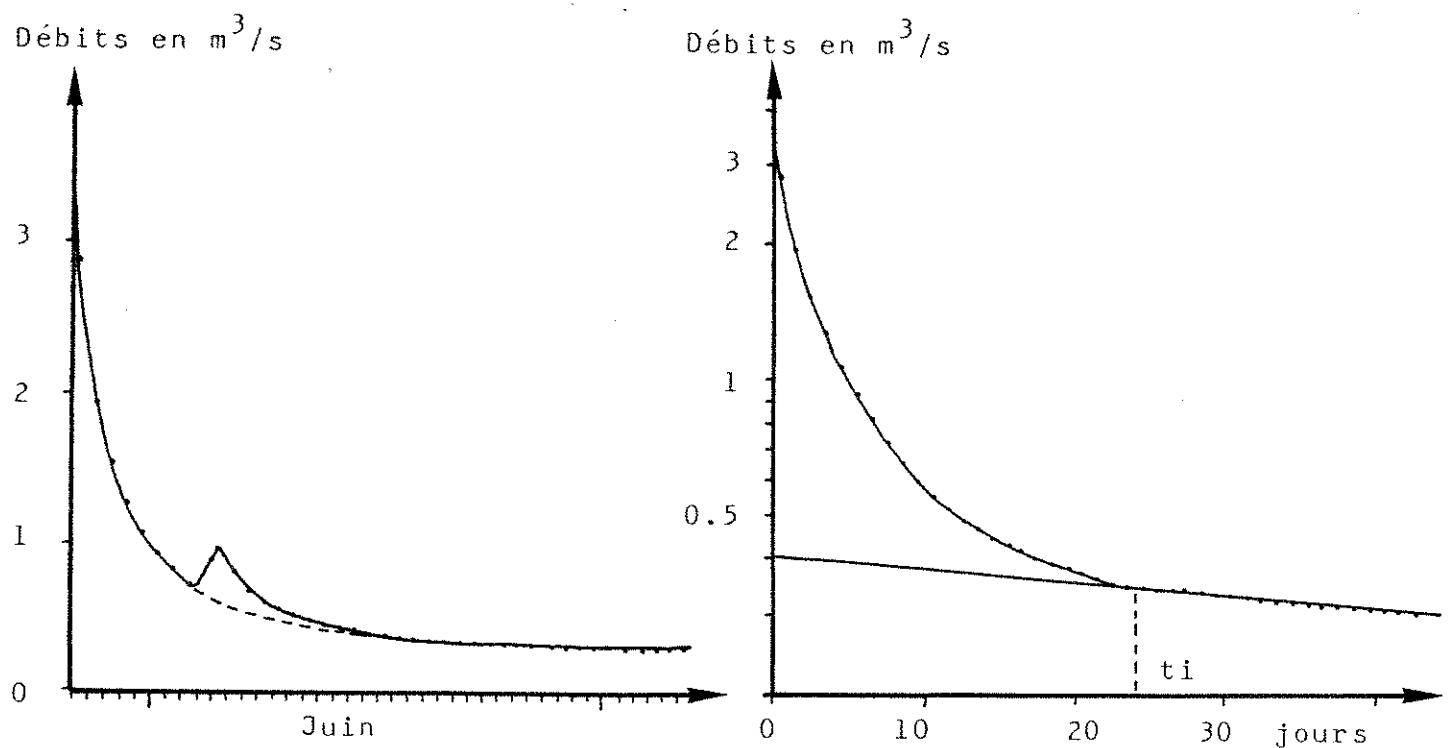


LE BLAGOUR AU SOULIER

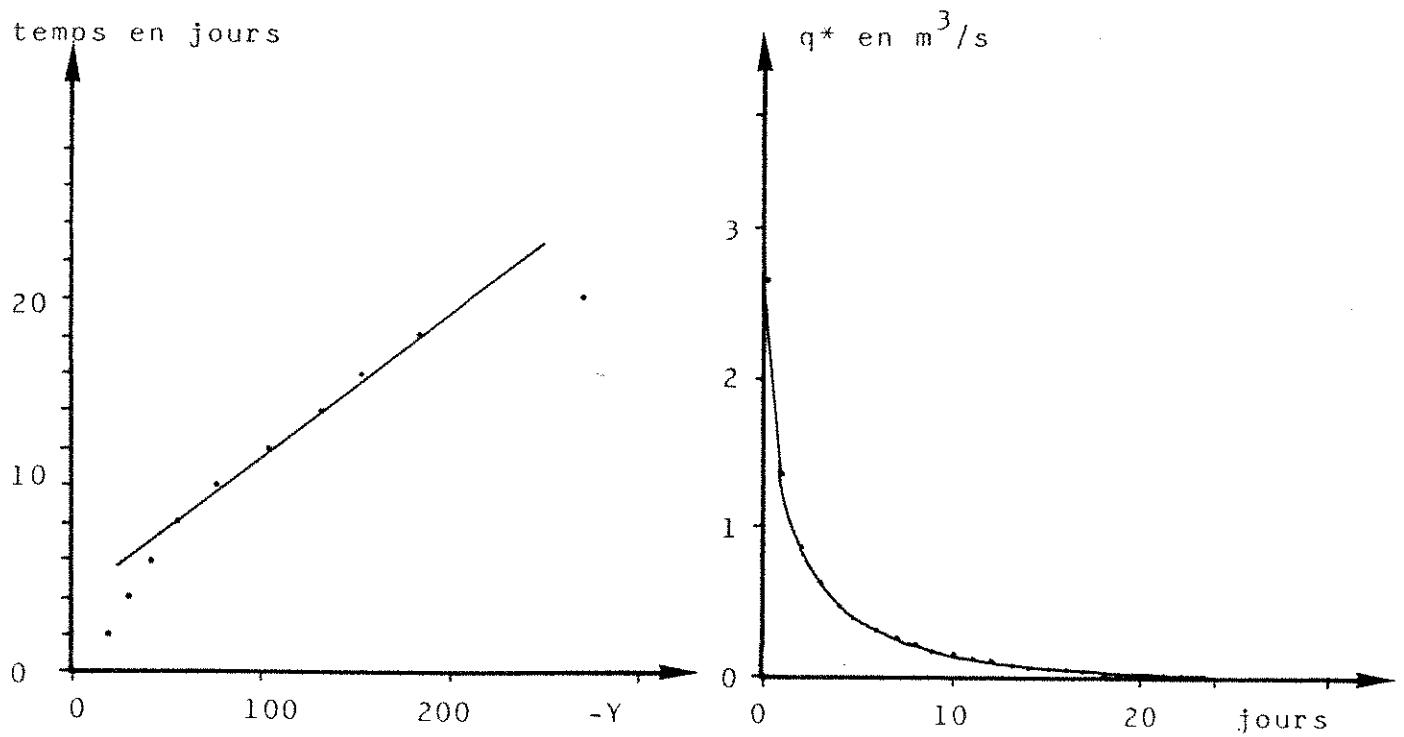
Crue du 27-05-81

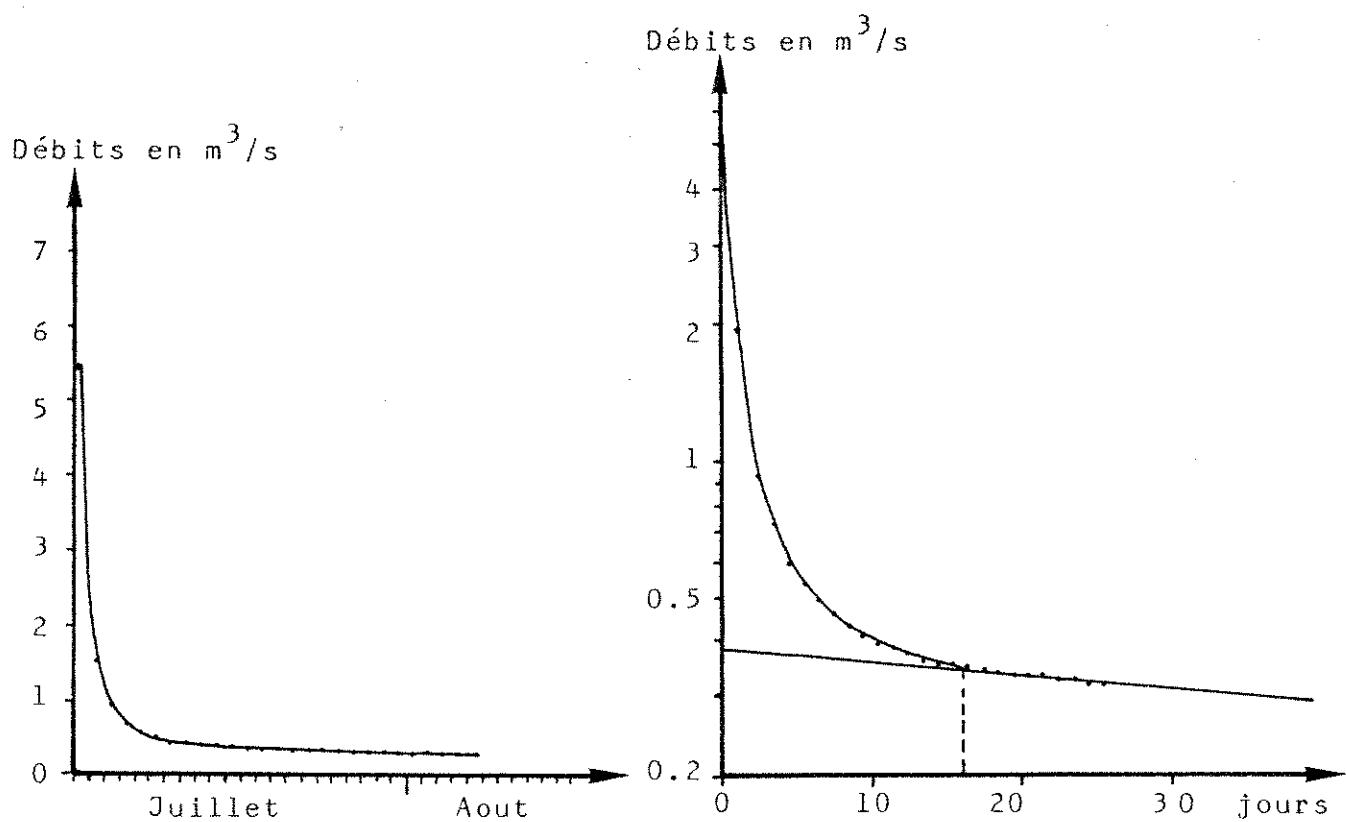
Crue du 10-07-81

Crue du 02-04-82

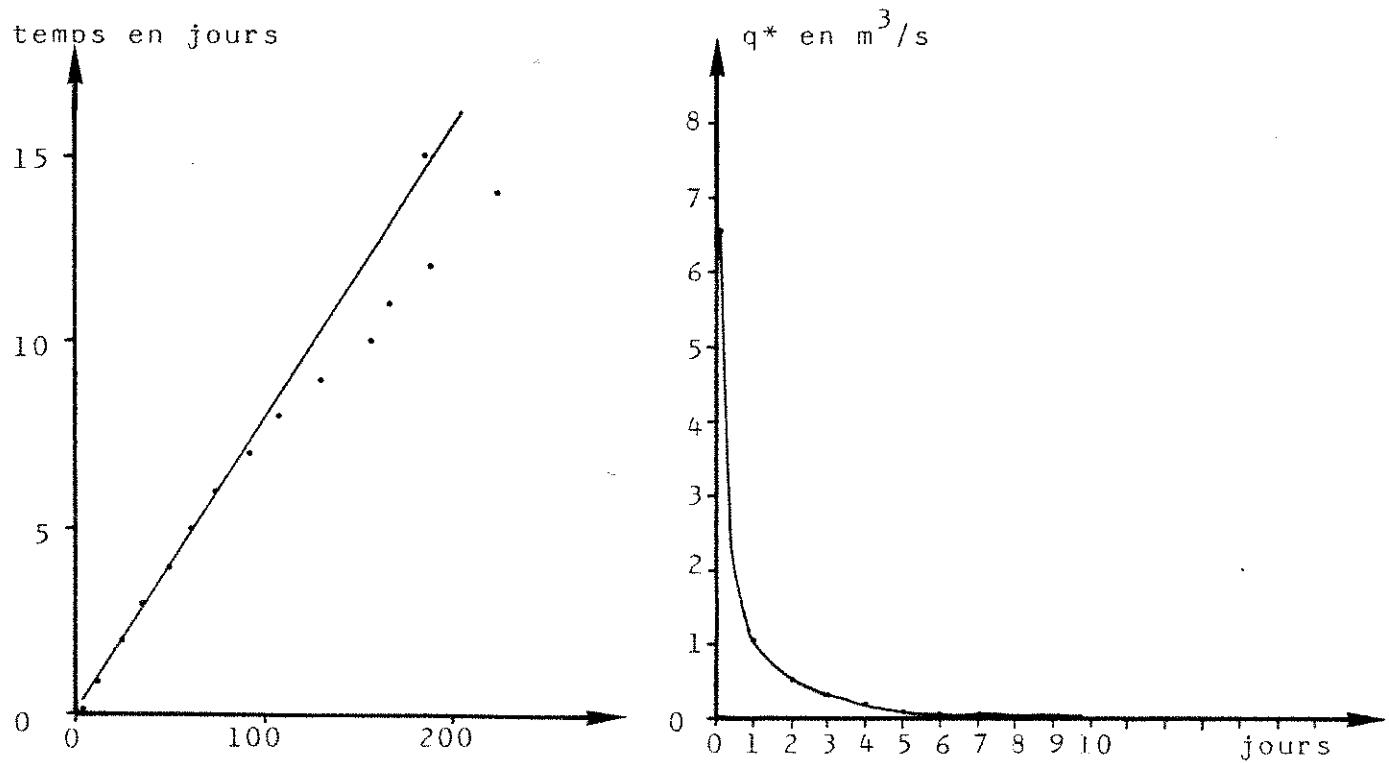


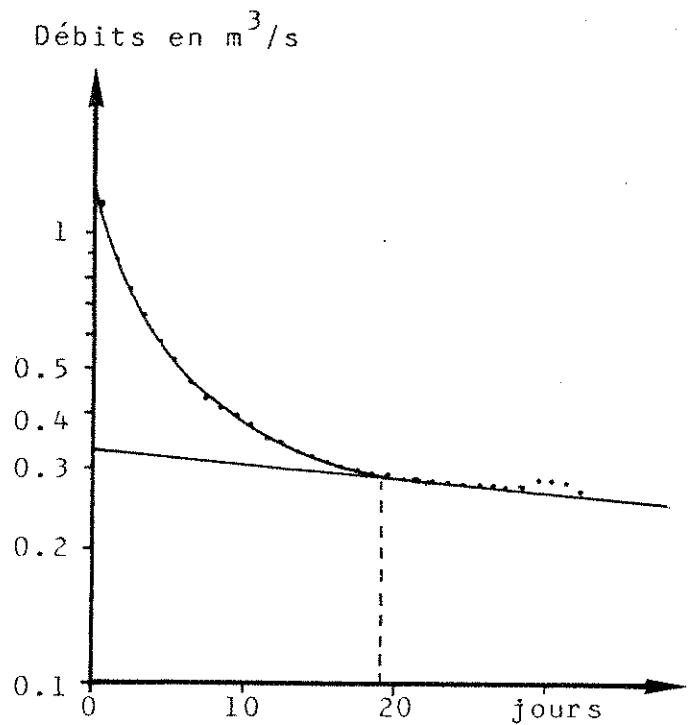
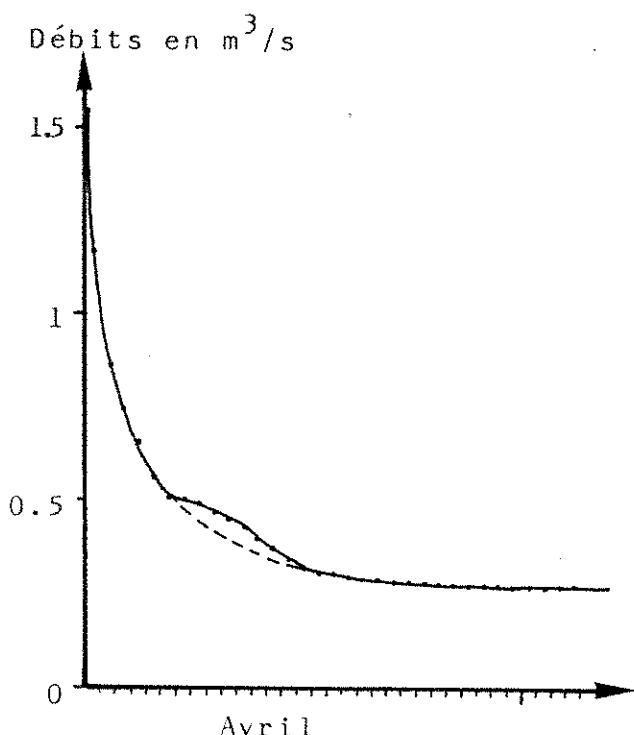
BLAGOUR AU SOULIER
Crue du 27-05-81



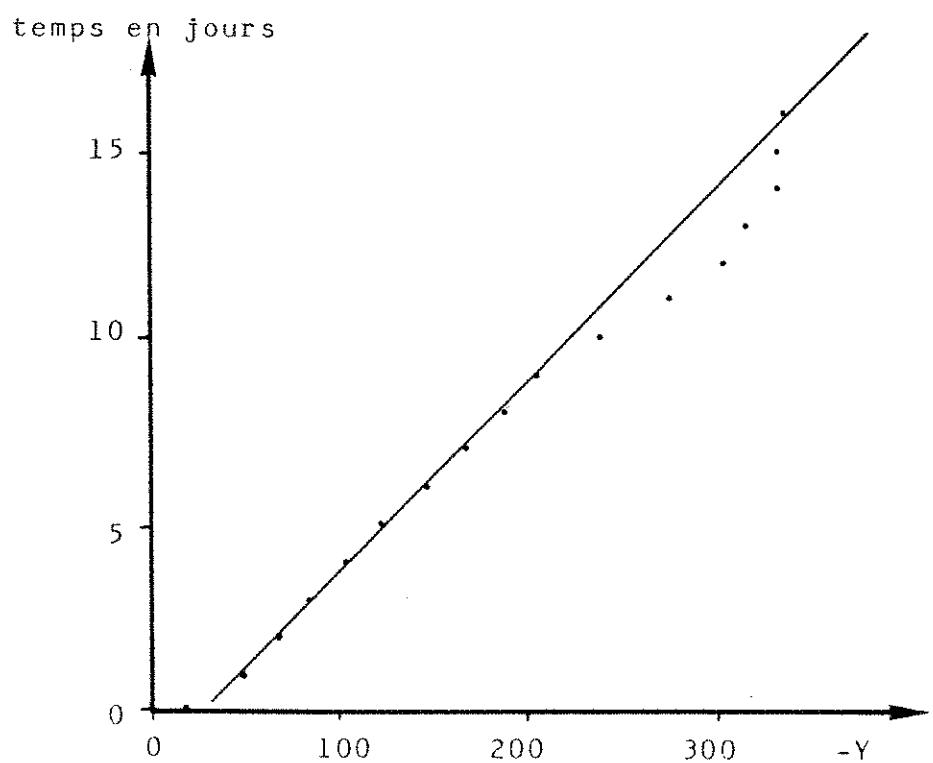


LE BLAGOUR AU SOULIER





BLAGOÛR AU SOULIER
Crue du 2-04-82



LE SORPT A ROZIERS

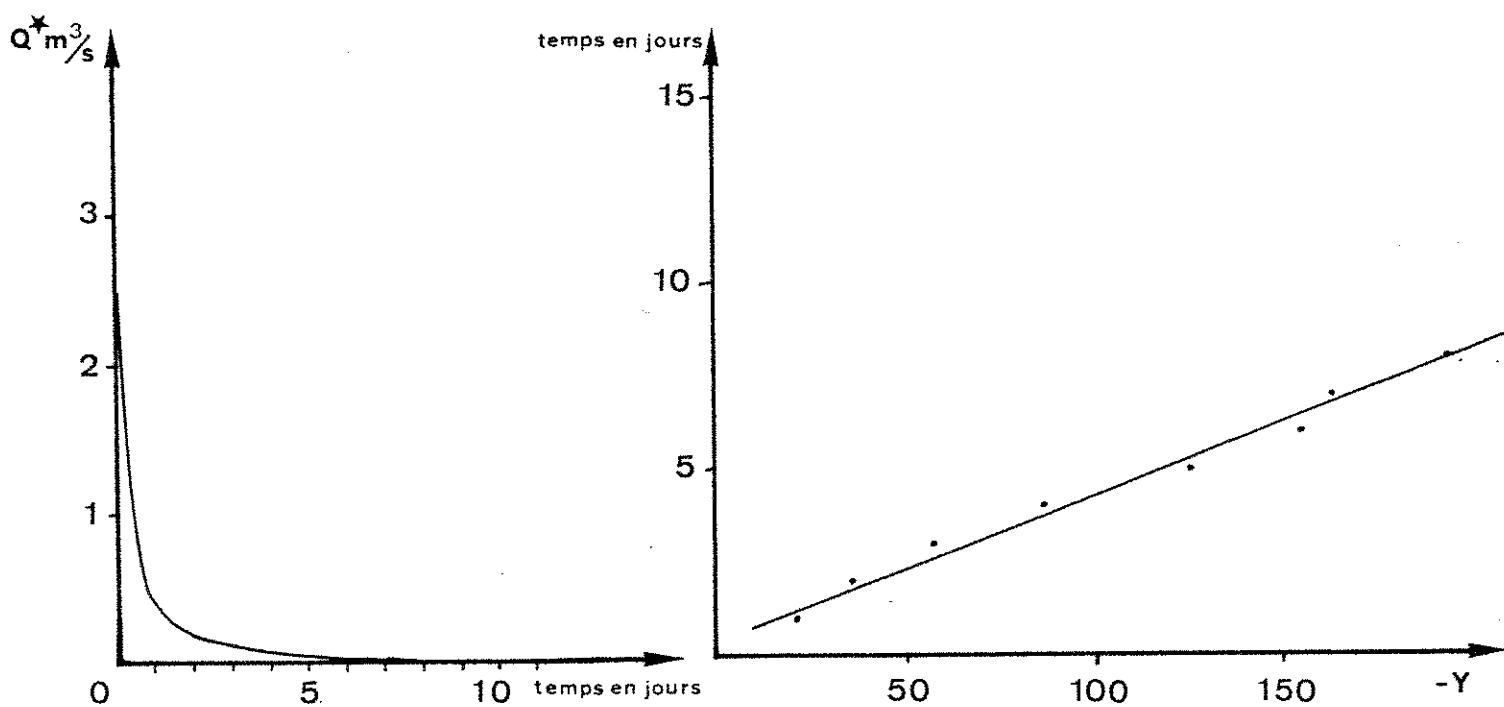
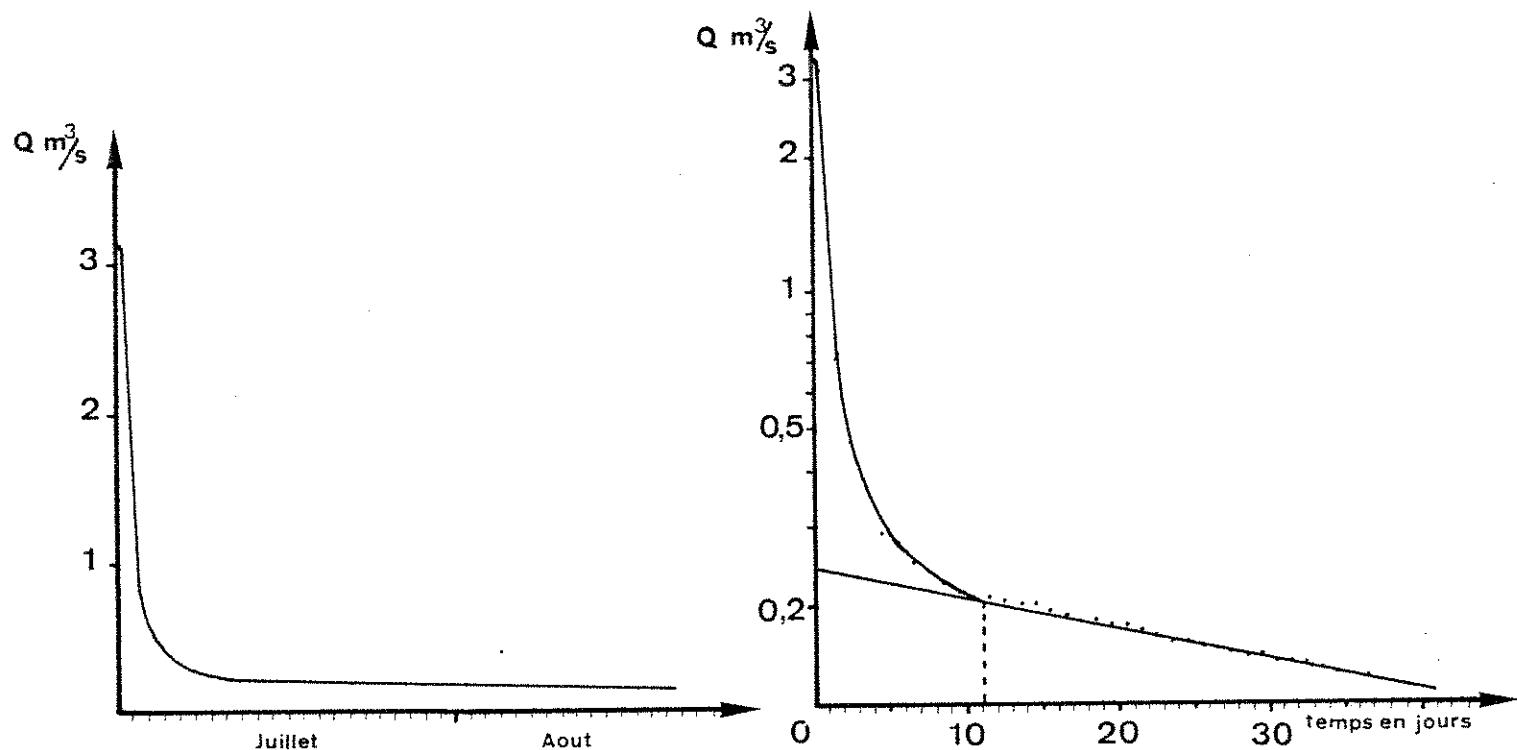
Crue du 10-07-81

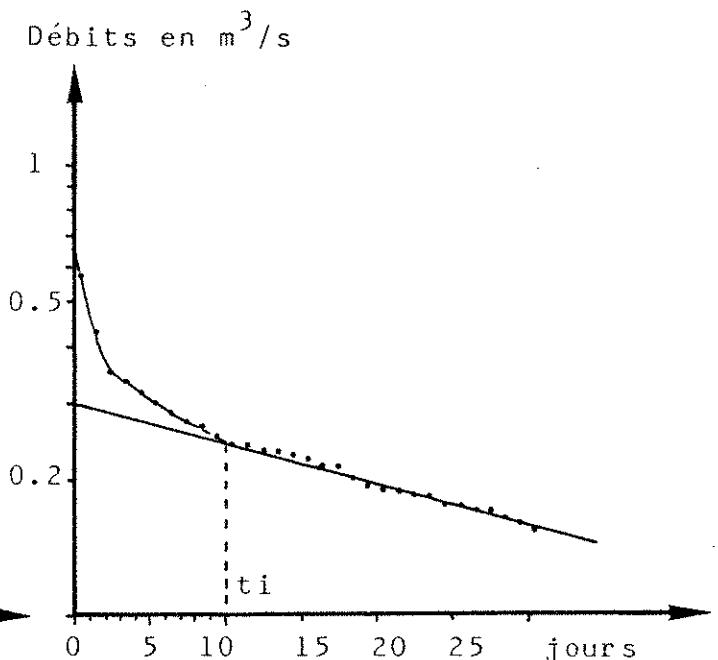
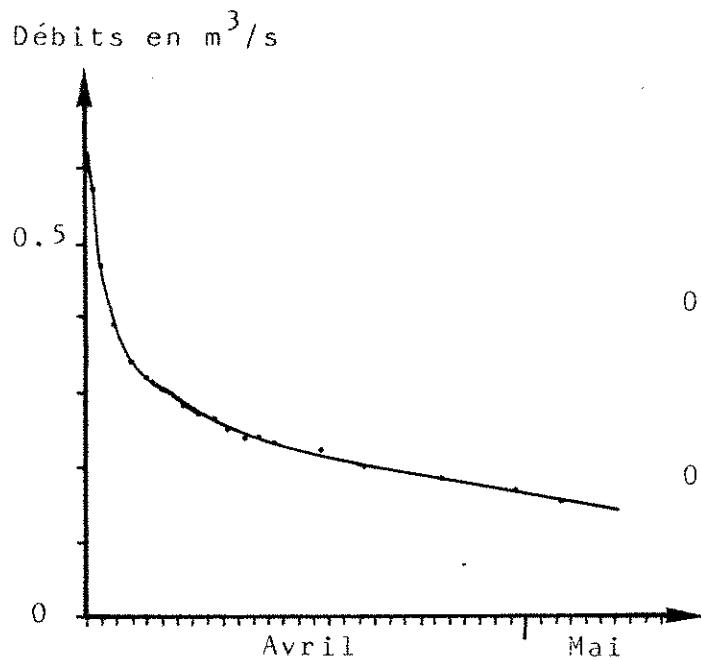
Crue du 02-04-82

RESURGENCE DU SORPT

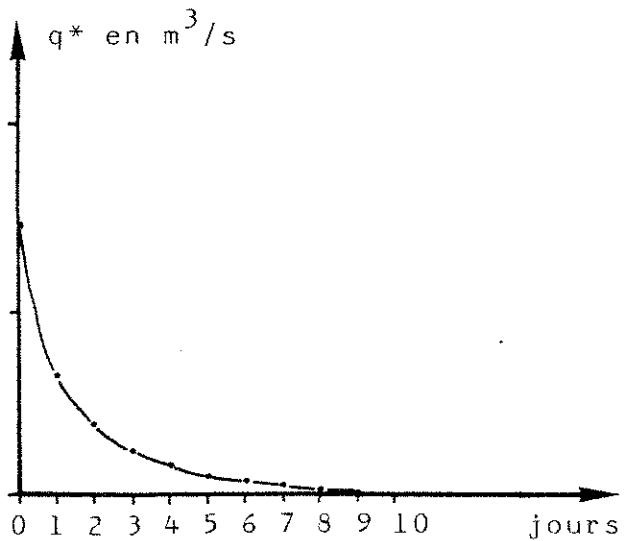
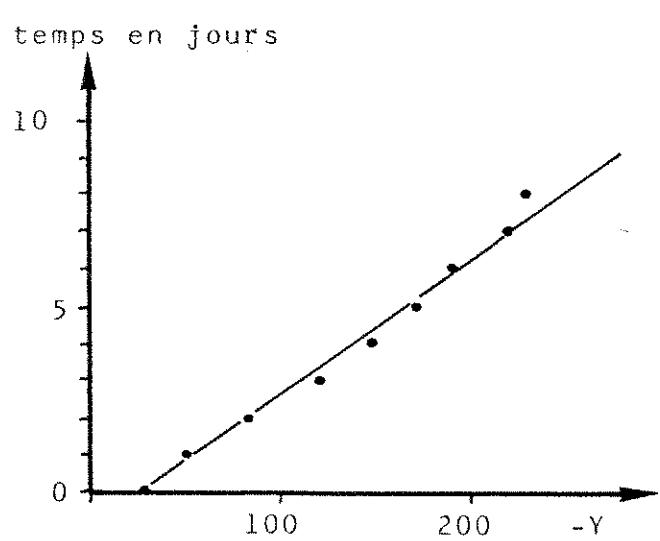
ANALYSE DES COURBES DE RECESSION

CRUE DU 10.07.81





SOURCE DU SORPT
Crue du 2-04-82



ANNEXE V

RESULTATS DES TRACAGES

Point d'injection et débits	N°	N° des points de prélèvement	Point de réapparition	N°	Vitesse apparente	Poids injecté	Bilan	Remarques
Perde de Lesparce	8		Moulin de Laguenay	5	$\simeq 175$ m/h			Détection à l'œil (Traçage spéléo.)
Perde de la Couze $Q \simeq 230$ l/s	7		Blagour	1	$\simeq 545$ m/h	1.5 kg		Détection à l'œil (Spéléo- h. eaux)
Perde de la Couze	7	1-3-6-4	Blagour	1	43.5 m/h	150 g	95.9%	Basses eaux
Perde de Fontanille	11	1-3-6-4-26-21	Blagour	1	117 m/h	1.8 kg	66%	Perte ensablée.
Perde de Gignac	23	2-24-22	Blagour de Souillac	24				Traçage effectué avec J.P Fabre
Perde d'Estivals $Q \simeq 21$ l/s	10	2-24-22	Le Sorpt	2	$\simeq 128$ m/h	1.5 kg		
Perde de Ferrière	19	2-22-29	Le Coly	29	181 m/h	1.9 kg	90%	Hautes eaux
Perde de Lacoste	9	2	Le Sorpt	2	$\simeq 158$ m/h			Détection à l'œil (Traçage spéléo.)
Perde de Lacoste $Q = 3$ l/s	9	2	Le Sorpt	2	50 m/h	150 g	(60%)	Eaux moyennes
Perde de Lacoste	9	2	Le Sorpt	2	$\simeq 6.5$ m/h	300 g	(70%)	Basses eaux
Perde de la Couze $Q = 95$ l/s	7	1-3-6-4	Blagour	1	262 m/h	450 g	85%	Hautes eaux

RESURGENCE DU SORPT

TRACAGE DE LA PERTE DE LACOSTE

6 . IV . 82

flux de fluoroscine

en mg/s

3

2

1

débits
en m^3/s

0,5

0,4

0,3

0,2

0,1

0

5 . IV . 82

6 . IV . 82

7 . IV . 82

8 . IV . 82

9 . IV . 82

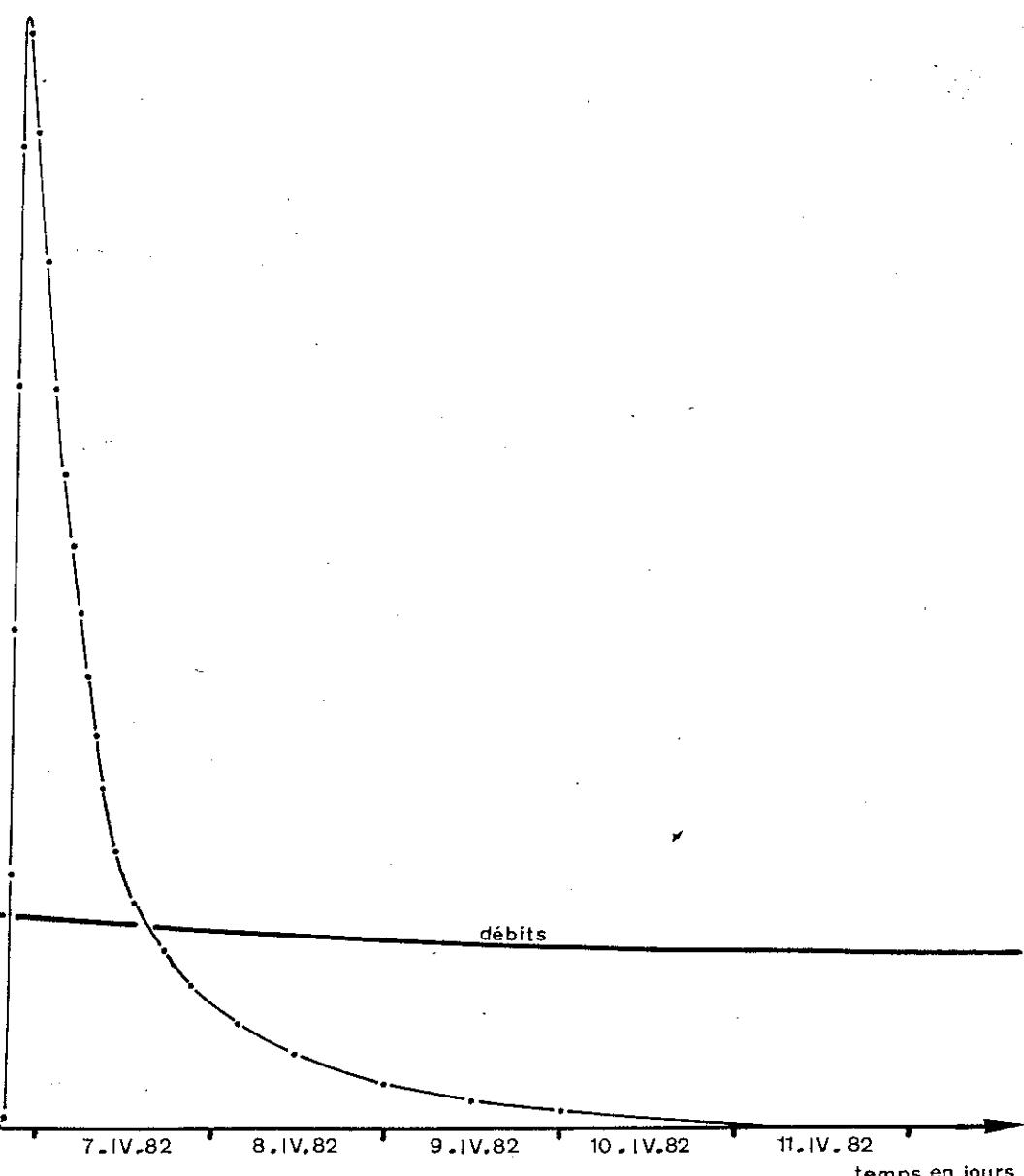
10 . IV . 82

11 . IV . 82

temps en jours

Injection

débits

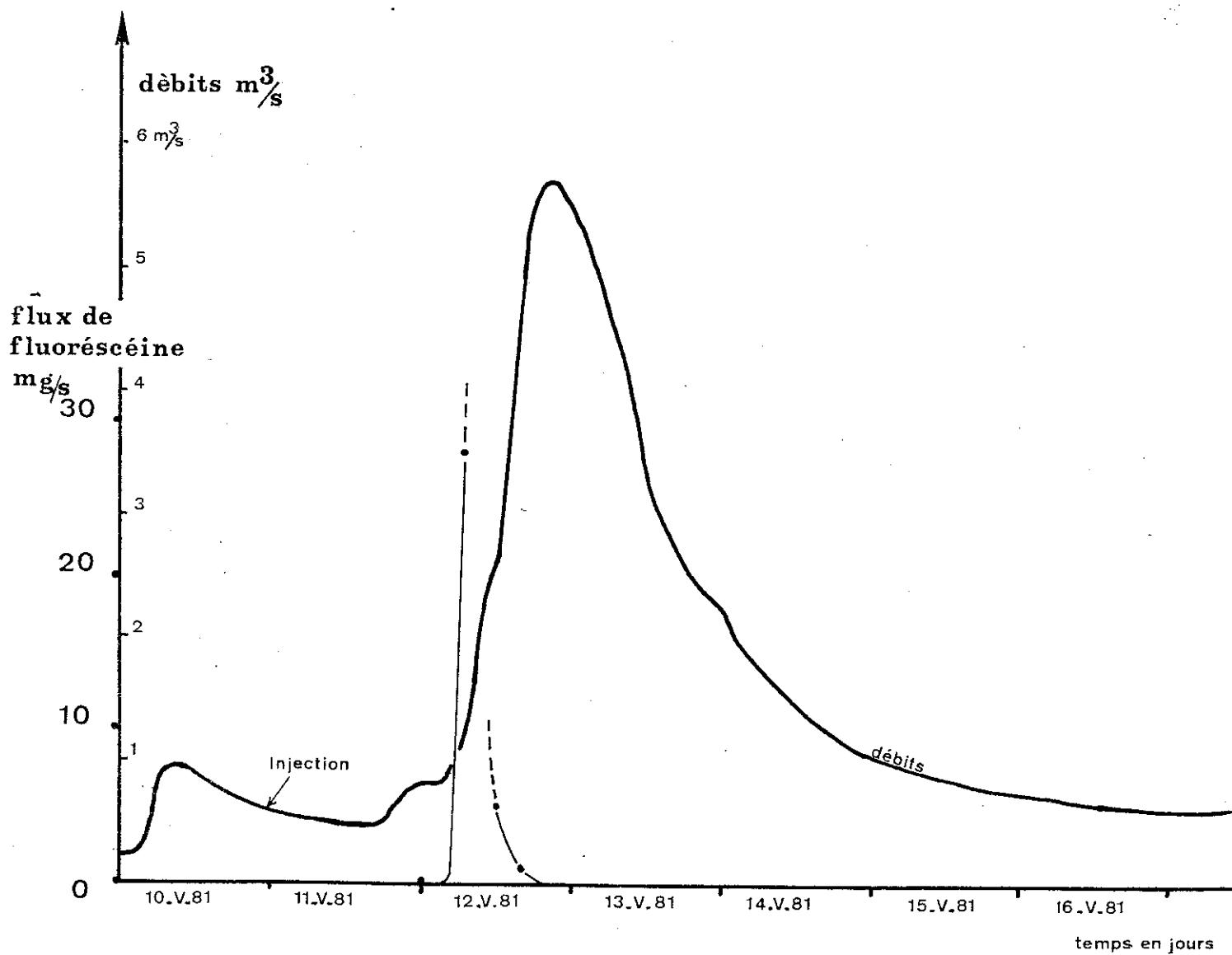


RESURGENCE DU SORPT

TRAÇAGE de la PERTE

d'ESTIVALS

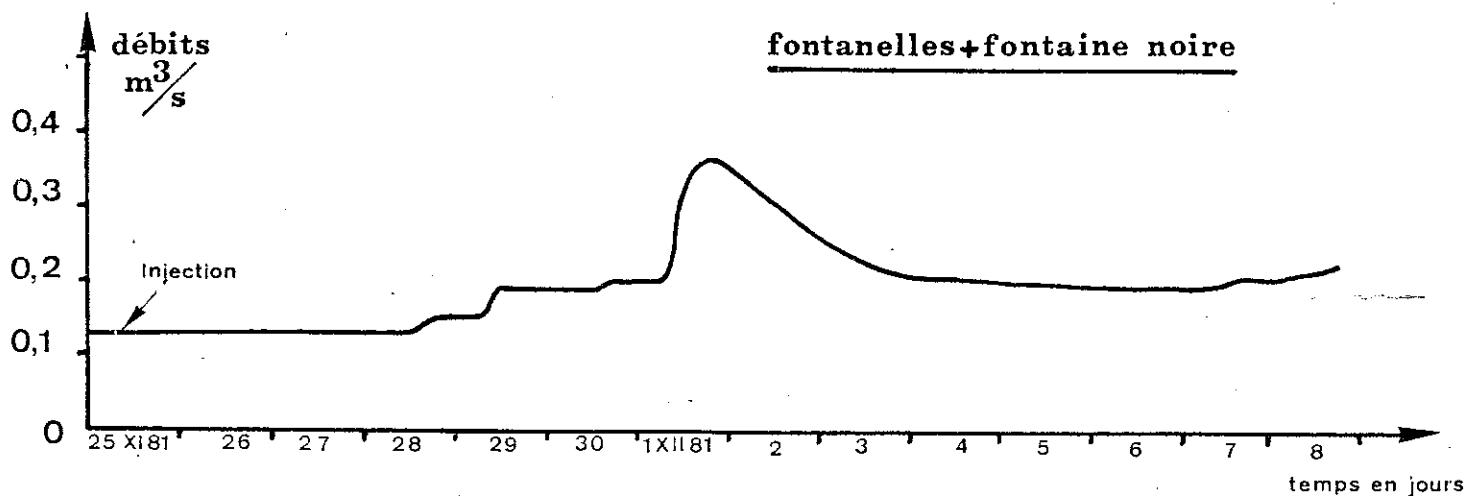
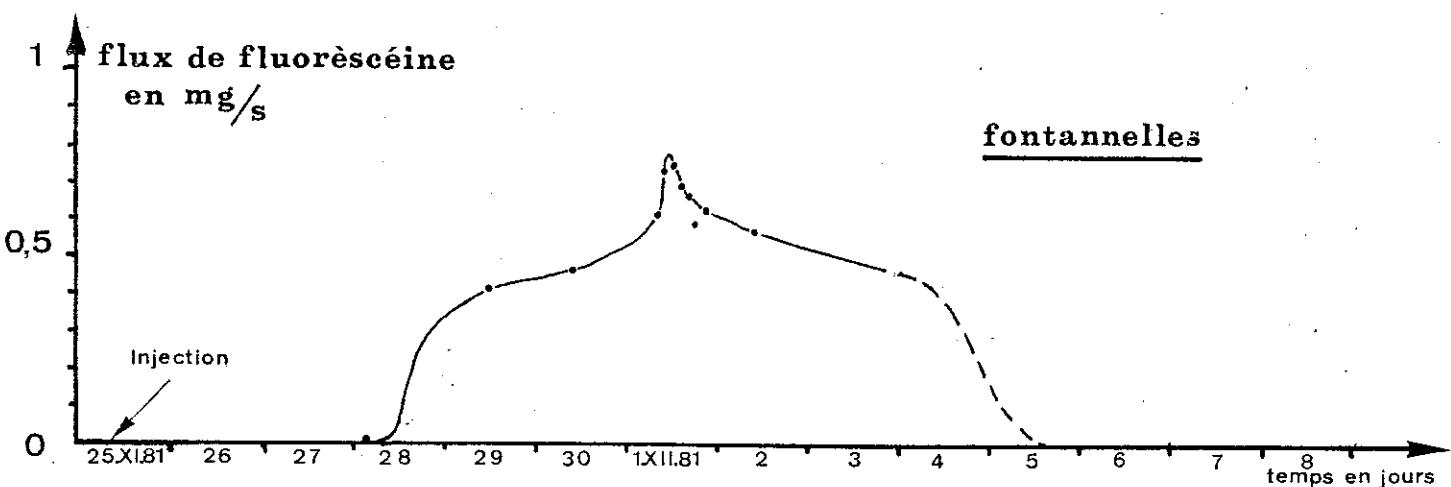
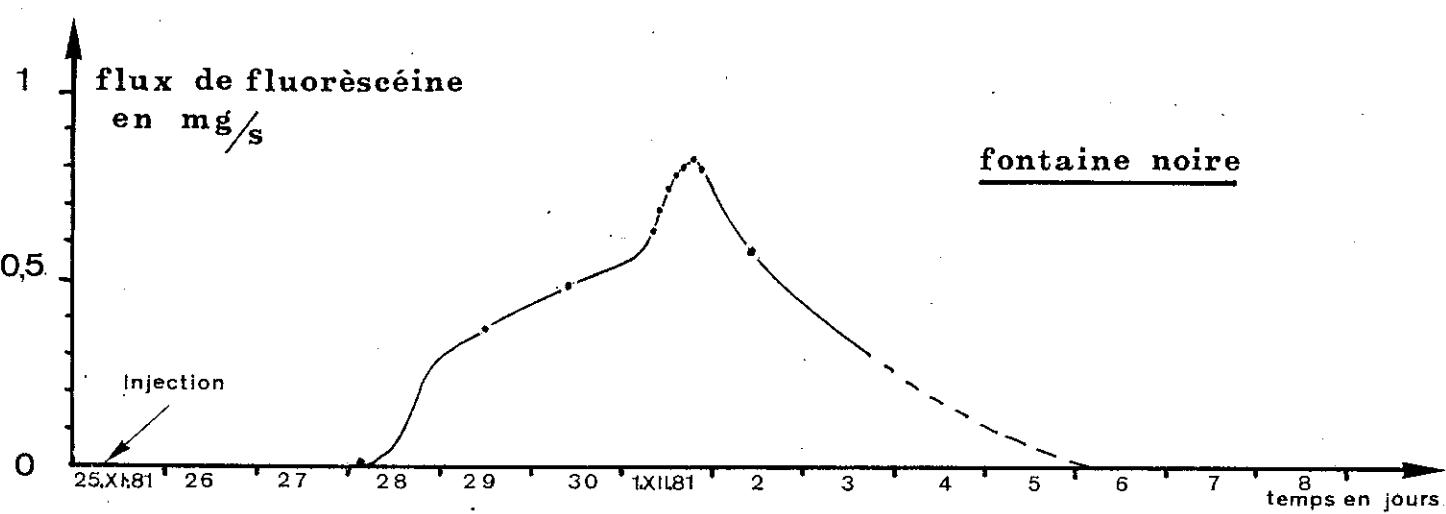
10.V.81



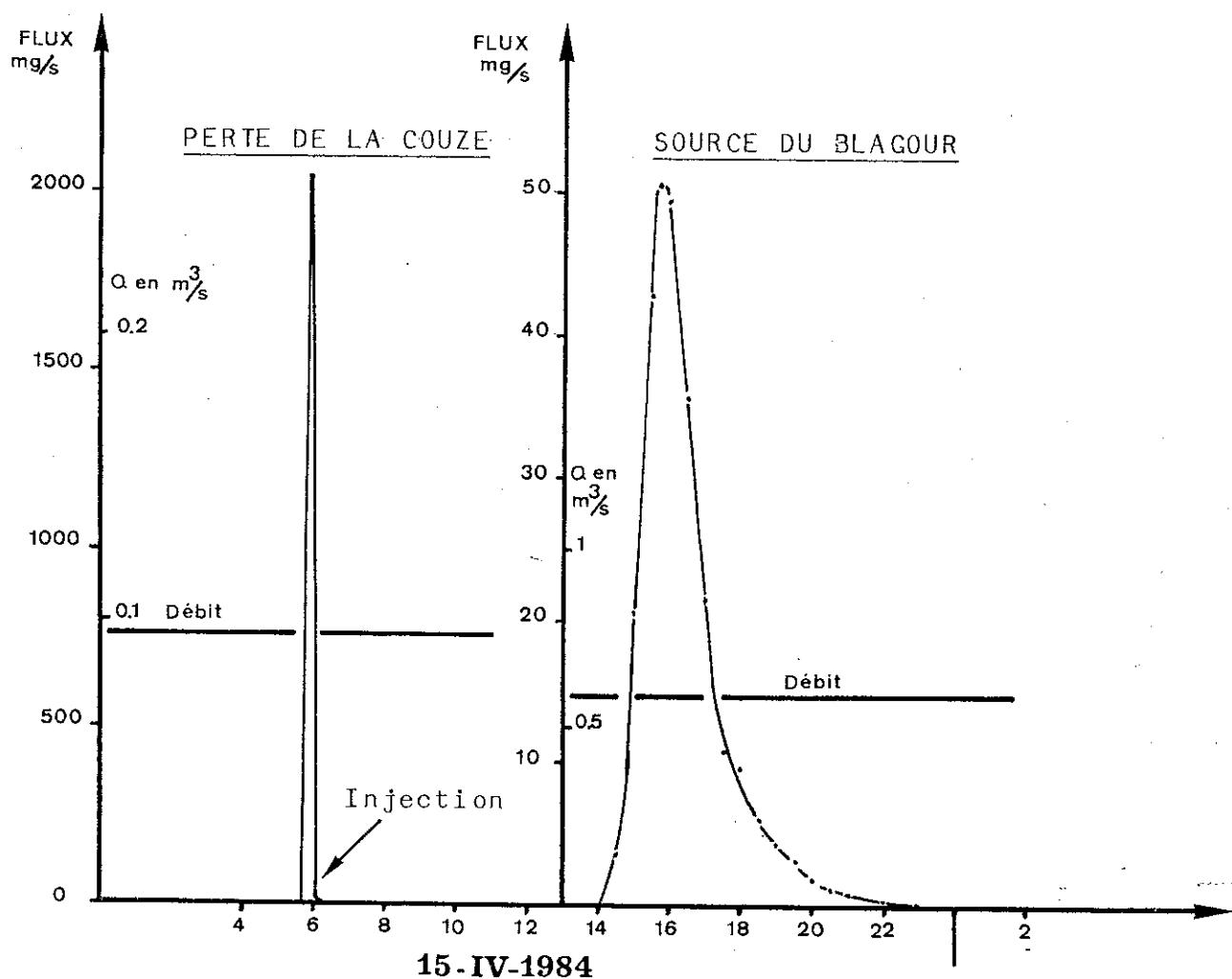
RESURGENCE DU SORPT

TRACAGE DE LA PERTE DE LACOSTE

25.XI.81



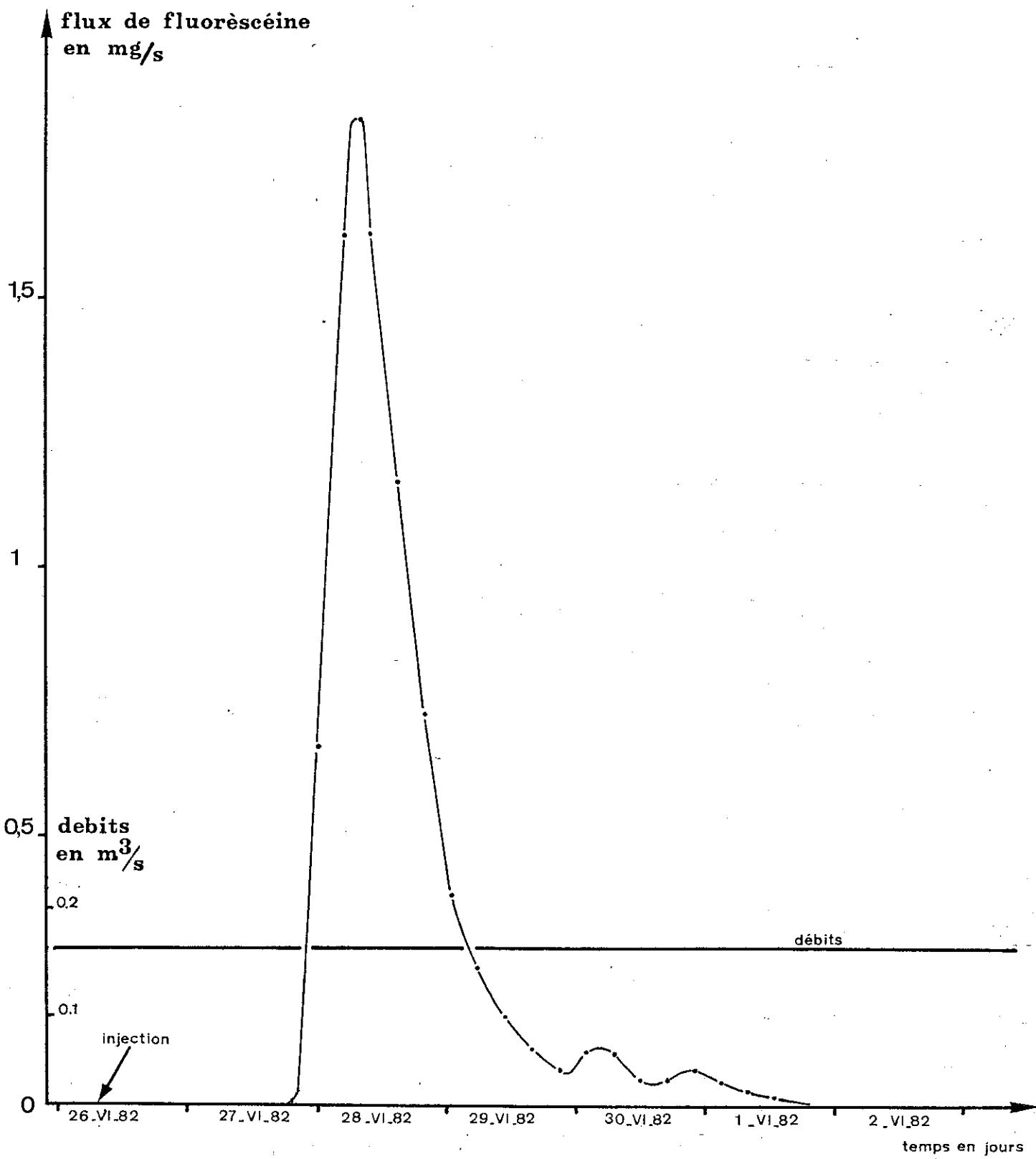
SOURCE DU BLAGOUR
TRACAGE DE LA PERTE DE LA COUZE



RESURGENCE DU BLAGOUR

TRAÇAGE DE LA PERTE DE LA COUZE

26.VI.82

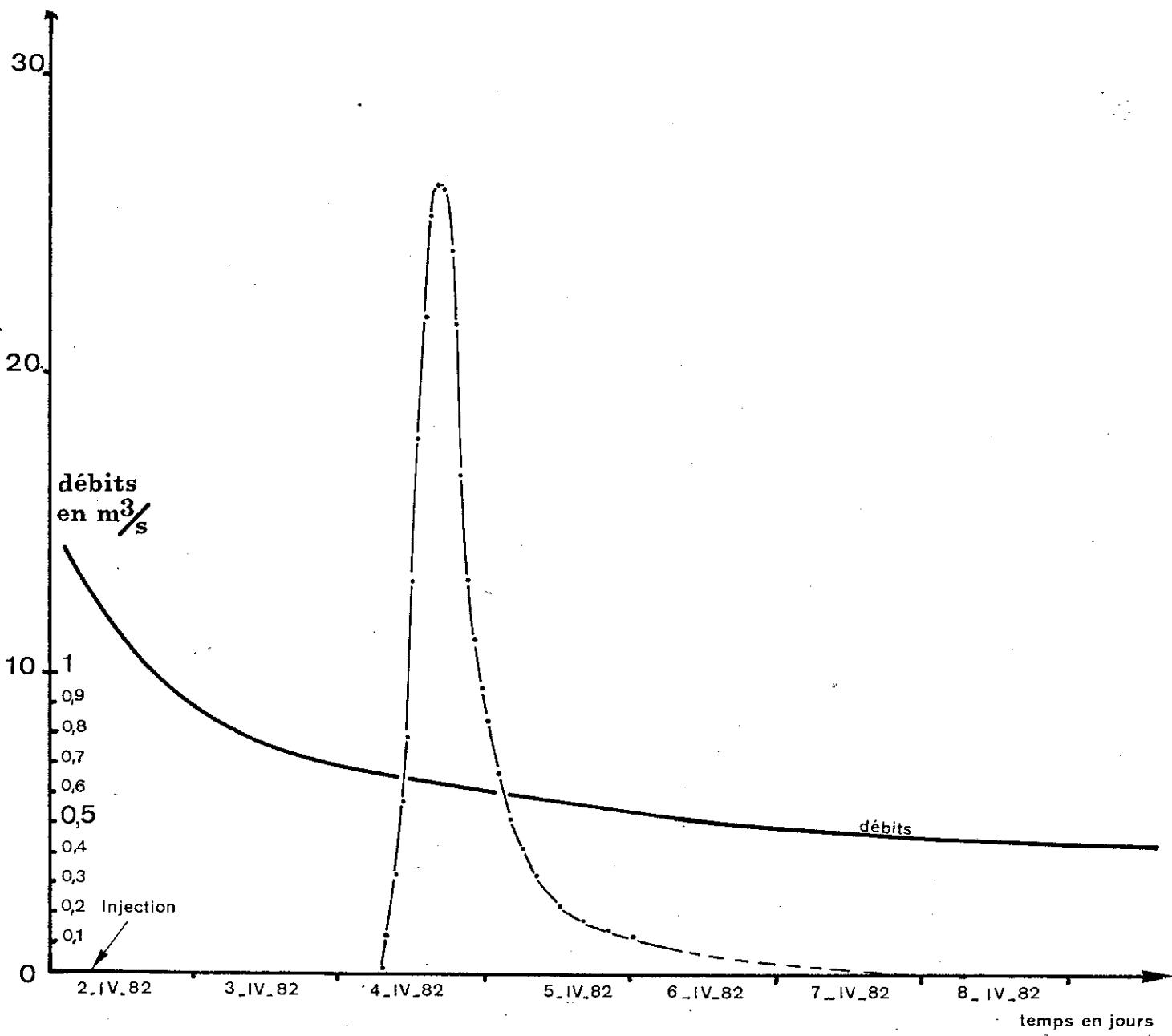


RESURGENCE DU BLAGOUR

TRAÇAGE DE LA PERTE DE FONTANILLE

2.IV.82

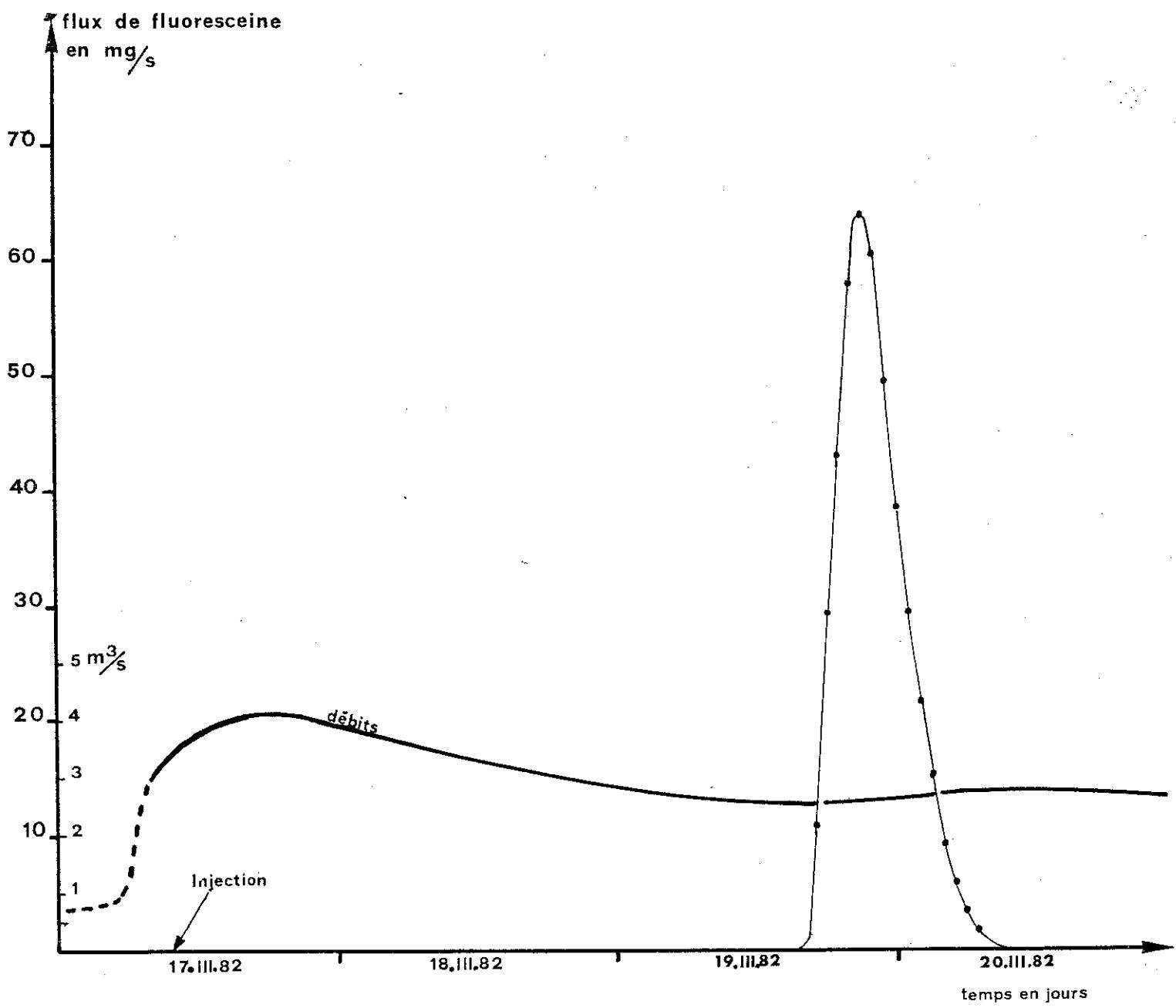
flux de fluorèsceine
en mg/s



LA DOUX DE COLY

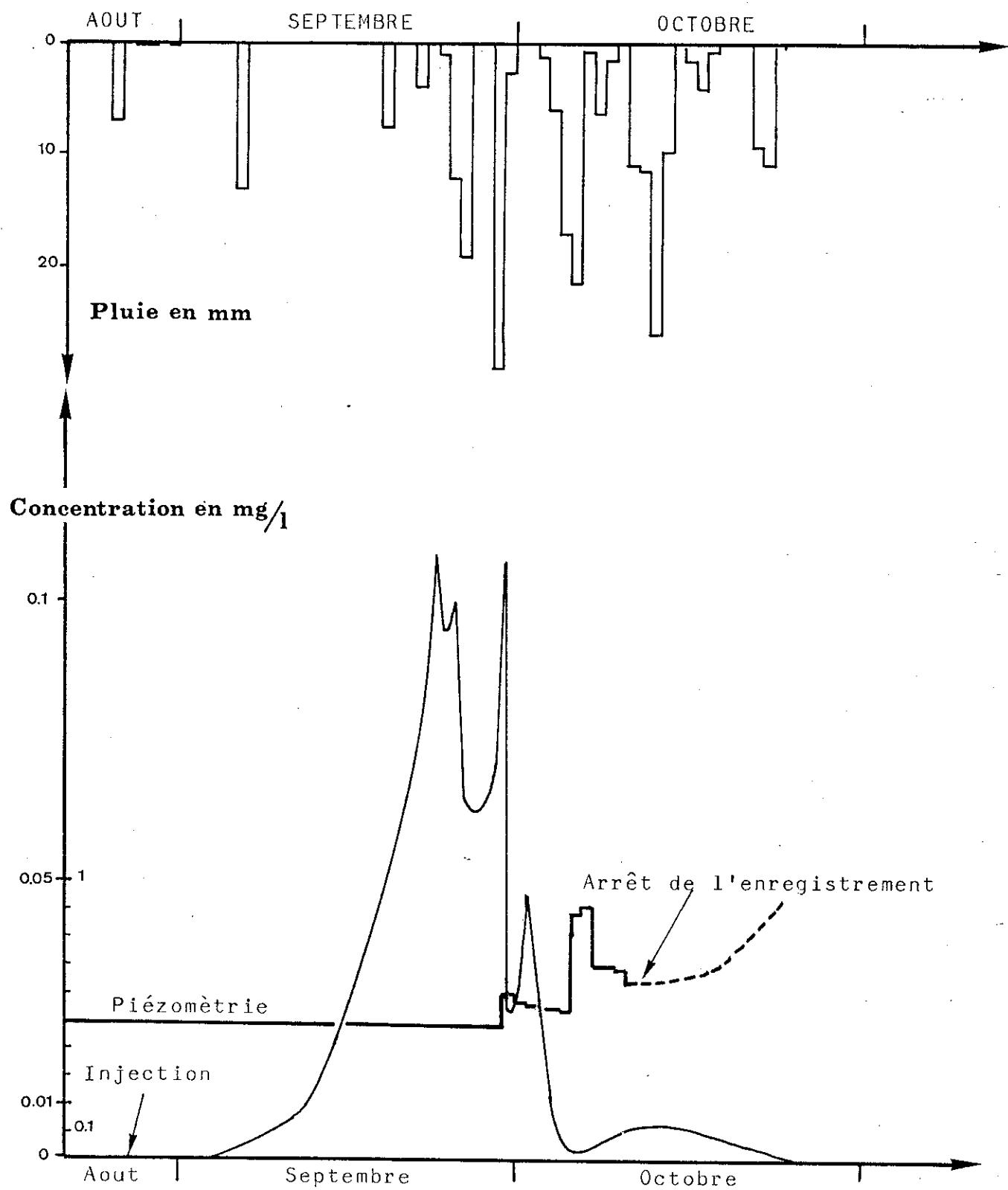
TRACAGE de la PERTE de FERRIERE

le 17.III.82



EVENT D'ENTRECORPS

TRACAGE "GALERIE METRIQUE"
26.08.82



ANNEXE VI

RESULTATS DES ANALYSES CORRELATOIRES ET SPECTRALES
RELATIVES AUX CHRONIQUES DU CYCLE 1982 POUR:

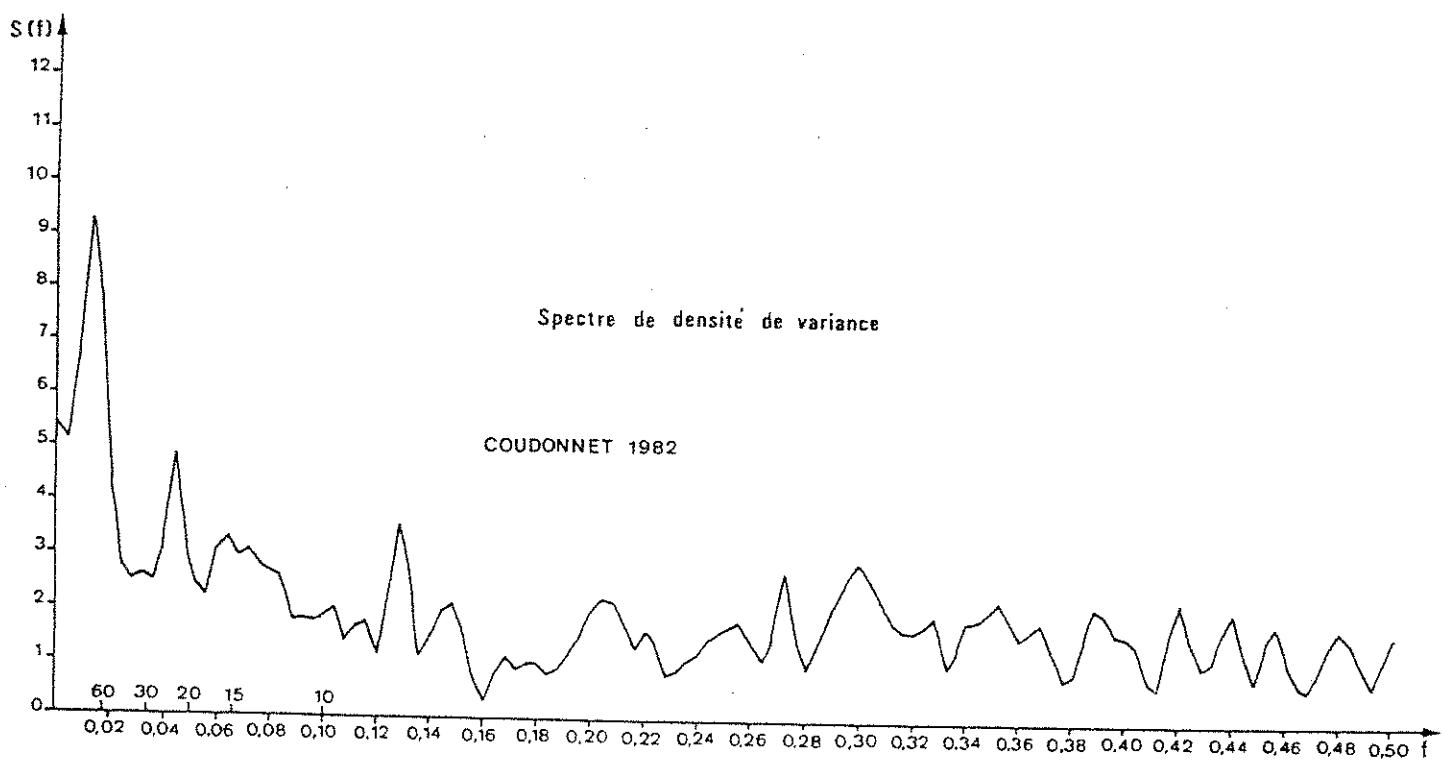
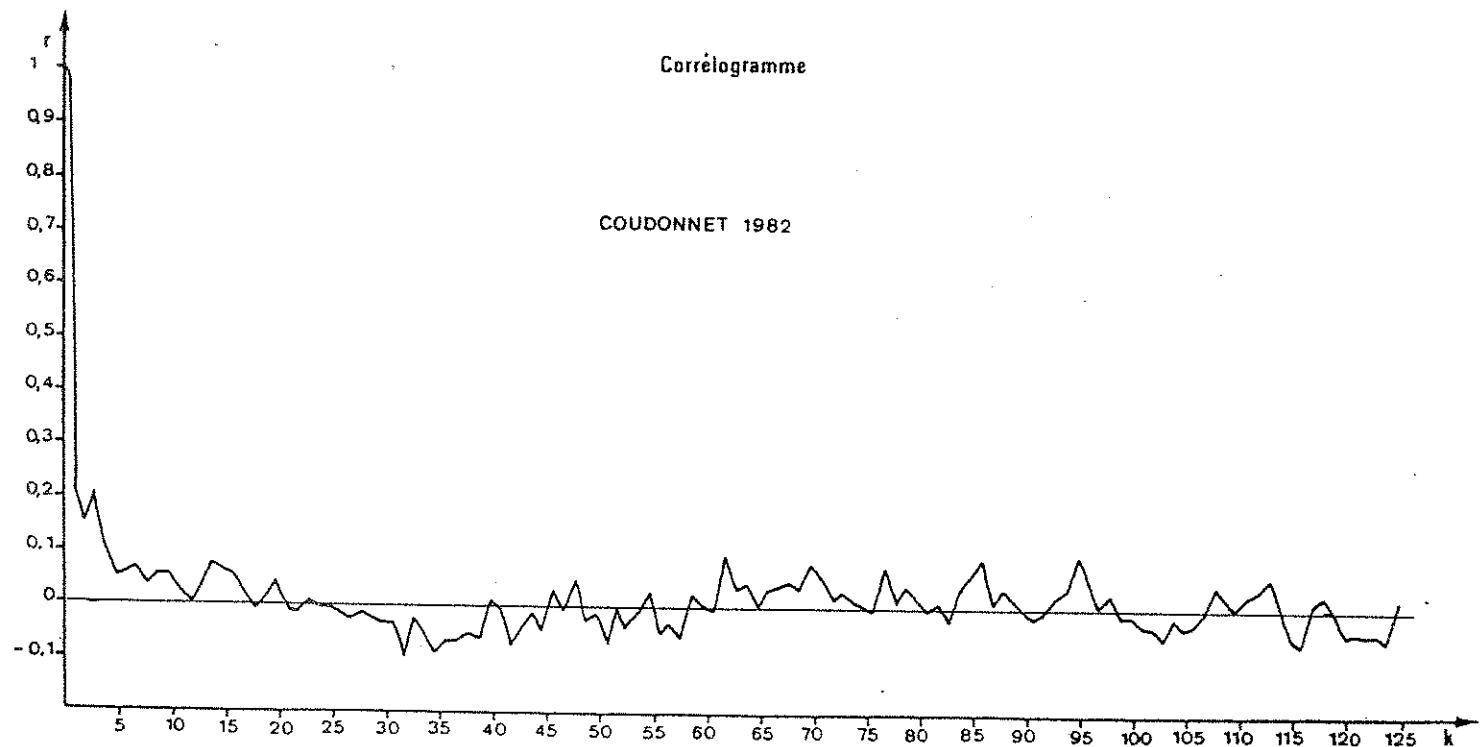
- La pluie à Coudonnet
- La pluie à Nespouls
- Les débits du Blagour
- Les débits du Sorpt
- Les débits de Fontille
- Les débits de la Couze-Perte

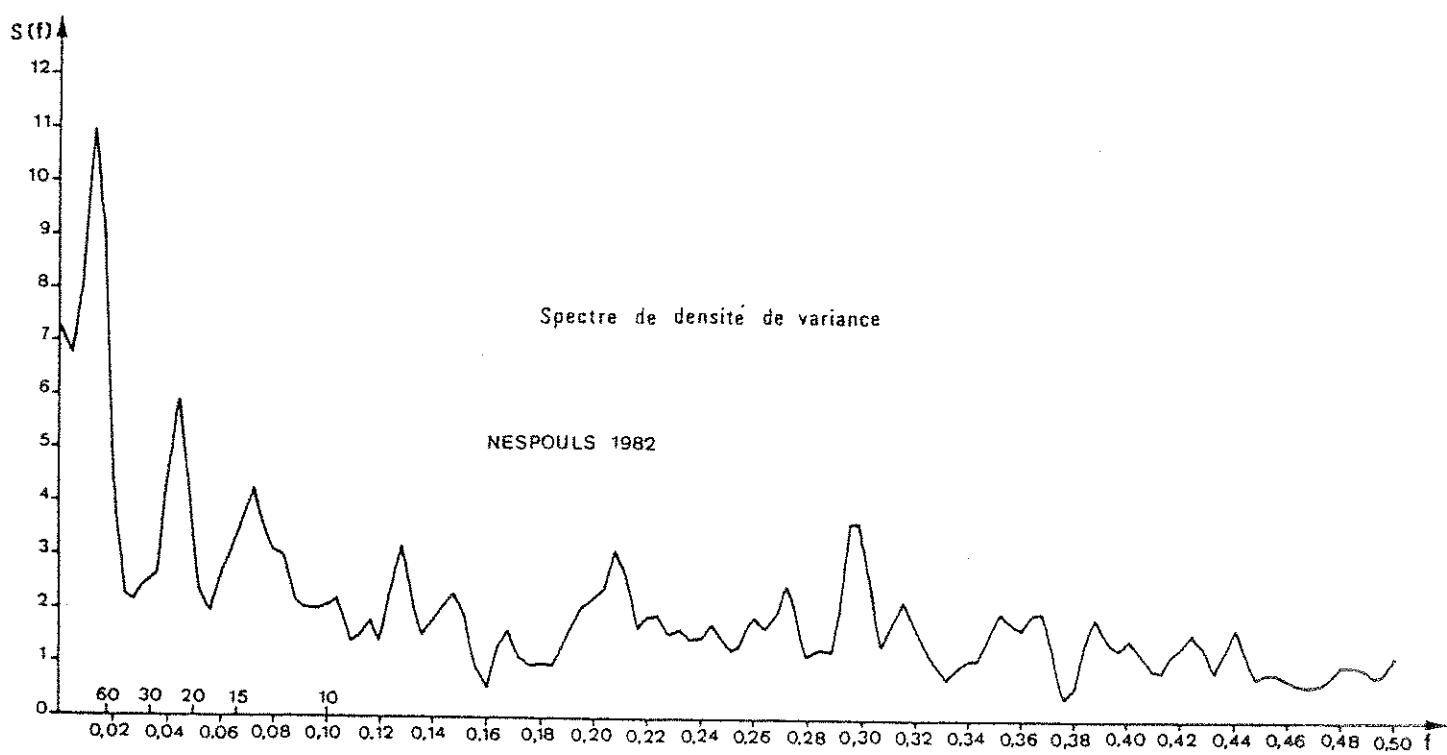
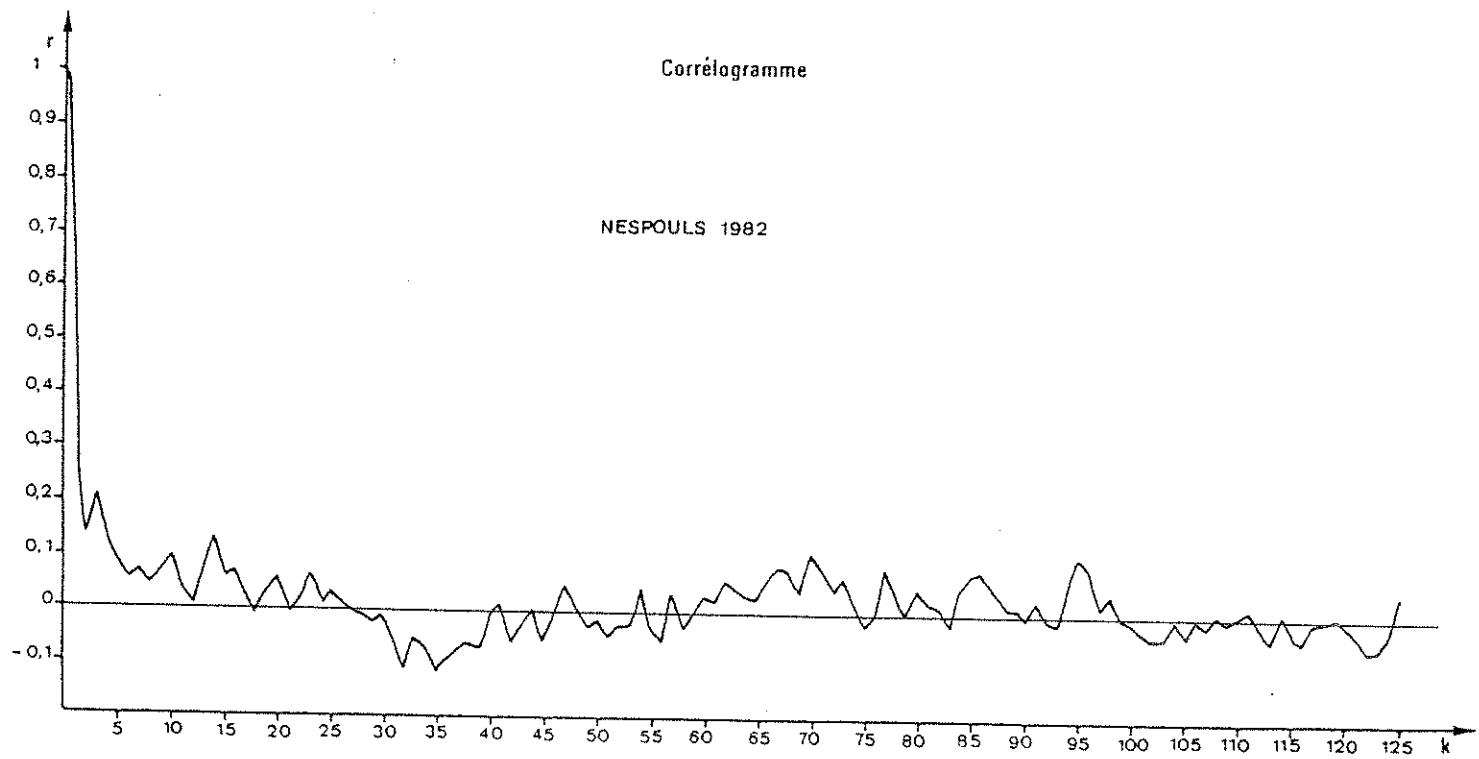
LA PLUIE A COUDONNET : CYCLE 1982

Corréogramme simple
Spectre de densité de variance

LA PLUIE A NESPOULS : CYCLE 1982

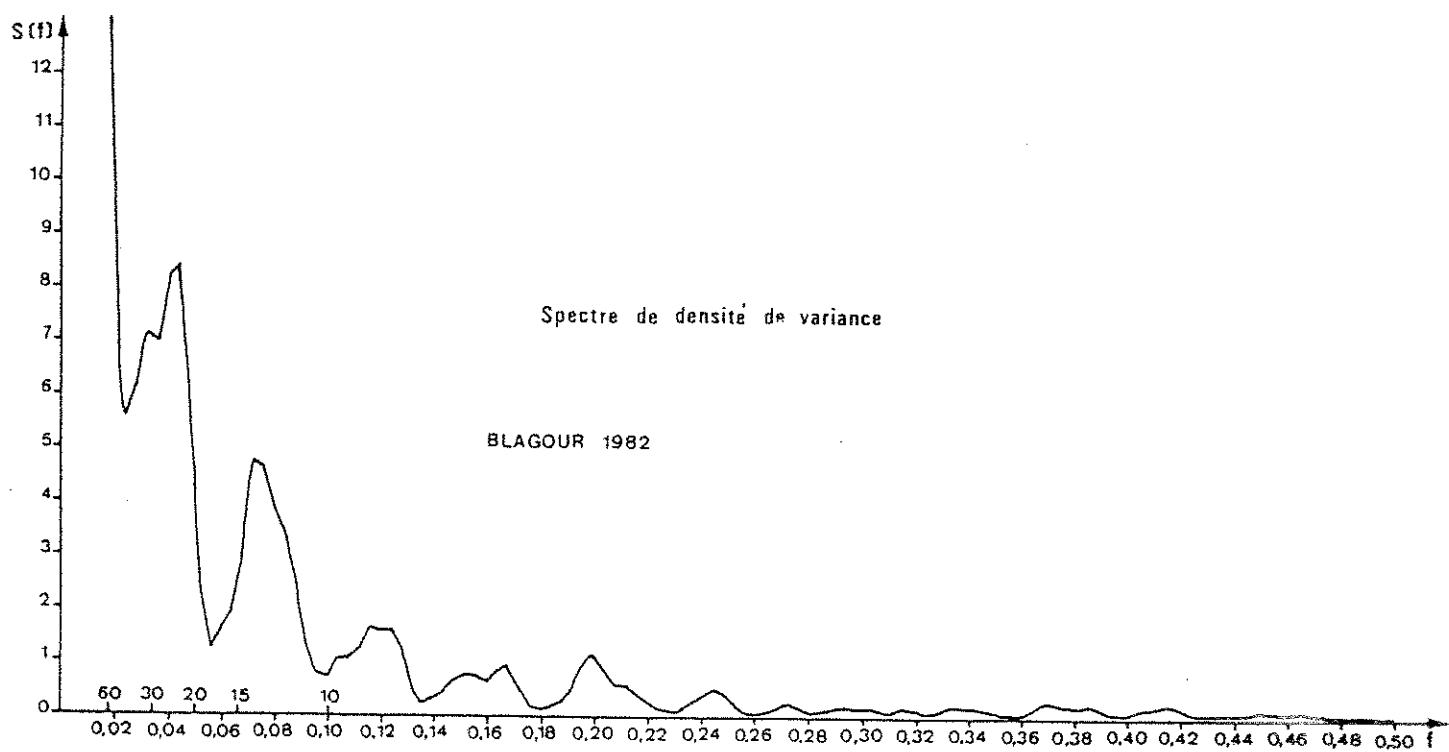
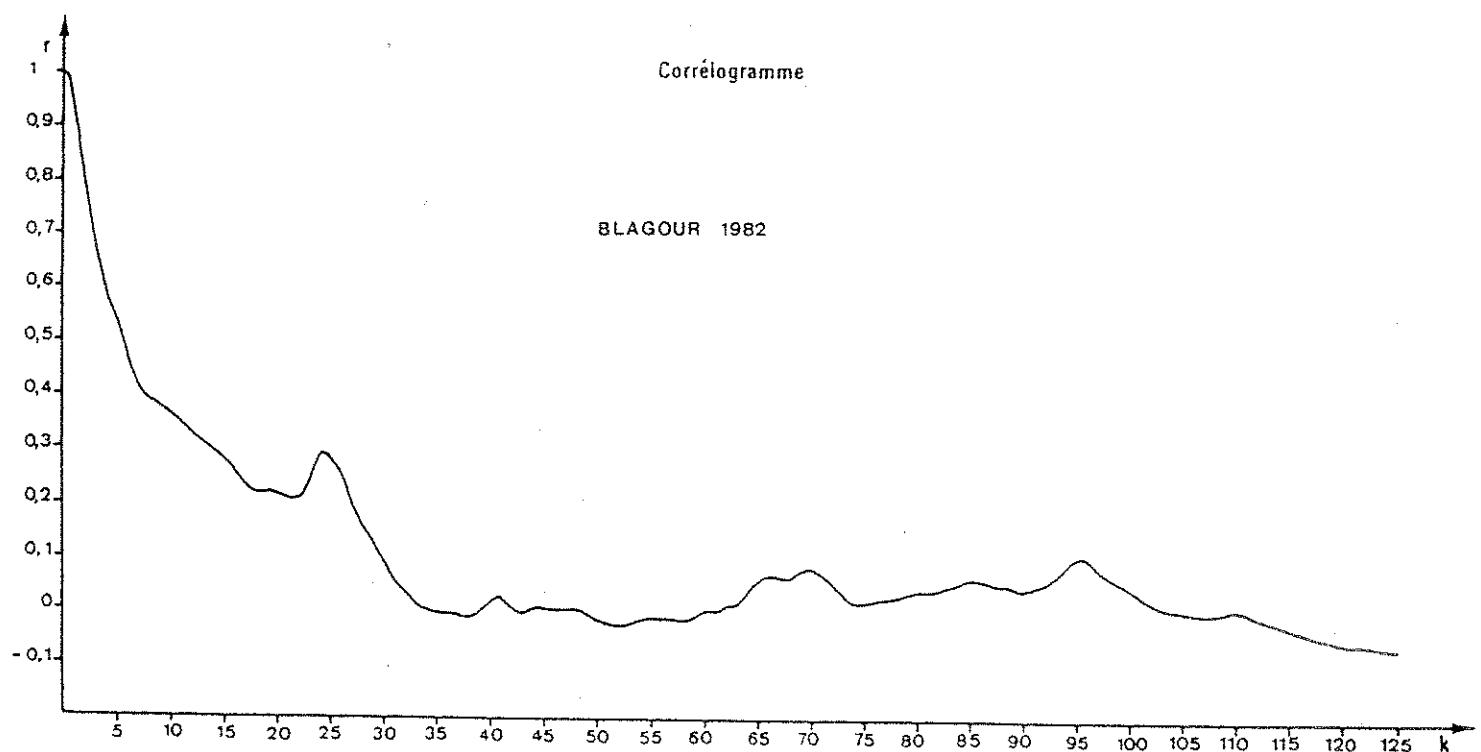
Corréogramme simple
Spectre de densité de variance

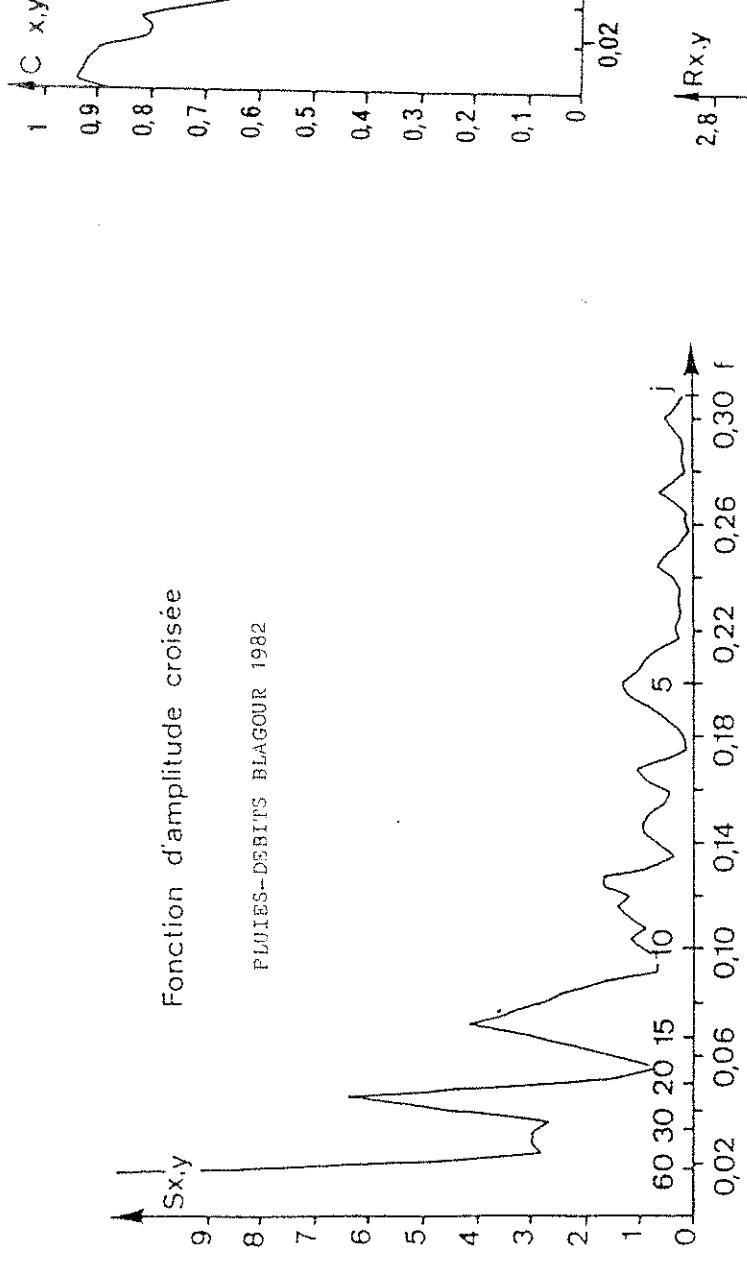




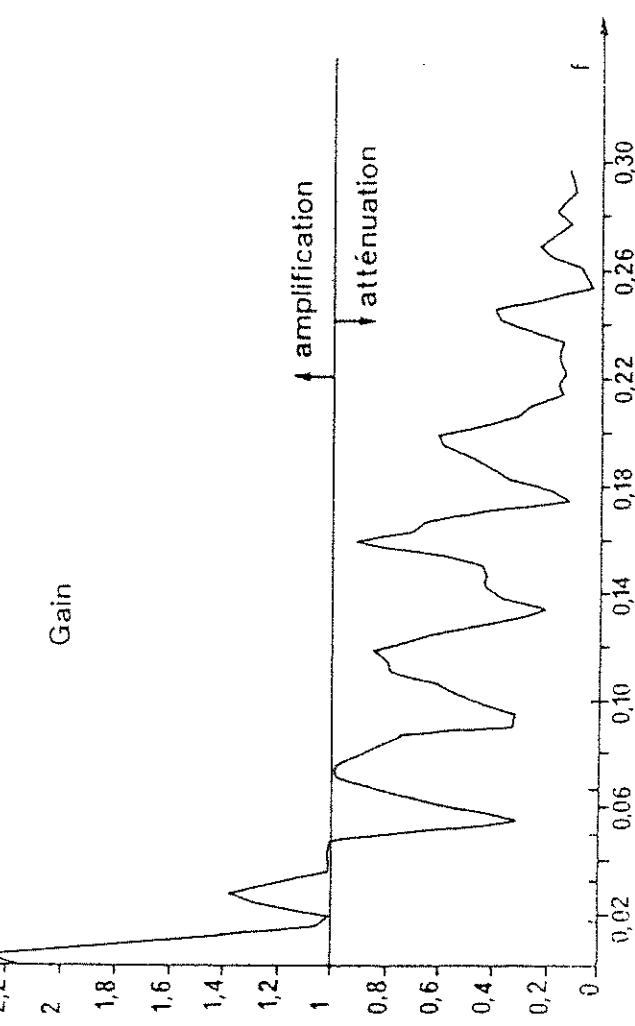
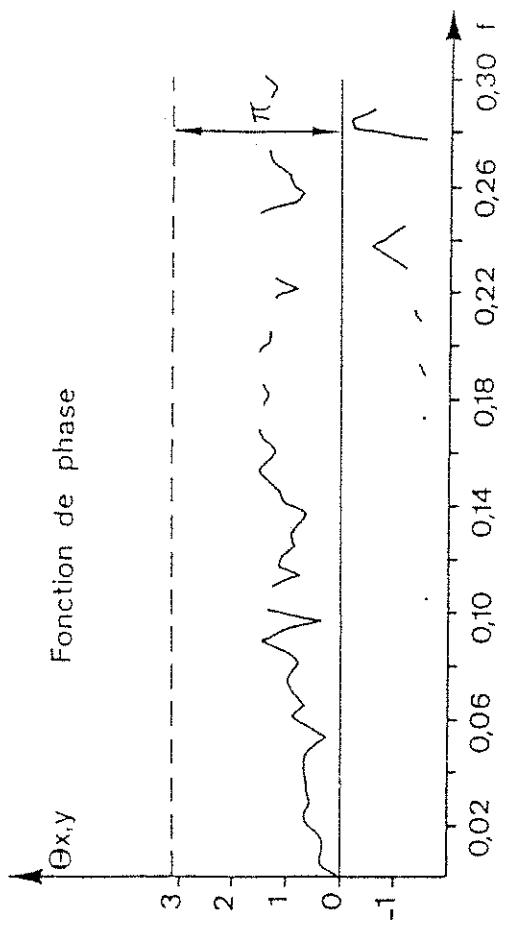
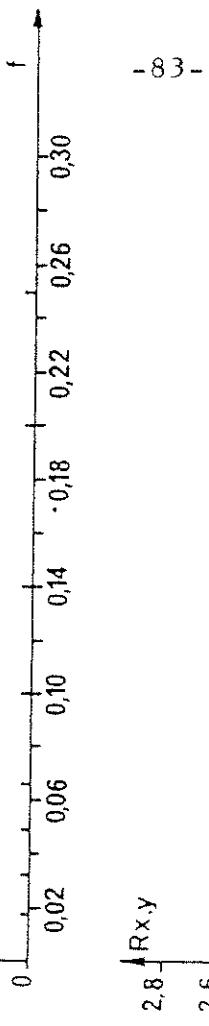
LES DEBITS DU BLAGOUR : CYCLE 1982

Corréogramme simple
Spectre de densité de variance
Fonction d'amplitude croisée
Fonction de phase
Fonction de cohérence
Fonction de gain



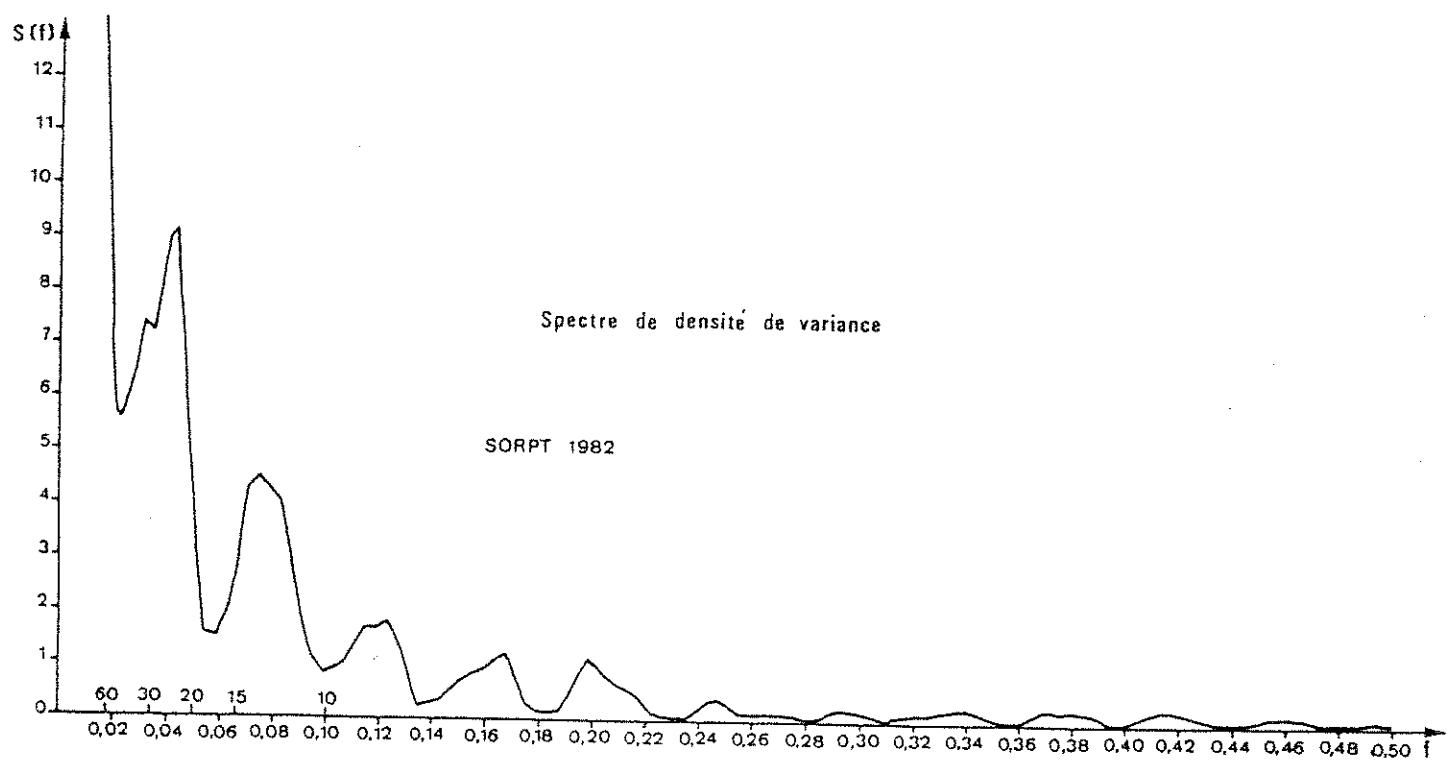
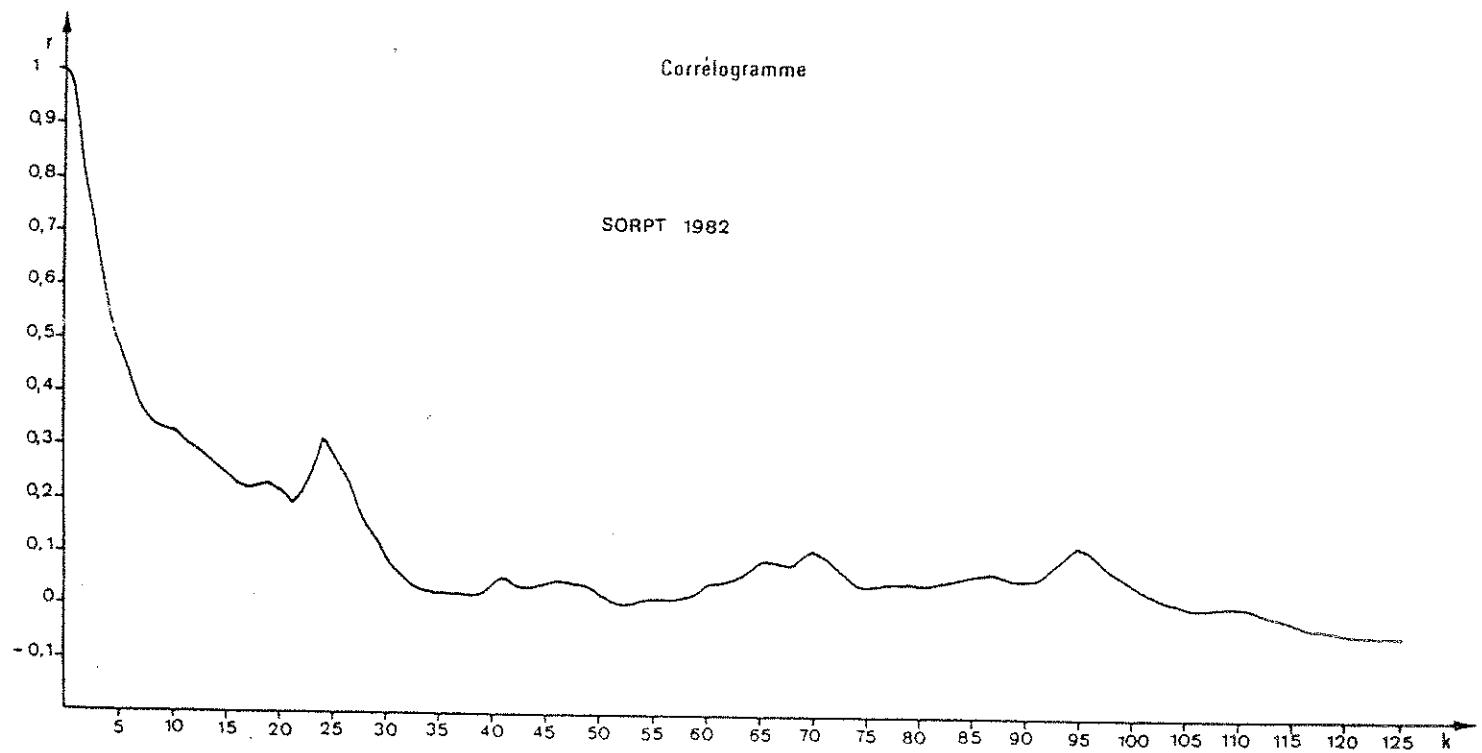


Cohérence



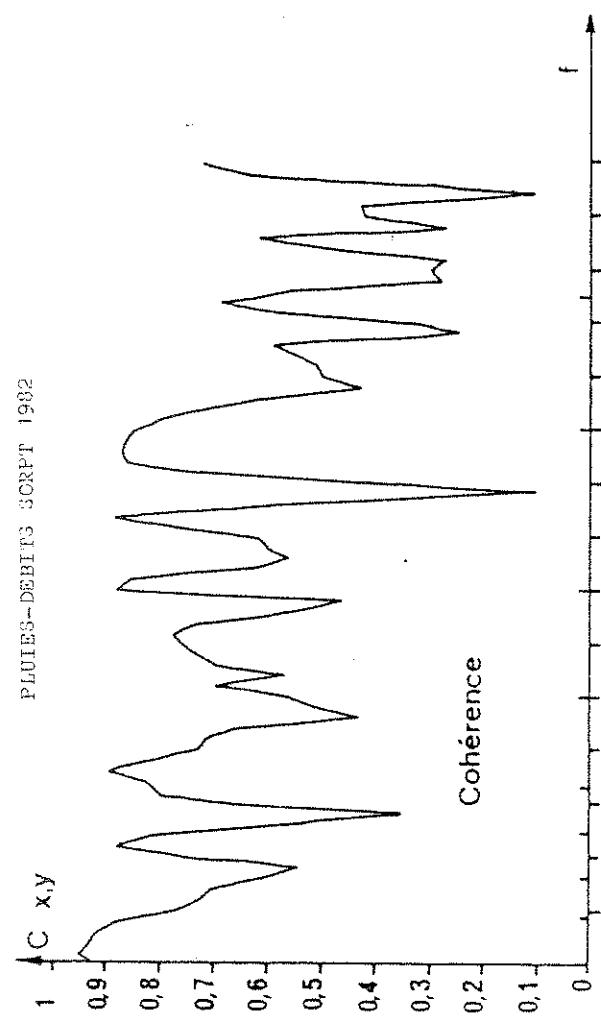
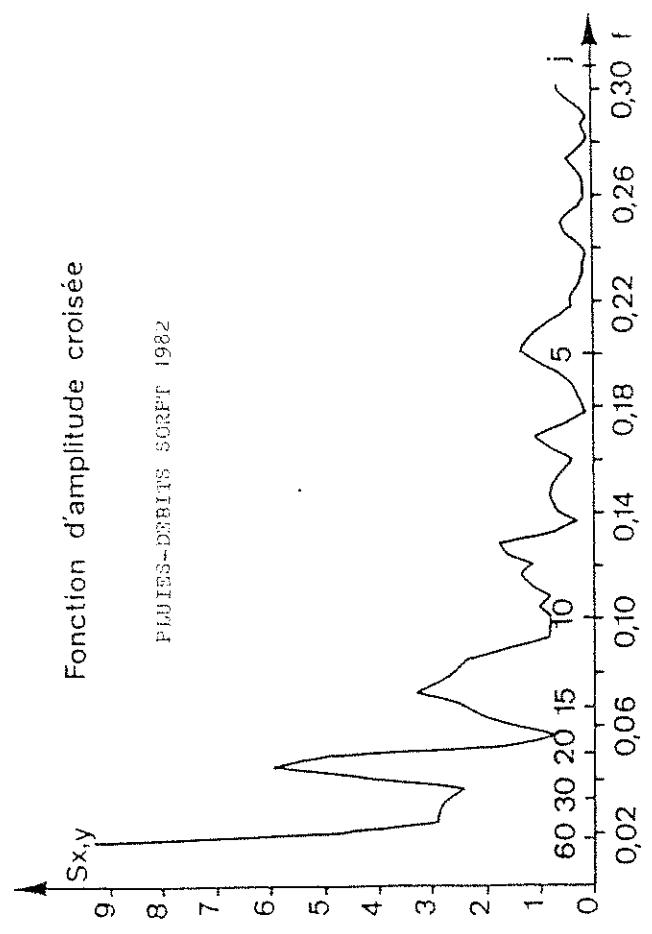
LES DEBITS DU SORPT : Cycle 1982

Corrélogramme simple
Spectre de densité de variance
Fonction d'amplitude croisée
Fonction de phase
Fonction de cohérence
Fonction de gain

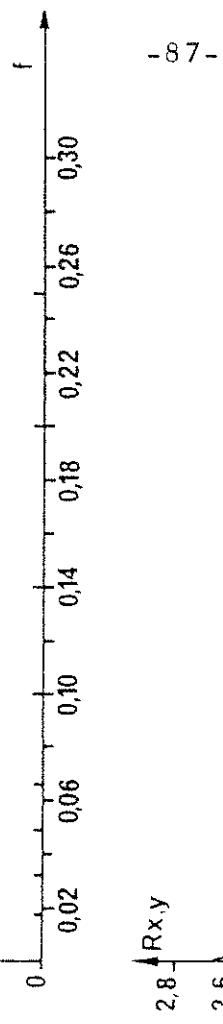


Fonction d'amplitude croisée

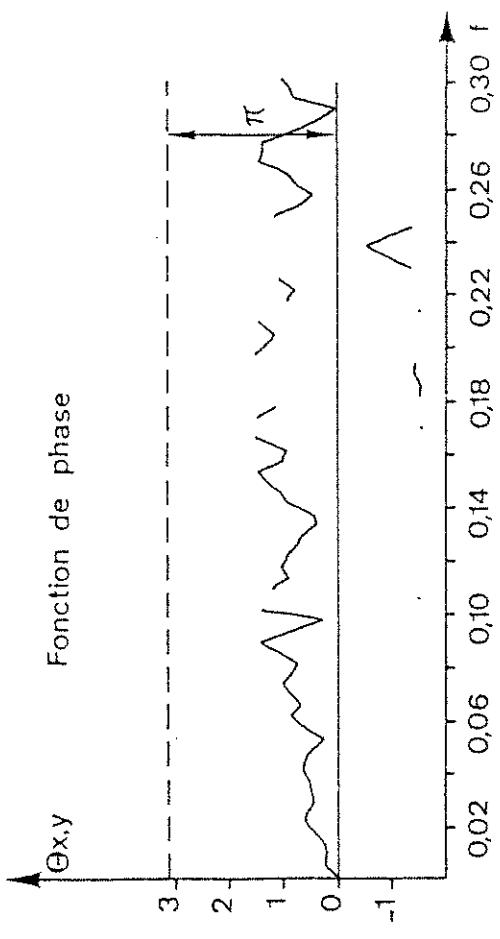
PLOTES-DEBITS SCRF 1982



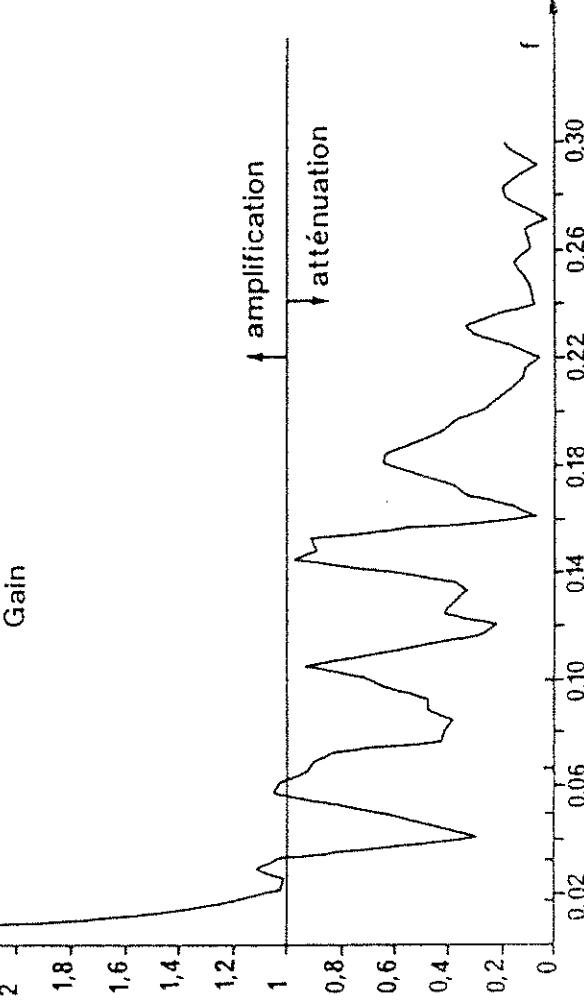
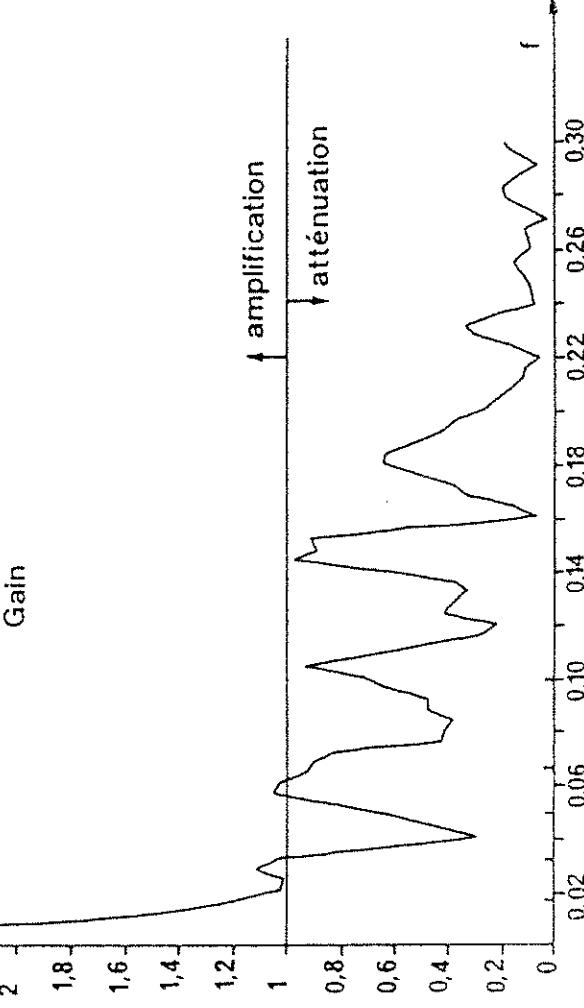
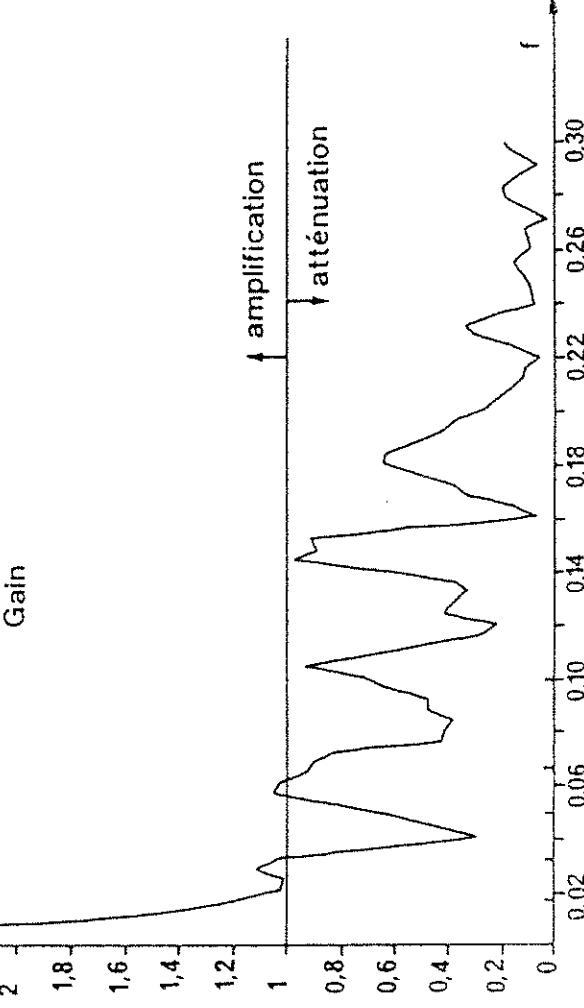
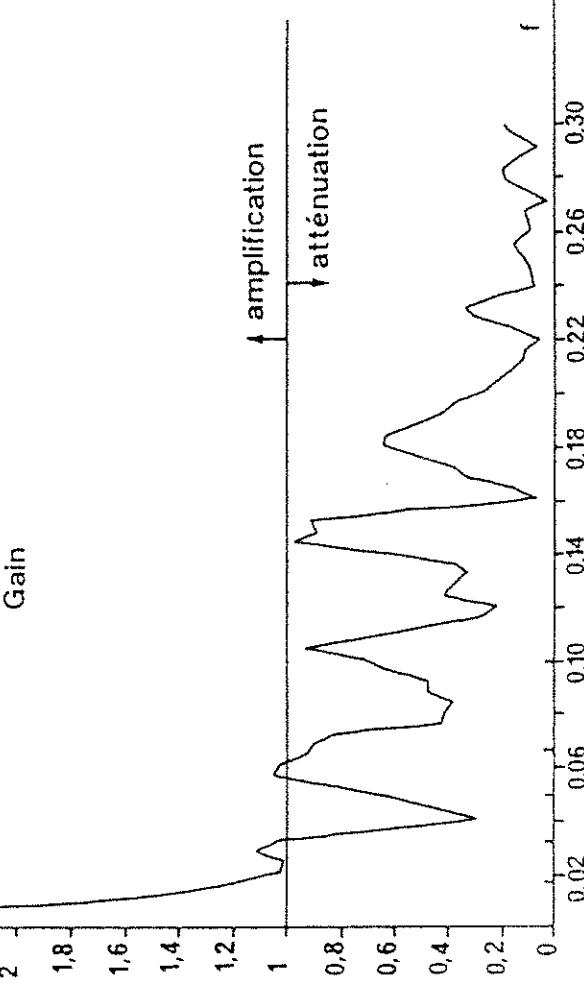
Cohérence



Fonction de phase

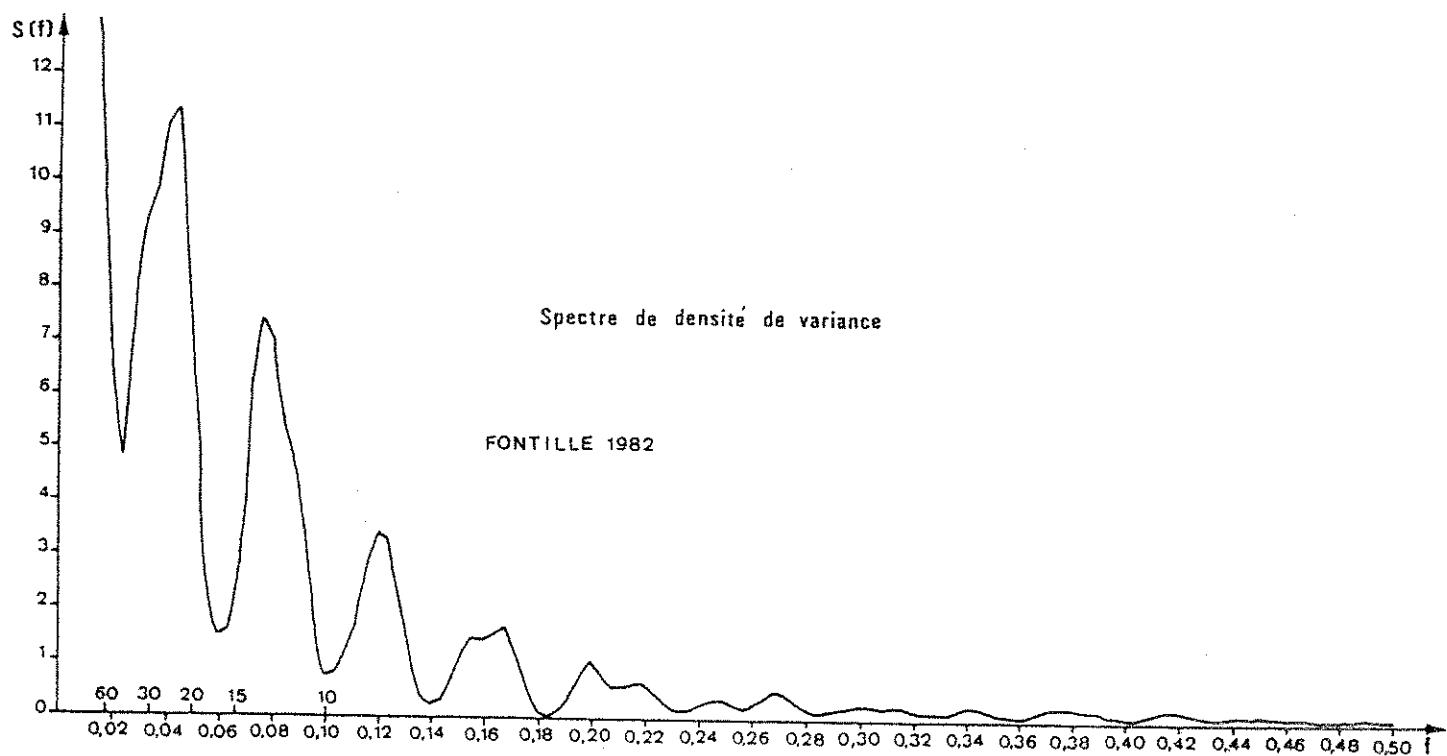
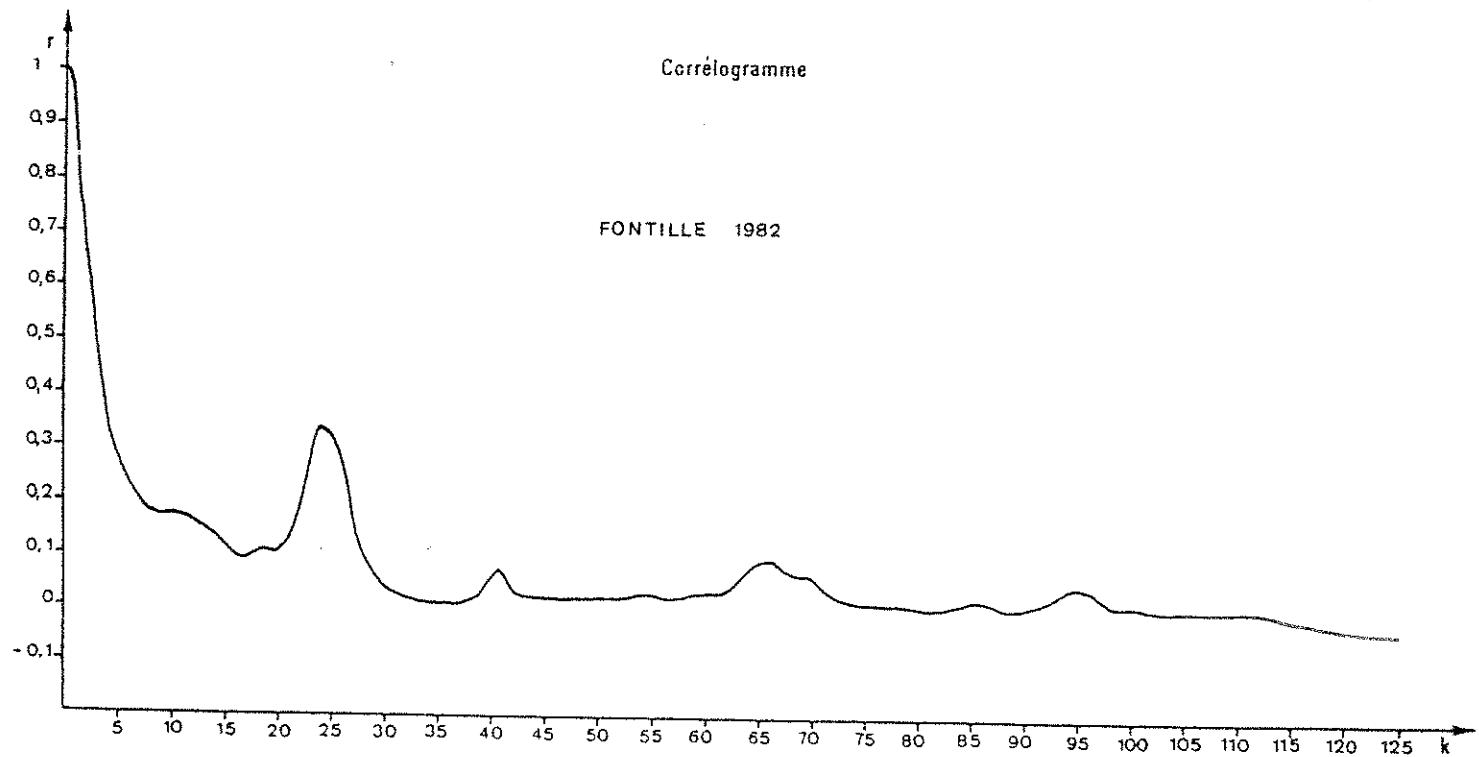


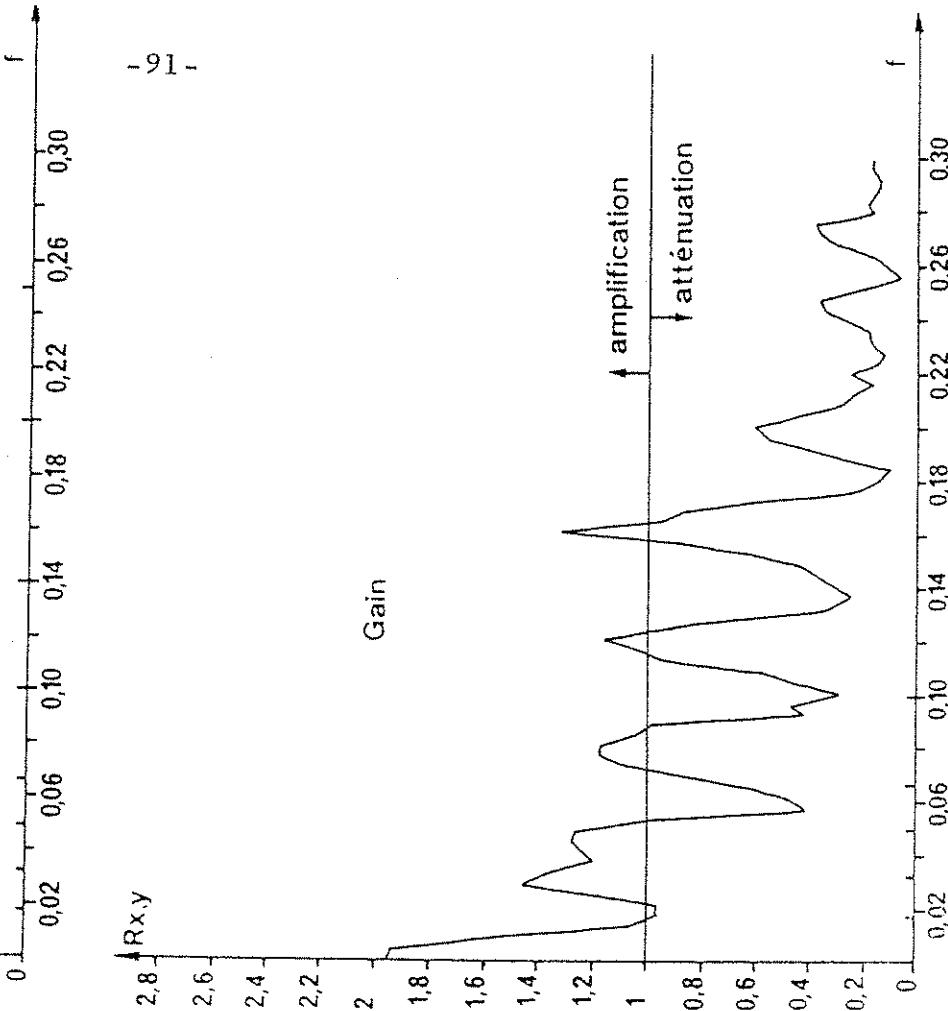
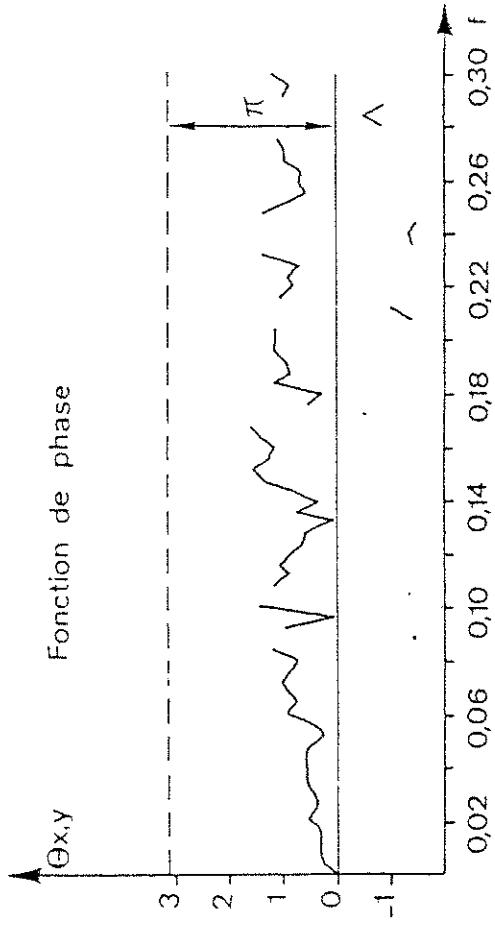
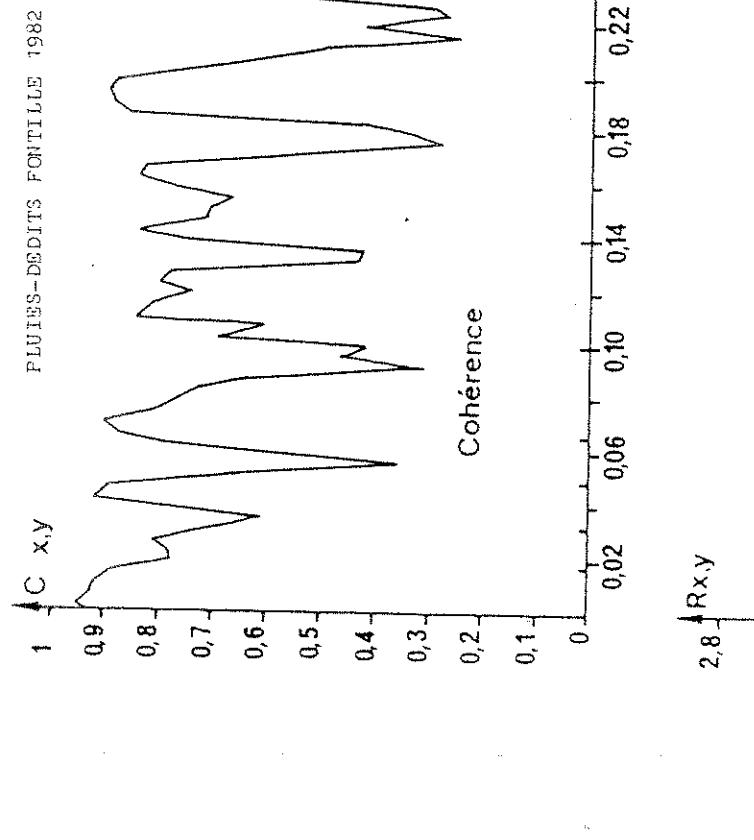
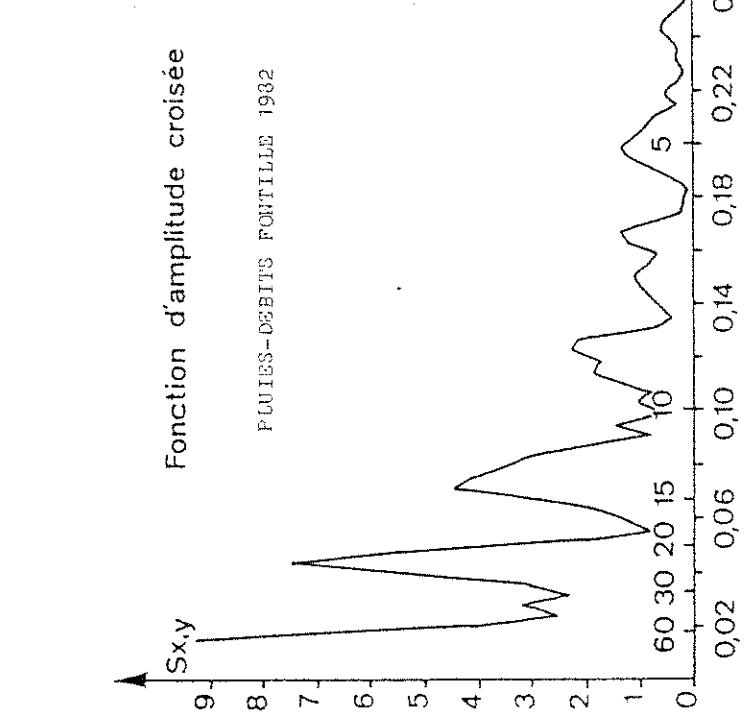
Gain



LES DEBITS DE FONTILLE : CYCLE 1982

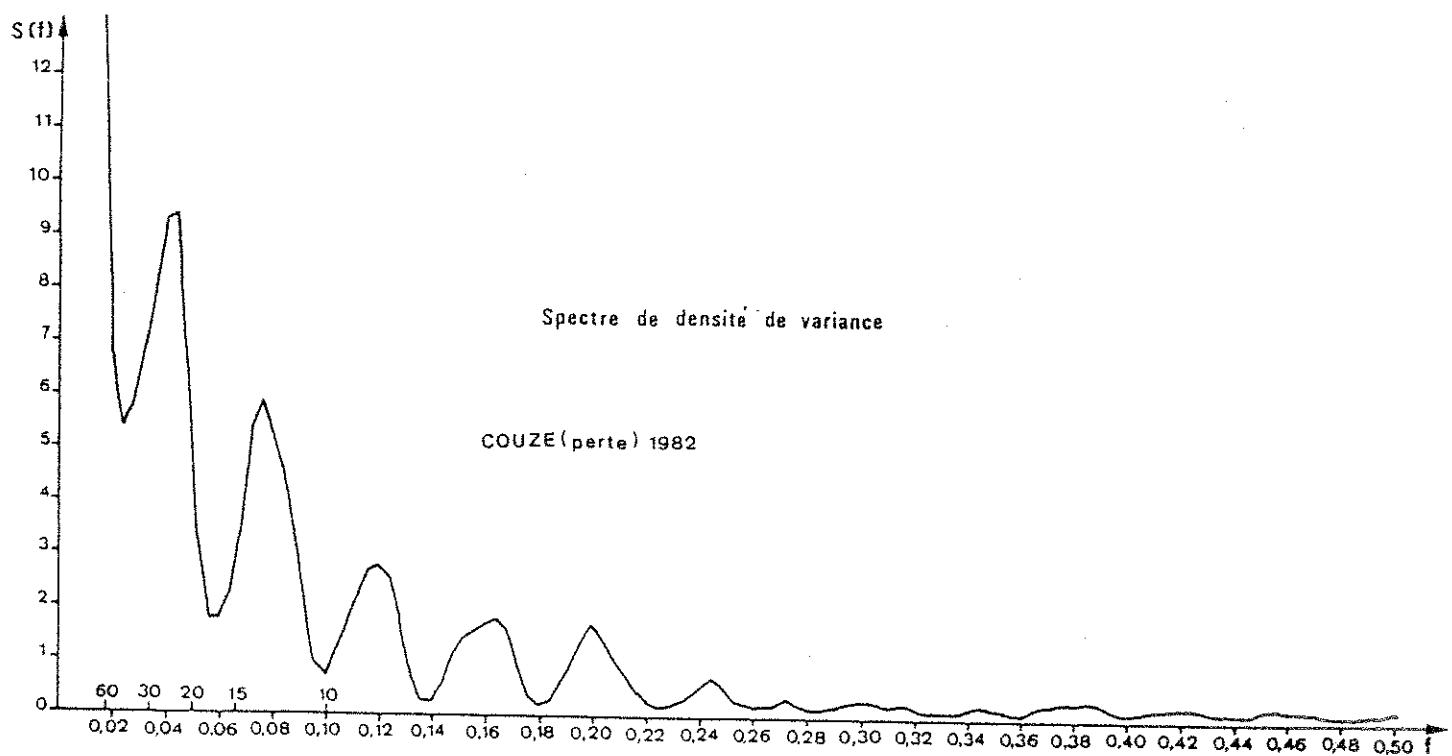
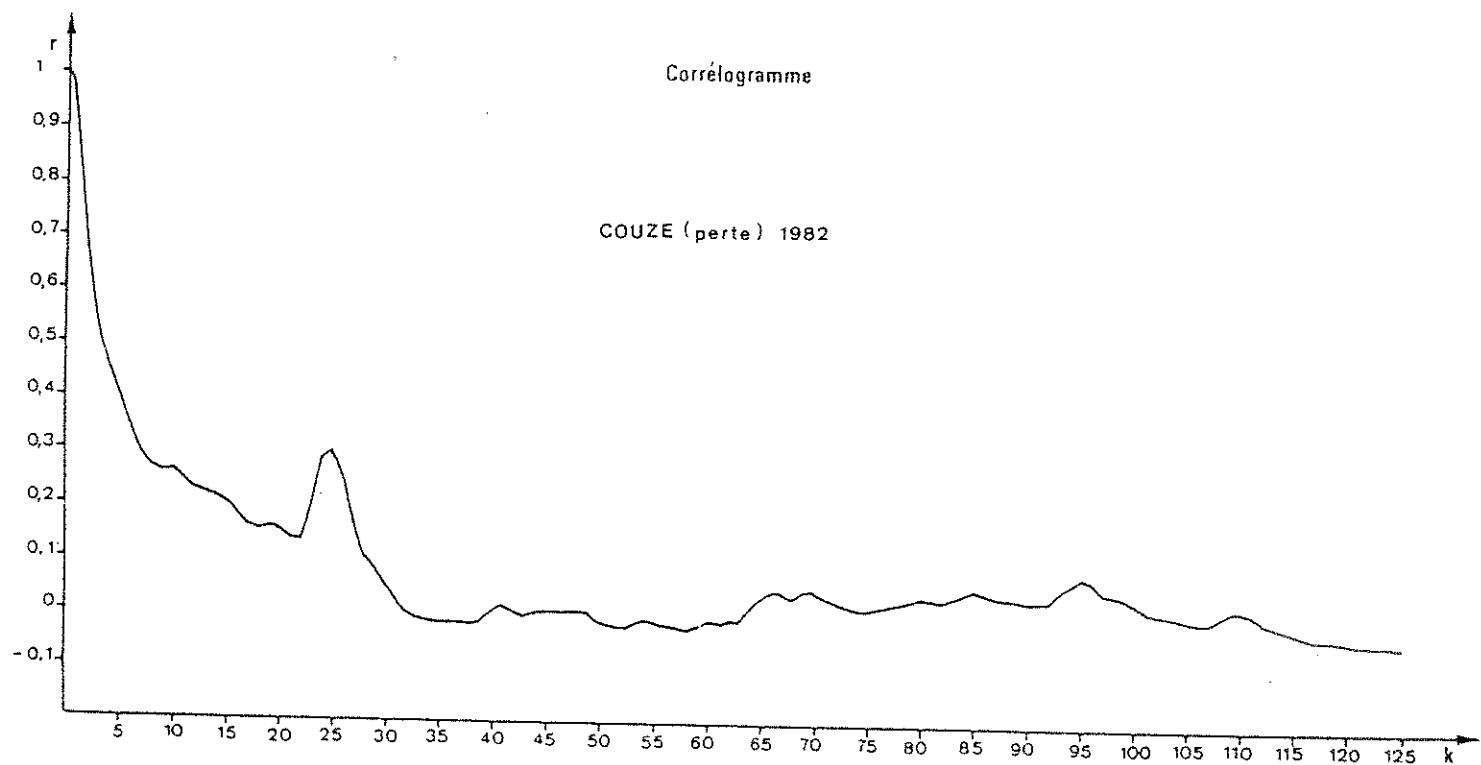
Corréogramme simple
Spectre de densité de variance
Fonction d'amplitude croisée
Fonction de phase
Fonction de cohérence
Fonction de gain

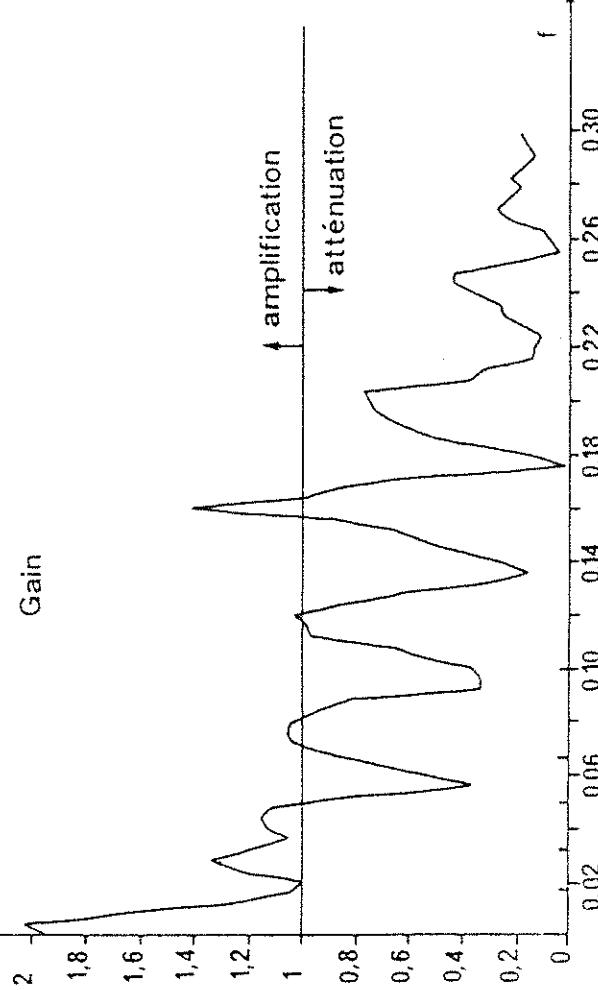
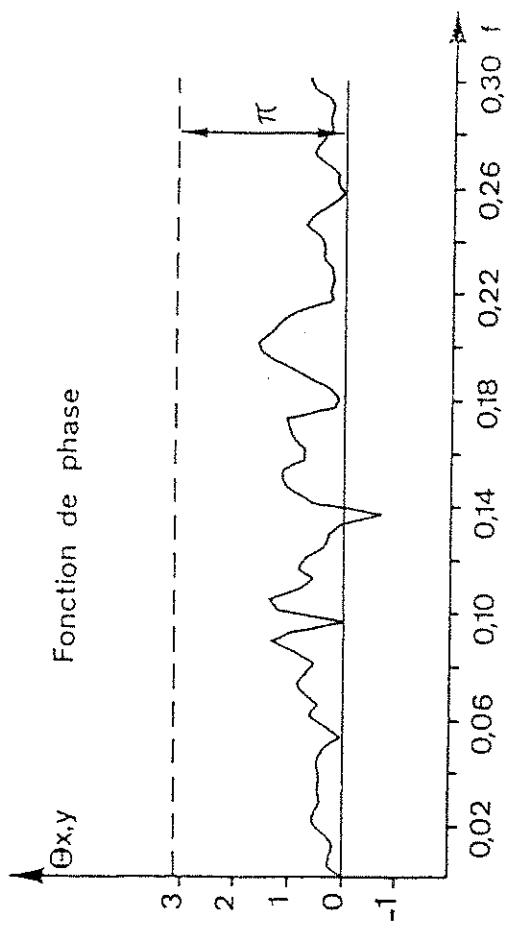
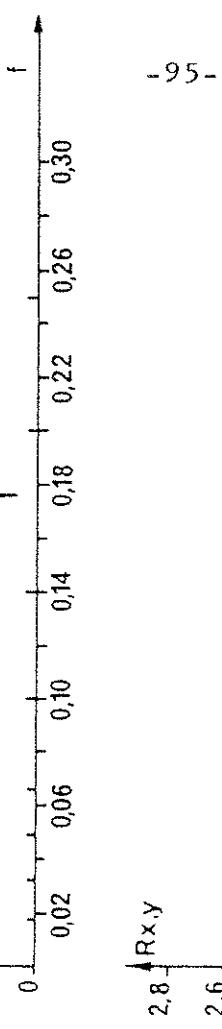
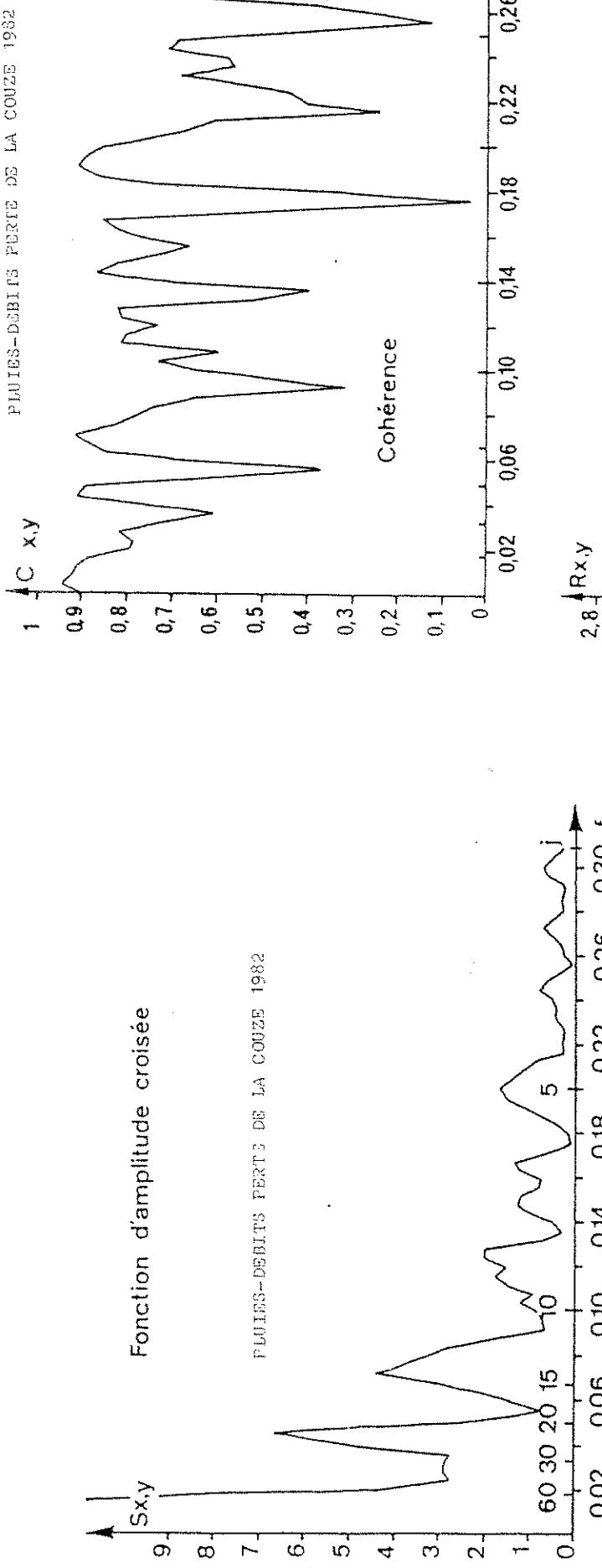




DEBITS DE LA COUZE-PERTE : CYCLE 1982

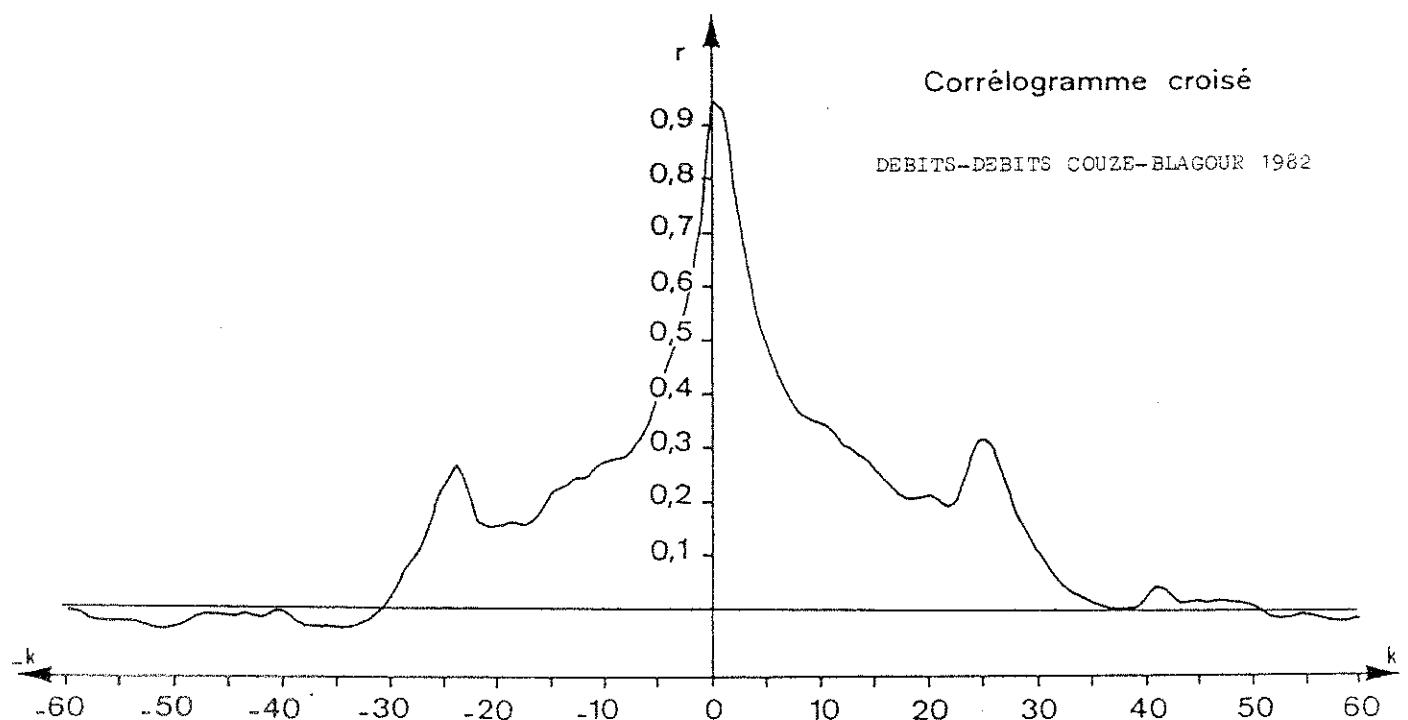
Corréogramme simple
Spectre de densité de variance
Fonction d'amplitude croisée
Fonction de phase
Fonction de cohérence
Fonction de gain





ANALYSE CROISEE:DEBITS DU BLAGOUR-DEBITS DE LA COUZE-PERTE

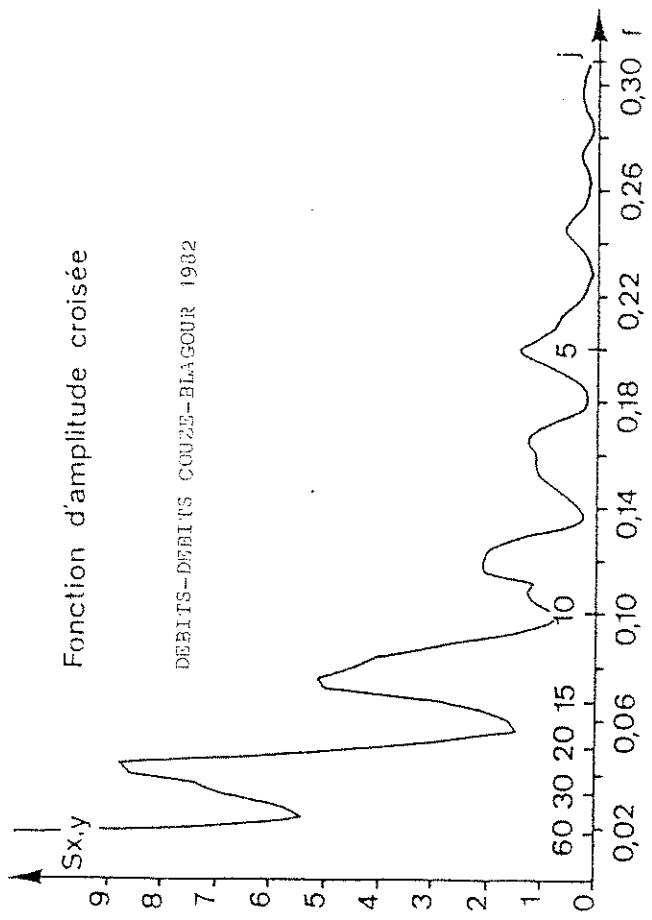
Corréogramme croisé
Fonction d'amplitude croisée
Fonction de phase
Fonction de cohérence
Fonction de gain





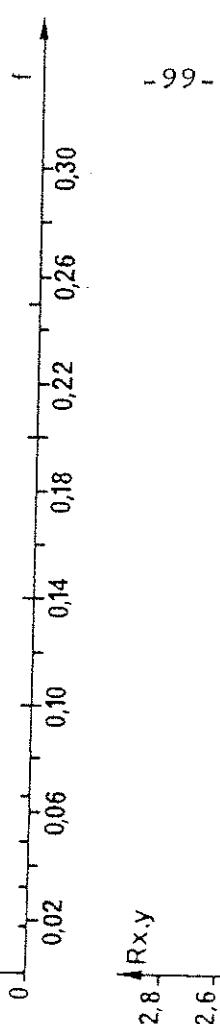
Fonction d'amplitude croisée

DEBITS-DEBITS COUZE-BLAGOUR 1932



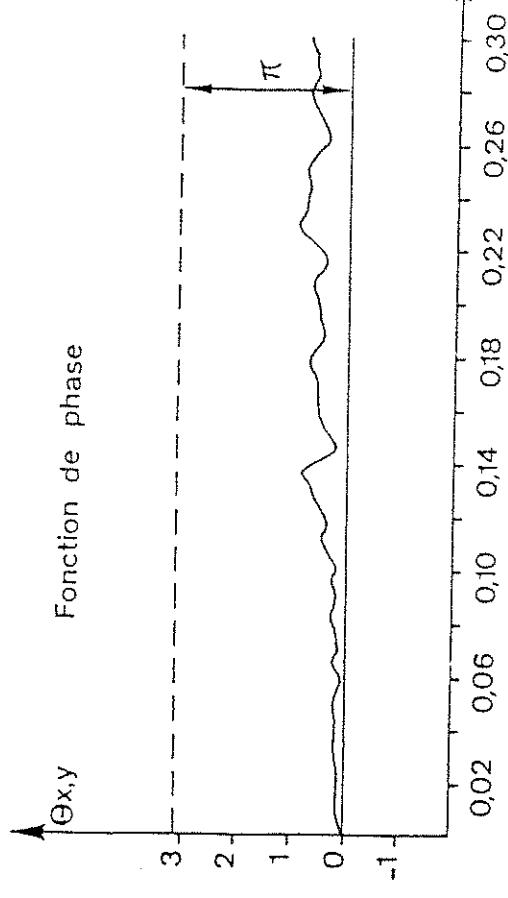
Fonction d'amplitude croisée
DEBITS-DEBITS COUZE-BLAGOUR 1932

Cohérence

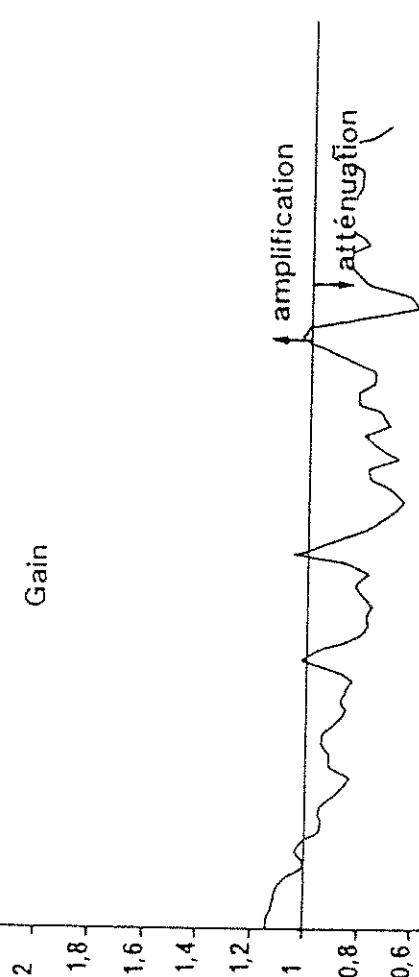


- 99 -

R_{xy}



Gain



ANNEXE VII

PRINCIPE DES ANALYSES CHIMIQUES

CALCUL DE LA $p\text{CO}_2$ équi., CO_2 dissous, ET DU pH d'équi.

DONNEES HYDROGEOCHIMIQUES BRUTES

-prélèvements bimensuels

-prélèvements lors des crues

PRINCIPE DES ANALYSES CHIMIQUES

I La dureté totale

La dureté totale correspond à la concentration des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Elle s'exprime soit mg/l, soit en méq/l mais le plus couramment en degré hydrotimétrique (1° hydrotimétrique français = 0.2 méq/l).

Le dosage des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} se fait par dosage complexométrique classique. L'acide éthylènediaminetétracétique et ses sels de sodium (EDTA) forment en solution aqueuse des associations stables, ou complexes, avec des ions alcalinoterreux dans certaines conditions de pH.

Grâce à un indicateur on détecte la présence de ces ions libres dans la solution. En ajoutant de l'EDTA, et, lorsqu'il n'y a plus d'ions libres l'indicateur change de couleur. La quantité d'EDTA versée est proportionnelle à la concentration en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

L'indicateur coloré employé est le noir eriochrome T qui en présence d'ions libres est rose et vire au bleu en leur absence. Le pH de la solution doit être tamponné à 10.

II Alcalinité totale

L'alcalinité totale correspond à la concentration de la solution en ions HCO_3^- et dans certaines conditions de pH de l'ion CO_3^{2-} . Elle s'exprime en degré alcalimétrique français (1° français = 0.2 méq/l). Elle peut également être exprimée en mg/l.

Le dosage employé est un dosage pH-métrique classique. Au moment du virage le pH varie très vite. Le point équivalent définit comme le point où DpH/DV est maximum est déterminé soit au pH-mètre, soit à l'aide d'un indicateur coloré. Au point équivalent le volume de HCl versé est proportionnel à la concentration d'ions HCO_3^- de la solution.

Dans le cadre de cette étude nous avons suivi le dosage au pH-mètre, après avoir vérifié que le point équivalent correspond à pH 4.45.

III Les sulfates

En milieu acide, le sulfate de baryum est le seul précipité totalement insoluble.

On utilise cette propriété pour doser l'ion sulfate par addition de chlorure de baryum à l'échantillon acidifié; il se produit un trouble, dû au précipité, que l'on maintient à l'état dispersé et en suspension par des additions adéquates (glycérol, éthanol, NaCl).

L'intensité du trouble produit est mesurée au spectrophotomètre, par absorption de lumière à 420 nm (cuves 1 ou 4 cm).

La densité optique a été mesurée après 3mn aussi bien pour les échantillons que pour les standards. Un étalonnage a été effectué avant chaque série d'échantillons car on remarque des fluctuations de la courbe. A cause d'un dépôt de BaSO_4 sur les parois de la cuve, la mesure de densité optique retenue est la différence entre la D0 de l'échantillon non traité et la D0 de l'échantillon traité. Les deux mesures se font l'une après l'autre.

IV La Silice

La silice réagit à pH 1.2 avec le molybdate d'ammonium pour donner de l'acide molybdosilicique de couleur jaune, dont on mesure la densité optique à 410 nm.

Les phosphates, dans les mêmes conditions, donnent de l'acide molybdo-phosphorique, qui peut être détruit par l'addition d'acide oxalique.

La droite d'étalonnage obtenue est stable dans le temps. Les densités optiques doivent être mesurées 10 mn environ après l'addition du molybdate.

V Les chlorures

En présence d'ions Cl^- , le thyocyanate mercurique donne un complexe chloromercurique et libère des ions thiocyanate. Ceux-ci en présence d'ions Fe^{3+} et en milieu acide, donnent un complexe coloré en rouge dont on mesure la densité optique à 455 nm.

La coloration dépend de la température il est donc nécessaire de travailler à température constante (Bain marie).

CALCUL DE LA pCO_2 équi., CO_2 dissous ET DU pHéqui.

$$\log(pCO_2) = \log[HCO_3^-] - pH - \log K_o - \log K_1$$

$$CO_2 \text{ dissous} = (\log K_o - \log pCO_2) \cdot 44,009 \text{ en g/l}$$

$$pH \text{ équi.} = A - \log(\gamma_{Ca^{2+}}) - \log(\gamma_{HCO_3^-}) - \log TAC - \log(\gamma_{Mg^{2+}}) + C + D$$

avec $A = -0.0174 \cdot t + 9.901$ t est la température en °

$$C = 0.051526 (\gamma_{Mg^{2+}})^{0.505662}$$

$$D = \log \frac{4.074 \times 10^{-3}}{4.074 \times 10^{-3} \cdot m_{SO_4^{2-}}}$$

Remarques: 1°) $[x_i]$ est l'activité de l'ion x_i

$$[x_i] = m_{x_i} \cdot \gamma_{x_i}$$

* m_{x_i} est la molalité de l'ion x_i

$$m_{x_i} = (x_i / Z_i) \cdot 10^{-3}$$

x_i est exprimé en méq/l

Z_i est la valence de l'ion x_i

* γ_{x_i} est le coefficient d'activité de l'ion x_i

$$\log \gamma_{x_i} = \frac{-a \cdot Z_{x_i} \cdot \sqrt{\mu}}{1 + a \cdot b \cdot \sqrt{\mu}}$$

μ est la force ionique

$$\mu = 1/2 \cdot \sum m_{x_i} \cdot Z_{x_i}^2$$

$$a = 9.2 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0.485$$

$$b = 1.62 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0.3241$$

t est la température en °

a° est le rayon d'influence

$$a_{HCO_3^-}^\circ = 4.25$$

$$a_{Ca^{2+}}^\circ = 6.0$$

2°) Calcul des constantes.

$$\log K = a + b / T + c T$$

T est la température en ° Kelvin

$$T = t^\circ + 273.15$$

Les valeurs de a, b, c sont fournies dans le tableau suivant:

	a	b	c
K_o	-14.018	2385.7	0.01526
K_1	14.8435	-3404.71	-0.03279
K_2	6.498	-2902.39	-0.02379
K_s	13.870	-3059	-0.04035

Cette méthode de calcul est dérivée des travaux de H. Roques.
Les formules et les constantes sont celles utilisées au Laboratoire souterrain du CNRS de Moulis (Ariège).

DONNEES HYDROGEOCHIMIQUES BRUTES

Prélèvements bimensuels:

- Source du BLAGOUR
- Source du SORPT
- Source de FONTILLE
- Cressonnière du Blagour
- EVENT d' ENTRECORDS
- PERTE DE LA COUZE
- PERTE DE LACOSTE

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Mine.	Bilan	pHaq	DpH	PCO ₂	[CO ₂]aq
31-03-81	11.6	7.31	4.79	9.0	288.0	1.21	2.97	5.56	93.4	4.56	433.2	404.9	2.38	7.24	.074	1.17	2.62	
18-04-81	12.5	7.29	5.21	9.9	311.8	1.17	2.99	6.11	180.2	5.89	468.1	437.3	1.78	7.17	.124	1.34	2.91	
27-04-81	12.2	7.38	5.14	9.5	328.3	1.29	2.99	5.20	106.0	5.25	320	496.3	457.2	1.86	7.12	.256	1.14	2.50
01-05-81	12.7	7.18	4.57	8.0	319.7	1.29	3.08	6.25	99.6	5.71	925	469.8	442.5	.99	7.15	.027	1.78	3.93
15-06-81	13.0	7.12	4.93	8.4	338.0	1.13	2.99	6.05	183.6	5.34	410	500.0	465.2	.21	7.11	.061	1.92	4.11
28-06-81	13.0	7.17	5.42	8.8	314.8	1.33	3.15	6.21	180.9	5.52	360	469.7	439.8	1.56	7.15	.018	1.98	3.94
13-07-81	13.0	7.22	4.99	9.3	314.9	1.21	3.17	7.07	92.4	.29	520	470.7	432.9	1.85	7.17	.049	1.68	3.42
27-07-81	12.9	7.20	5.21	8.9	335.0	1.21	3.17	6.94	195.0	5.43	320	499.6	465.5	1.33	7.12	.083	1.78	3.80
12-08-81	13.0	7.12	5.28	8.8	342.3	1.29	3.13	6.70	184.2	5.66	195	506.9	471.5	.28	7.11	.062	1.95	4.16
31-08-81	13.0	7.60	5.25	8.7	353.9	1.17	3.06	6.00	111.0	5.71	150	500.6	489.7	.92	7.07	.531	.75	1.59
14-09-81	13.0	7.33	5.32	8.6	345.4	1.33	3.13	6.92	189.6	5.76	170	502.9	461.3	1.84	7.09	.243	1.36	2.90
28-09-81	13.1	7.02	5.64	10.6	339.3	1.94	3.54	6.05	184.4	5.62	360	497.3	471.3	.24	7.11	.087	2.73	5.91
12-10-81	13.1	7.22	5.28	10.5	334.4	1.68	3.31	7.48	182.4	5.62	100	488.2	465.6	.49	7.13	.090	1.79	3.61
26-10-81	11.6	7.24	4.93	10.5	312.3	1.37	3.15	6.19	98.0	5.94	895	459.0	441.4	.13	7.18	.055	1.52	3.39
09-11-81	12.3	7.15	4.39	9.3	352.7	1.41	3.08	7.34	113.4	5.53	255	504.9	492.1	2.54	7.08	.070	2.98	4.54
20-11-81	12.4	7.28	5.11	8.1	341.7	1.21	3.03	7.22	111.4	5.62	163	506.5	472.9	3.35	7.10	.184	1.50	3.26
07-12-81	11.8	7.49	5.18	8.9	335.6	1.37	3.15	7.16	105.2	5.57	345	483.1	466.5	1.53	7.14	.354	.90	2.80
21-12-81	10.9	7.23	5.25	9.9	305.1	1.17	2.99	5.93	95.9	4.97	1955	438.6	426.0	.63	7.22	.012	1.48	3.39
04-01-82	11.7	7.18	4.93	8.1	314.8	1.99	3.03	5.88	181.0	4.97	1200	458.8	438.9	1.91	7.17	.021	1.68	3.76
18-01-82	12.0	7.16	4.96	6.5	325.9	1.93	3.13	6.18	106.0	5.34	740	482.2	453.7	3.01	7.13	.023	1.98	4.14
01-02-82	11.6	7.16	4.89	7.0	310.0	1.17	3.13	6.13	93.9	5.02	711	466.7	432.1	2.58	7.18	.022	1.78	3.98
15-02-82	12.0	7.20	5.14	7.4	323.4	1.13	3.11	6.55	104.2	5.34	380	472.0	452.1	1.96	7.14	.055	1.70	3.75
01-03-82	11.9	7.40	4.86	7.9	292.8	1.21	3.22	6.58	93.9	5.34	482	438.5	415.3	1.98	7.22	.127	.99	2.19
15-03-82	11.5	7.43	4.86	8.0	308.7	1.13	3.26	6.11	100.0	4.97	525	444.9	432.4	2.66	7.19	.245	.95	2.13
29-03-82	12.0	7.40	4.84	7.9	324.6	1.96	2.99	6.16	103.2	5.02	563	468.4	458.5	1.76	7.14	.255	1.06	2.37
12-04-82	12.4	7.36	4.82	7.6	329.5	1.96	2.99	6.11	103.9	5.25	430	468.3	455.9	1.23	7.13	.231	1.20	2.62
26-04-82	12.6	7.36	5.71	7.4	338.0	1.98	2.99	6.22	108.0	5.57	295	492.3	463.3	1.69	7.10	.260	1.24	2.67
10-05-82	12.4	7.38	5.83	7.2	327.7	1.96	3.13	6.38	104.2	5.80	270	484.0	454.6	1.93	7.13	.258	1.12	2.43
24-05-82	12.8	7.24	5.93	7.2	340.5	1.96	3.13	6.44	108.9	5.89	240	488.2	472.1	2.18	7.29	.148	1.64	3.53
07-06-82	12.6	7.26	5.25	7.2	341.7	1.21	3.15	6.54	105.0	5.80	220	497.0	474.0	2.08	7.23	.169	1.57	3.38
21-06-82	12.9	7.29	4.96	7.0	344.1	1.96	3.13	6.53	111.4	5.80	195	503.9	479.3	2.76	7.28	.212	1.48	3.17
25-07-82	12.9	7.28	5.11	6.8	342.9	1.92	2.99	6.65	106.9	5.71	180	500.5	477.2	.41	7.09	.190	1.53	3.28
19-07-82	12.9	7.34	4.96	6.6	342.9	1.92	2.99	6.65	106.4	5.76	168	492.0	471.4	1.92	7.10	.243	1.32	2.82
02-08-82	12.9	7.30	4.93	6.5	340.5	1.98	3.06	6.63	104.8	6.03	145	493.1	467.3	.71	7.11	.185	1.43	3.27
16-08-82	12.9	7.36	5.64	6.0	341.7	1.94	3.17	6.76	102.4	5.99	130	508.5	471.6	1.66	7.18	.265	1.25	2.68
20-08-82	12.8	7.38	5.32	5.5	338.3	1.94	3.13	6.73	108.2	6.12	120	517.4	467.6	2.49	7.18	.283	1.18	2.54
13-09-82	12.9	7.33	5.03	5.5	344.1	1.90	3.10	6.96	105.4	6.12	110	506.5	471.0	.68	7.10	.231	1.35	2.90

SOURCE DU BLAGOUR: T en °C; Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ et SiO₂ en mg/l; Débit en m³/s; Conductivité en µs/cm; Minéralisation en mg/l; Bilan en %; pCO₂ en 10⁻² atm.; (CO₂)_{aq} en 10⁻² g/l

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Mine.	Bilan	pHaq	DpH	PCO ₂	[CO ₂]aq
31-03-81	11.6	7.31	.135	4.72	.031	.129	.457	4.66			433.2	10.42	2.30	7.24	.074	1.17	2.62	
10-04-81	12.5	7.29	.147	.205	5.11	.050	.130	.583	5.00		468.1	11.25	1.78	7.17	.124	1.34	2.91	
27-04-81	12.2	7.38	.145	.177	5.38	.029	.130	.469	5.29		320	486.3	11.73	1.96	7.12	.256	1.14	2.50
01-05-81	12.7	7.18	.129	.182	5.24	.033	.134	.514	4.97		925	469.6	11.30	.99	7.15	.027	1.78	3.93
15-06-81	13.0	7.12	.139	.175	5.54	.029	.130	.498	5.17		410	500.8	11.98	.21	7.11	.061	1.92	4.11
28-06-81	13.0	7.17	.153	.184	5.16	.034	.137	.511	4.99		360	483.7	11.29	1.56	7.15	.016	1.90	3.84
13-07-81	13.0	7.22	.138	.184	5.16	.031	.138	.582	4.96		670	470.2	11.10	1.85	7.17	.048	1.68	3.42
27-07-81	12.9	7.20	.147	.166	5.49	.031	.138	.521	5.24		320	499.6	11.92	1.33	7.12	.083	1.78	3.80
12-08-81	13.0	7.17	.149	.183	5.61	.033	.136	.551	5.19		195	506.9	11.97	.28	7.11	.062	1.95	4.16
31-08-81	13.0	7.68	.148	.181	5.80	.030	.133	.543	5.54		150	506.6	12.50	.92	7.07	.531	.75	1.59
14-09-81	13.0	7.33	.158	.200	5.86	.034	.136	.569	5.42		120	502.9	12.34	1.64	7.09	.243	1.36	2.90
28-09-81	13.1	7.32	.221	.211	5.56	.047	.154	.498	5.21		360	472.3	11.97	.24	7.11	.067	2.73	5.81
12-10-81	13.1	7.22	.149	.219	5.49	.043	.144	.615	5.11		100	499.2	11.98	.49	7.13	.090	1.78	3.81
26-10-81	11.6	7.24	.139	.219	5.20	.035	.137	.583	4.99		895	453.0	11.28	.13	7.18	.055	1.52	3.39
09-11-81	12.3	7.15	.138	.194	5.76	.036	.134	.604	5.66		255	504.3	12.66	2.54	7.08	.070	2.08	4.54
23-11-81	12.4	7.28	.144	.183	5.69	.031	.132	.539	5.56		163	506.5	12.36	3.35	7.10	.184	1.50	3.26
02-12-81	11.9	7.43	.146	.185	5.50	.035	.137	.583	5.25		345	483.1	11.36	1.53	7.14	.354	.90	2.30
21-12-81	10.9	7.23	.148	.205	5.00	.030	.130	.480	4.78		1955	438.6	10.98	.63	7.22	.012	1.48	3.38
04-01-82	11.7	7.19	.169	.168	5.16	.028	.132	.484	5.									

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Nat ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Mine.	Bilan	pH _{aq}	Dph	PCO ₂	(CO ₂)aq
31-03-81	12.6	7.27	5.57	6.5	332.5	.98	2.98	5.14	108.2	4.56		490.4	401.8	1.95	7.10	.123	1.50	3.24
10-04-81	12.8	7.23	5.67	8.0	341.1	1.09	2.98	6.42	108.3	4.56		503.3	473.2	1.31	7.10	.134	1.68	3.62
27-04-81	12.8	7.29	5.62	5.5	345.4	1.02	2.85	7.24	107.4	5.43	.280	500.2	475.1	1.46	7.10	.195	1.49	3.19
19-05-81	12.6	7.29	5.74	7.8	342.3	1.03	2.98	5.59	111.9	5.02	.530	502.1	472.2	2.13	7.08	.212	1.42	3.17
31-06-81	12.7	7.21	5.00	10.0	352.7	.98	2.92	5.38	112.8	5.16	.485	513.7	498.9	1.22	7.07	.144	1.82	3.93
15-06-81	12.9	7.29	5.46	8.1	344.1	.98	2.85	7.23	104.2	5.25	.255	506.3	473.2	- .20	7.10	-.020	2.35	5.84
29-06-81	13.1	7.11	5.64	8.6	341.7	1.06	2.87	7.89	105.6	5.48	.200	503.0	473.5	1.14	7.11	.005	2.23	4.76
13-07-81	13.0	7.20	5.07	8.5	339.3	1.25	2.98	5.71	107.4	5.06	.370	514.3	470.1	1.15	7.09	.198	1.80	3.84
27-07-81	13.0	7.17	5.52	6.0	341.1	1.13	2.97	7.76	103.8	5.62	.185	511.8	468.3	1.91	7.11	.056	1.94	4.14
17-08-81	13.1	7.34	5.28	7.2	363.1	1.13	2.92	8.18	112.6	4.65	.140	511.4	508.9	1.44	7.36	.280	1.40	2.98
31-08-81	13.1	7.37	5.24	8.3	344.1	1.06	2.92	9.01	107.8	6.03	.115	500.7	479.0	2.45	7.11	.264	1.23	2.63
14-09-81	13.1	7.25	5.64	8.0	347.8	1.17	3.01	9.12	105.8	5.38	.180	502.0	493.4	1.25	7.11	.140	1.64	3.50
28-09-81	12.9	6.92	6.03	13.6	355.1	1.89	3.56	4.59	115.6	4.98	.340	522.1	500.5	.66	7.24	-.125	3.58	7.06
12-10-81	13.0	7.12	5.39	7.4	366.1	1.21	2.99	7.52	112.6	5.48	.330	520.2	503.2	.75	7.05	.366	2.33	4.37
26-10-81	12.9	7.24	5.71	11.2	363.7	1.17	3.01	6.28	117.9	5.39	.550	530.8	508.1	1.30	7.04	-.1	2.78	5.35
09-11-81	13.0	7.20	5.18	7.2	366.1	1.09	2.92	7.48	114.6	5.43	.160	530.2	524.6	1.56	7.05	-.042	3.07	6.55
23-11-81	13.1	7.27	5.35	6.9	351.5	1.06	2.87	8.58	109.4	5.57	.129	522.8	485.6	2.08	7.03	-.216	2.51	5.35
07-12-81	13.0	7.24	5.00	6.4	372.2	1.09	2.92	7.17	115.6	5.06	.217	521.0	510.4	1.09	7.03	.266	1.78	3.93
21-12-81	12.4	7.15	5.14	11.0	353.9	.98	2.78	5.23	114.8	4.93	.980	503.1	493.9	1.05	7.06	.091	2.09	4.54
04-01-82	12.5	7.26	5.03	8.2	352.7	.86	2.87	5.64	112.6	4.74	.598	505.3	483.2	.85	7.07	-.066	2.56	5.56
19-01-82	12.7	7.28	5.28	9.1	351.5	.90	2.85	6.52	110.2	5.34	.360	514.2	486.4	.72	7.08	.201	1.54	3.33
01-02-82	12.7	7.10	4.93	9.0	351.5	.90	2.85	6.81	113.5	4.93	.370	519.7	488.9	1.77	7.06	.036	2.34	5.03
15-02-82	12.8	7.05	5.28	9.4	349.0	.82	2.92	7.03	109.8	5.53	.215	513.4	494.6	1.35	7.09	-.038	2.61	5.60
31-03-82	12.3	7.22	2.21	8.7	349.0	.90	2.87	6.89	118.8	5.25	.265	505.4	485.4	1.46	7.09	.130	1.75	3.93
15-03-82	12.7	7.24	5.07	9.4	352.7	.94	2.85	6.13	112.2	4.74	.335	506.7	489.3	1.05	7.07	.172	1.70	3.66
29-03-82	12.7	7.22	6.20	8.0	358.2	.78	2.85	6.73	112.4	5.29	.310	492.2	482.2	1.62	7.08	.145	1.77	3.81
12-04-82	12.8	7.20	5.21	8.7	351.5	.78	2.85	7.18	110.8	5.66	.240	494.7	488.0	1.25	7.08	.119	1.86	3.99
26-04-82	13.0	7.19	5.28	9.5	347.8	.96	2.90	7.96	108.4	5.76	.185	503.6	481.7	1.49	7.10	.085	1.93	4.12
10-05-82	13.0	7.18	5.74	8.7	342.9	.96	2.92	8.23	108.6	5.76	.158	508.7	478.2	2.34	7.10	.029	1.90	4.06
24-05-82	13.1	7.12	5.24	8.7	341.7	.82	2.92	8.59	107.2	5.66	.120	505.6	475.7	2.18	7.11	.011	2.18	4.64
07-06-82	13.1	7.18	5.46	9.7	340.5	1.03	2.90	8.89	105.6	5.71	.100	493.9	474.1	1.80	7.12	.061	1.99	4.03
21-06-82	13.2	7.21	5.39	7.1	339.3	1.05	2.97	8.49	106.2	5.94	.390	502.0	470.5	2.48	7.11	.038	1.76	3.74
05-07-82	13.2	7.22	5.46	7.6	343.5	1.02	2.97	8.52	102.2	5.76	.375	495.5	472.3	.77	7.13	.033	1.74	3.70
19-07-82	13.3	7.24	5.35	7.2	339.3	.98	2.85	9.73	103.0	5.52	.065	494.8	468.4	1.94	7.13	.111	1.65	3.49
02-08-82	13.2	7.22	5.46	6.3	349.5	1.02	2.97	10.25	102.0	5.57	.055	492.0	468.3	1.74	7.13	.027	1.77	3.75
16-08-82	13.2	7.25	5.42	6.3	338.0	.98	3.27	10.50	100.6	6.17	.045	491.6	465.0	1.85	7.14	.106	1.60	3.40
30-08-82	13.2	7.27	5.14	7.0	333.2	.82	3.88	10.60	100.8	6.12	.048	512.8	460.6	2.52	7.15	.120	1.51	3.20
13-09-82	13.3	7.23	5.03	6.5	338.0	.82	2.97	10.80	101.2	6.26	.030	511.6	465.1	2.13	7.14	.089	1.68	3.55

SOURCE DU SORPT: T en °C; Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ et SiO₂ en mg/l; Débit en m³/s; Conductivité en µs/cm; Minéralisation en mg/l; Bilan en %; PCO₂ en 10⁻² atm.; (CO₂)aq en 10⁻² g/l

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Nat ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Mine.	Bilan	pH _{aq}	Dph	PCO ₂	(CO ₂)aq
31-03-81	12.6	7.27	.157	5.45	.025	.126	.423	5.49				490.4	11.81	1.95	7.10	.123	1.50	3.24
10-04-81	12.8	7.23	.160	5.53	.028	.126	.526	5.39				503.3	12.08	1.31	7.10	.134	1.68	3.62
27-04-81	12.8	7.29	.160	5.86	.026	.124	.596	5.36				500.2	12.16	1.46	7.10	.195	1.49	3.19
19-05-81	12.6	7.29	.162	5.61	.029	.126	.460	5.58				530.2	12.24	2.13	7.08	.212	1.42	3.17
31-06-81	12.7	7.21	.141	5.28	.025	.122	.485	5.83				465	513.7	12.52	1.02	7.10	-.020	2.35
15-06-81	12.9	7.29	.154	5.64	.025	.124	.595	5.20				255	506.3	12.02	- .20	7.10		5.04
29-06-81	13.1	7.11	.159	5.60	.027	.123	.643	5.27				200	508.0	12.13	1.14	7.11	.005	2.23
13-07-81	13.0	7.20	.143	5.56	.032	.126	.470	5.36				370	514.3	11.98	1.15	7.09	.108	3.94
27-07-81	13.0	7.17	.152	5.53	.029	.123	.638	5.18				185	511.8	11.92	.91	7.11	.056	1.94
17-08-81	13.1	7.34	.160	5.95	.023	.127	.671	5.62				140	511.4	12.91	1.44	7.06	.280	1.40
31-08-81	13.1	7.37	.162	5.64	.027	.127	.741	5.38				115	500.7	12.38	2.45	7.11	.264	1.23
14-09-81	13.1	7.25	.159	5.70	.030	.131	.750	5.27				100	502.0	12.33	1.25	7.11	.140	3.50
28-09-81	12.9	6.92	.170	5.92	.051	.155	.378	5.77				340	522.1	12.74	.86	7.04	-.125	3.58
12-10-81	13.0	7.12	.152	5.00	.031	.130	.619	5.82				330	520.7	12.93	.75	7.05	.066	2.33
26-10-81	12.9	7.04	.161	5.38	.030	.131	.517	5.84				550	530.8	12.88	1.38	7.04	-.	5.35
09-11-81	13.0	7.00	.146	5.00	.028	.127	.615	5.72				160	530.2	12.91	1.56	7.05	-.042	3.07
23-11-81	13.1	7.07	.144	5.76	.027	.125	.689	5.46				128	522.8	12.49	2.08	7.03	-.016	2.51
07-12-81	13.0	7.24	.141	6.10	.029	.122	.590	5.77				217	521.0	13.00	1.93	7.03	.206	1.53
21-12-81	1																	

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Nat	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Mine.	Bilan	pHaq	DpH	PCO2	[CO2]aq	
31-03-81	12.9	7.27	4.57	3.2	352.1	.78	2.44	5.49	113.4	4.33	.039	509.3	482.0	2.23	7.05	.222	1.53	3.39	
18-04-81	13.1	7.18	4.54	4.9	342.3	.74	2.57	5.49	109.6	9.58	.035	500.3	470.2	1.72	7.07	.106	1.90	4.05	
27-04-81	12.9	7.33	4.54	6.1	345.4	.78	2.67	6.03	104.6	5.20	.034	508.3	470.0	-	4.43	7.10	.235	1.36	2.91
19-05-81	13.1	7.22	4.25	7.2	361.8	.92	2.57	5.12	113.4	4.93	.022	501.3	495.8	.02	7.04	.183	1.93	3.90	
01-06-81	13.1	7.27	4.54	7.2	362.4	.92	2.69	5.20	116.6	4.97	.066	517.1	499.5	1.35	7.03	.244	1.64	3.49	
15-06-81	13.1	7.17	4.84	4.1	347.2	.78	2.64	6.01	102.8	5.25	.039	508.6	472.4	.48	7.08	.092	1.98	4.21	
29-06-81	13.1	7.12	5.03	6.9	331.9	.98	2.78	6.49	102.6	5.43	.023	500.1	456.7	.61	7.12	-	2.12	4.52	
13-07-81	13.1	7.04	3.97	4.9	342.2	1.02	2.57	4.94	114.4	4.28	.045	518.3	478.0	2.92	7.05	-	.005	2.66	5.67
27-07-81	13.1	7.10	4.47	6.2	352.1	.98	2.76	6.18	109.2	5.43	.024	500.8	481.9	.65	7.07	.031	2.35	5.01	
31-08-81	13.1	7.19	4.61	6.9	344.1	1.02	2.74	7.07	107.8	5.57	.012	474.7	474.3	1.59	7.03	.100	1.97	3.98	
14-09-81	13.1	7.28	4.82	8.1	341.7	1.09	2.93	7.05	102.8	5.53	.018	466.4	473.4	1.72	7.09	.105	1.81	3.86	
28-09-81	13.1	7.04	4.11	9.3	348.4	1.68	2.60	4.40	113.2	4.97	.038	535.9	483.7	1.21	7.05	-	.006	2.68	5.06
12-10-81	13.3	7.11	4.52	8.3	356.3	1.02	2.69	5.98	112.2	5.34	.035	485.9	491.0	.66	7.05	.059	2.33	4.93	
26-10-81	13.3	7.19	4.33	7.4	363.7	1.08	2.69	5.60	118.2	5.39	.058	497.5	503.0	2.11	7.02	.121	1.98	4.18	
29-11-81	13.3	7.03	4.84	7.2	358.9	.96	2.64	5.98	116.0	5.20	.027	492.1	496.1	2.03	7.03	-	.004	2.82	5.98
23-11-81	13.3	7.20	4.40	7.1	349.8	.90	2.74	6.38	108.6	5.29	.015	512.0	481.1	1.57	7.07	.133	1.98	3.93	
07-12-81	13.2	7.21	4.94	8.4	368.1	.78	2.57	5.60	117.0	4.98	.031	516.4	504.5	1.12	7.02	.182	1.90	4.02	
21-12-81	12.9	7.11	4.08	9.8	373.4	.74	2.57	4.79	117.6	4.74	.106	523.9	513.0	-.39	7.01	.037	2.43	5.20	
04-01-82	13.0	7.05	4.18	9.0	369.9	.78	2.55	4.74	117.2	4.79	.026	524.5	508.2	.05	7.02	.034	2.76	5.90	
18-01-82	12.6	7.12	4.30	8.1	362.4	.78	2.62	5.45	116.4	5.23	.055	512.7	500.1	1.30	7.04	.082	2.30	4.36	
01-02-82	12.6	7.25	4.22	7.1	364.9	.78	2.57	5.17	119.2	4.97	.031	532.3	504.0	2.08	7.02	.028	2.71	5.87	
15-02-82	12.6	7.28	4.03	6.2	349.0	.78	2.65	5.73	112.4	5.28	.024	502.2	491.2	2.02	7.07	.014	2.43	5.25	
21-03-82	13.1	7.22	4.33	7.1	350.2	.74	2.69	5.15	113.8	5.39	.017	499.9	484.9	1.85	7.05	.172	1.77	3.78	
15-03-82	12.6	7.24	4.18	8.1	358.2	.82	2.62	5.11	115.9	4.92	.046	512.4	494.9	1.44	7.04	.198	1.72	3.72	
29-03-82	13.1	7.19	4.33	8.1	352.6	.78	2.62	5.68	115.6	5.25	.042	495.2	494.8	1.80	7.04	.151	1.94	4.13	
12-04-82	13.1	7.18	4.36	8.3	351.5	.74	2.67	5.69	114.4	5.34	.032	493.0	487.7	2.10	7.05	.129	1.95	4.15	
26-04-82	13.2	7.15	4.42	7.1	347.8	.86	2.74	6.22	111.2	5.62	.021	499.9	480.4	1.97	7.07	.083	2.07	4.40	
10-05-82	13.2	7.14	4.52	5.9	341.7	.90	2.90	6.52	107.4	5.82	.015	493.7	469.9	1.83	7.08	.052	2.09	4.43	
24-05-82	13.2	7.29	4.96	5.6	336.3	1.02	2.98	6.92	107.0	5.78	.010	483.3	464.9	2.32	7.10	-	.007	2.31	4.90
07-06-82	13.2	7.14	4.54	5.3	332.2	.98	2.93	6.90	104.3	5.84	.003	487.5	458.5	2.14	7.11	.030	2.04	4.32	
21-06-82	13.2	7.13	4.52	5.9	333.2	1.06	2.83	7.32	105.4	5.84	.025	482.7	460.2	2.55	7.11	.018	2.08	4.42	
05-07-82	13.2	7.13	4.64	6.4	334.4	.98	2.80	7.37	102.4	5.99	.006	484.8	453.0	1.05	7.12	.008	2.39	4.44	
19-07-82	13.2	7.20	4.64	6.5	335.6	1.03	2.74	7.44	107.0	5.94	.006	480.0	465.0	2.87	7.10	.096	1.78	3.78	
02-08-82	13.2	7.15	4.64	6.6	334.4	1.13	2.83	7.26	103.4	6.03	.005	484.0	468.7	1.74	7.12	.029	2.00	4.24	
16-08-82	13.2	7.28	4.72	5.6	331.2	.94	2.84	7.06	99.2	6.31	.005	503.2	454.4	.37	7.14	.062	1.76	3.72	
30-08-82	13.2	7.20	4.72	5.4	334.4	.82	2.94	8.04	102.6	6.31	.004	514.9	458.2	1.88	7.12	.022	1.78	3.78	
13-09-82	13.3	7.16	4.54	5.5	328.3	.98	2.84	7.93	99.4	6.45	.004	500.3	448.6	1.49	7.14	.019	1.92	4.06	

SOURCE DE FONTILLE: $Ten^{\circ}C$; Cl^- ; SO_4^{2-} ; HCO_3^- ; K^+ ; Na^+ ; Mg^{++} ; Ca^{++} et SiO_2 en mg/l ; Débit en m^3/s ; Conductivité en $\mu S/cm$; Minéralisation en mg/l ; Bilan en %; pCO_2 en 10^{-2} atm; $(CO_2)_{aq}$ en 10^{-2} g/l

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Nat	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Mine.	Bilan	pHaq	DpH	PCO2	[CO2]aq
31-03-81	12.9	7.27	.129	.266	5.27	.020	.106	4.52	5.66	.039	.509.3	12.23	2.23	7.05	.222	1.53	3.39	
10-04-81	13.1	7.18	.102	5.61	.019	.112	4.52	5.42	.035	.500.3	12.10	1.72	7.07	.106	1.90	4.05		
27-04-81	12.9	7.33	.126	5.66	.020	.116	4.96	5.22	.034	.500.3	11.90	-.43	7.10	.235	1.36	2.91		
19-05-81	13.1	7.22	.120	.161	5.93	.021	.112	4.21	5.68	.022	.501.3	12.53	.02	7.04	.183	1.93	3.90	
01-06-81	13.1	7.27	.128	.158	5.94	.021	.117	4.28	5.92	.066	.517.1	12.71	1.35	7.03	.244	1.64	3.49	
15-06-81	13.1	7.17	.131	.066	5.69	.020	.115	4.98	5.34	.039	.508.6	11.93	.48	7.08	.092	1.98	4.21	
29-06-81	13.1	7.04	.112	.101	5.89	.026	.112	4.86	5.71	.045	.518.3	12.25	2.92	7.05	-	2.12	4.52	
13-07-81	13.1	7.10	.126	.130	5.77	.025	.120	5.08	5.45	.024	.500.8	12.25	.65	7.07	.005	2.35	5.67	
31-08-81	13.1	7.19	.134	.144	5.64	.028	.119	5.82	5.38	.012	.474.7	12.14	1.59	7.03	.100	1.87	3.98	
14-09-81	13.1	7.20	.136	.168	5.60	.029	.123	5.80	5.38	.010	.486.4	12.14	1.72	7.03	.133	1.96	3.93	
28-09-81	13.3	7.04	.116	.194	5.71	.043	.113	3.62	5.65	.038	.509.5	12.23	1.21	7.05	-	.006	2.68	
12-10-81	13.3	7.11	.129	.173	5.94	.026	.117	4.84	5.60	.039	.495.9	12.48	.66	7.05	.258	2.03	4.83	
26-10-81	13.3	7.19	.122	.154	5.96	.029	.117	4.81	5.30	.050	.492.5	12.36	2.11	7.02	.171	1.98	4.18	
09-11-81	13.3	7.03	.131	.150	5.88	.022	.115	4.85	5.79	.022	.491.1	12.00	2.03	7.03	-	.004	2.82	
23-11-81	13.3	7.20	.124	.142	5.72	.023	.119	5.25	5.52	.015	.512.0	12.29	1.52	7.02	.031	2.35	5.86	
07-12-81	13.2	7.21	.114	.125	6.00	.020	.112	4.61	5.84	.031	.516.4	12.93	1.12	7.02	.182	1.90	4.02	
21-12-81	12.9	7.11	.115	.105	6.12	.019	.112	3.82	5.87	.016	.523.9	12.95	-.39	7.01	.097	2.43	5.20	
04-01-82	13.0	7.05	.116	.167	5.86	.020	.111	4.62	5.77	.026	.517.4	12.60	1.44	7.04	.232	1.98	4.06	
01-02-82	12.6	7.35	.148	5.98	.022	.112	4.48	5.81	.055	.517.2	12.74	1.30	7.04	.082	2.30	4.96		
15-02-82	12.6																	

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Débit	Cond.	Miné.	Bilan	pH _{eq}	D _{pH}	P _{CO2}	[CO2]aq
31-03-81	11.3	7.58	4.47	4.7	341.7	.55	8.44	5.70	108.4	4.51	483.3	474.0	3.52	7.11	.470	.72	1.70	
10-04-81	11.5	7.34	4.42	2.5	342.3	.55	2.92	5.75	106.4	4.60	.100	492.2	469.9	.25	7.12	.224	1.29	2.90
27-04-81	11.2	7.45	4.29	6.1	349.0	.59	2.44	5.85	107.8	4.70	.062	481.1	476.1	.10	7.11	.343	1.02	2.31
19-05-81	11.7	7.43	4.25	5.2	348.4	.63	2.46	5.79	102.8	4.51	.085	486.3	474.6	.37	7.10	.333	1.02	2.30
01-06-81	12.7	2.35	4.11	6.2	353.9	.63	2.49	5.74	114.4	4.56	.025	481.8	487.5	2.93	7.05	.288	1.33	2.86
15-06-81	11.9	7.32	4.18	6.6	349.0	.63	2.25	5.86	102.2	4.78	.058	504.2	475.2	.12	7.10	.222	1.39	3.02
29-06-81	11.8	7.32	4.33	2.0	344.1	.58	2.48	5.83	106.3	4.70	.055	482.7	471.2	.22	7.11	.213	1.32	3.03
13-07-81	12.0	7.34	4.64	3.8	331.9	.53	2.53	5.52	105.2	4.65	.058	486.6	454.3	1.62	7.12	.222	1.26	2.79
27-07-81	12.5	7.29	4.40	6.7	339.9	.63	2.53	5.75	104.9	4.74	.053	496.4	464.7	.06	7.11	.184	1.46	3.12
17-08-81	12.7	2.27	4.43	6.4	352.1	.63	2.51	6.01	111.4	4.98	.058	514.3	493.4	1.21	7.07	.177	1.59	3.42
31-08-81	12.6	7.68	4.33	6.2	353.9	.98	2.51	5.83	112.8	4.74	.035	479.2	485.8	1.32	7.06	.616	.62	1.34
14-09-81	12.5	7.35	4.75	6.0	355.1	.98	2.55	5.98	113.6	4.88	.027	484.2	489.0	1.70	7.06	.281	1.32	2.87
28-09-81	12.9	7.24	4.64	5.8	359.9	.63	2.55	5.94	114.2	4.93	.048	529.2	492.5	1.43	7.05	.193	1.73	3.72
12-10-81	13.0	7.28	4.29	6.0	363.7	.63	2.52	5.94	112.8	4.97	.054	485.8	495.9	.34	7.04	.237	1.60	3.42
26-10-81	12.9	7.29	4.01	6.2	352.7	.63	2.55	5.88	111.6	5.02	.090	481.3	493.5	1.26	7.06	.230	1.52	3.25
03-11-81	12.9	7.15	4.15	6.8	351.5	.59	2.55	5.81	111.3	4.83	.053	488.6	482.4	1.05	7.06	.085	2.09	4.47
23-11-81	13.0	7.35	4.22	7.3	343.0	.66	2.53	5.83	110.6	4.79	.045	546.3	498.2	1.11	7.07	.282	1.31	2.90
07-12-81	12.9	7.27	4.22	7.7	342.0	.63	2.51	5.75	118.0	4.58	.050	486.8	473.1	1.64	7.08	.191	1.54	3.31
21-12-81	12.6	7.38	4.04	6.1	351.5	.63	2.55	5.52	106.2	4.56	.035	479.6	489.5	.45	7.08	.381	1.23	2.65
04-01-82	12.2	7.60	4.18	7.4	353.9	.63	2.57	5.68	112.4	4.42	.054	492.7	488.8	1.10	7.07	.531	.74	1.62
18-01-82	11.9	7.20	4.18	6.7	348.0	.59	2.53	5.52	110.8	4.58	.092	497.0	479.3	1.06	7.08	.117	1.83	4.94
31-02-82	11.9	7.15	4.22	7.2	335.6	.63	2.46	5.31	102.9	4.42	.063	494.7	463.7	1.40	7.11	.041	1.82	4.37
15-02-82	11.7	7.15	4.18	8.7	338.7	.66	2.51	5.28	105.9	4.56	.055	482.1	452.1	.75	7.13	.021	1.94	4.33
31-03-82	11.5	7.43	4.43	8.4	328.3	.66	2.53	5.31	105.3	4.14	.072	464.9	454.6	1.10	7.14	.234	1.01	2.26
15-03-82	11.8	7.48	4.48	8.2	329.5	.59	2.53	5.23	104.9	4.42	.072	479.8	455.2	.78	7.13	.271	1.33	2.42
29-03-82	11.4	7.38	4.22	7.8	335.6	.59	2.53	5.39	107.4	4.42	.038	469.2	463.5	1.23	7.12	.268	1.16	2.68
12-04-82	11.3	7.33	4.64	7.5	344.1	.63	2.53	5.49	109.2	4.47	.020	479.2	474.1	.84	7.11	.225	1.33	2.99
26-04-82	11.5	7.29	4.33	7.4	346.6	.63	2.51	5.49	112.8	4.58	.050	488.4	479.6	1.97	7.09	.203	1.42	3.29
10-05-82	11.6	7.28	4.18	7.3	335.6	.59	2.51	5.46	107.2	5.48	.060	485.1	462.8	1.31	7.12	.173	1.43	3.18
24-05-82	11.7	7.29	4.40	7.5	330.7	.63	2.60	5.49	106.4	5.28	.035	476.8	452.7	1.83	7.12	.185	1.41	3.13
07-06-82	12.0	7.29	4.47	7.8	334.4	.66	2.62	5.59	107.4	4.70	.030	483.7	463.0	1.56	7.11	.122	1.43	3.15
21-06-82	12.1	7.35	4.40	7.5	335.6	.66	2.55	5.71	108.9	4.60	.028	483.3	465.2	2.11	7.10	.245	1.25	2.74
05-07-82	12.2	7.33	4.50	7.3	339.3	.63	2.55	5.80	107.0	4.60	.026	486.7	482.0	.83	7.11	.225	1.32	2.90
19-07-82	12.4	7.33	4.33	7.1	342.9	.63	2.53	5.90	107.4	4.74	.025	487.2	479.8	.64	7.10	.233	1.34	2.92
02-08-82	12.6	7.29	4.50	7.0	349.0	.66	2.51	5.94	112.4	4.93	.023	486.8	482.1	1.21	7.07	.221	1.50	3.24
16-08-82	12.6	7.37	4.29	7.6	352.8	.43	2.63	7.37	110.4	5.02	.021	526.1	493.3	.88	7.08	.233	1.27	2.76
30-08-82	12.6	7.32	4.50	8.3	356.3	.42	2.71	8.22	109.9	5.16	.028	512.8	498.3	1.21	7.03	.233	1.42	3.08
13-09-82	12.6	7.27	4.54	8.2	350.2	.51	2.69	6.01	110.0	5.06	.018	518.3	482.3	.55	7.08	.192	1.57	3.40

CRESSONNIERE DU BLAGOUR: T en °C; Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺
et SiO₂ en mg/l; Débit en m³/s; Conductivité en µs/cm; Minéralisation en mg/l; Bilan en %; pCO₂ en 10⁻² atm; (CO₂)aq en 10⁻² g/l

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Débit	Cond.	Miné.	Bilan	pH _{eq}	D _{pH}	P _{CO2}	[CO2]aq
31-03-81	11.3	7.58	.126	.098	5.80	.014	.367	.468	5.41		483.3	12.19	3.52	7.11	.470	.72	1.70	
10-04-81	11.5	7.34	.126	.156	5.81	.014	.127	.473	5.31	.100	492.2	11.91	.25	7.12	.224	1.29	2.90	
27-04-81	11.2	7.45	.121	.128	5.72	.015	.106	.481	5.38	.062	481.1	12.05	.10	7.11	.343	1.02	2.31	
19-05-81	11.7	7.43	.128	.193	5.71	.016	.102	.476	5.38	.065	486.3	12.02	.37	7.10	.333	1.02	2.30	
01-06-81	12.7	2.35	.116	.130	5.80	.016	.106	.472	5.21	.025	491.8	12.45	2.00	7.05	.288	1.33	2.96	
15-06-81	11.9	7.32	.118	.132	5.72	.016	.399	.492	5.35	.058	504.2	12.02	.12	7.10	.222	1.39	3.07	
29-06-81	11.9	7.32	.126	.146	5.64	.018	.498	5.33		.055	492.7	11.94	.22	7.11	.213	1.32	3.03	
13-07-81	12.0	7.34	.131	.223	5.44	.015	.458	5.25		.058	496.6	11.59	1.82	7.12	.222	1.26	2.79	
27-07-81	12.5	7.29	.124	.139	5.52	.016	.110	.473	5.23	.053	496.4	11.76	.36	7.11	.184	1.46	3.12	
17-08-81	12.7	2.27	.125	.133	5.77	.016	.189	.494	5.56	.050	514.3	12.31	.21	7.09	.177	1.59	3.42	
31-08-81	12.6	7.68	.122	.130	5.90	.025	.109	.498	5.59	.033	479.7	12.37	1.32	7.06	.616	.62	1.34	
14-09-81	12.5	7.35	.134	.125	5.92	.025	.111	.492	5.67	.022	484.2	12.49	1.76	7.06	.291	1.32	2.87	
28-09-81	12.9	7.24	.131	.120	5.99	.016	.111	.498	5.78	.040	523.2	12.58	1.43	7.05	.193	1.73	3.72	
12-10-81	13.0	7.28	.121	.125	5.96	.016	.112	.489	5.63	.054	495.9	12.36	.34	7.04	.237	1.60	3.42	
26-10-81	12.9	7.28	.113	.130	5.78	.016	.111	.472	5.57	.039	491.3	12.31	1.26	7.06	.230	1.52	3.25	
09-11-81	12.9	7.15	.117	.142	5.76	.015	.111	.478	5.54	.053	480.6	12.27	1.05	7.06	.085	2.09	4.47	
23-11-81	13.0	7.35	.119	.153	5.72	.017	.110	.480	5.52	.045	486.3	12.22	1.11	7.07	.282	1.31	2.90	
07-12-81	12.9	7.27	.118	.160	5.50	.018	.107	.482	5.49	.030	493.7	12.02	1.64	7.08	.191	1.54	3.31	
21-12-81	12.8</																	

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Min.	Bilan	pHeq	DpH	PCO ₂	[CO ₂]aq
31-03-81	11.3	7.31	4.52	5.4	332.5	.42	2.46	9.24	39.4	5.29	-	473.0	454.1	1.28	7.18	.131	1.35	3.03
10-04-81	11.3	7.26	4.86	10.4	322.8	.23	2.51	9.51	55.2	5.28	-	466.3	445.5	0.80	7.22	.044	1.42	3.31
27-04-81	10.3	7.48	4.84	8.4	316.7	.23	2.52	9.75	93.4	4.92	.700	459.6	435.7	.74	7.25	.153	1.03	2.48
19-05-81	10.5	7.23	4.11	6.4	330.1	.23	2.44	8.92	87.0	5.25	.840	465.9	443.3	.28	7.28	.085	1.39	3.21
01-06-81	10.8	7.31	4.68	7.2	327.1	.20	2.46	9.24	97.6	5.34	.920	461.3	448.4	.96	7.20	.106	1.32	3.02
15-06-81	11.1	7.28	5.28	9.0	319.2	.23	2.55	9.62	92.4	5.11	.720	471.1	438.8	-.54	7.23	.046	1.39	3.15
29-06-81	10.6	7.47	3.88	10.8	214.8	.70	1.78	5.88	65.5	2.98	.680	342.5	382.6	.26	7.52	-.047	1.61	1.48
13-07-81	10.5	7.21	1.42	10.6	302.5	.42	2.05	8.04	91.4	3.92	.740	445.2	416.6	.95	7.26	-.052	1.53	3.55
27-07-81	11.4	7.32	4.40	10.4	319.7	.22	2.45	8.88	95.8	4.92	.665	463.6	441.9	.66	7.22	.100	1.27	2.85
17-08-81	12.3	7.29	4.84	10.4	325.2	.63	2.57	9.00	98.6	4.93	.630	478.2	451.1	.97	7.18	.021	1.72	3.75
14-09-81	11.6	7.19	1.77	10.5	149.9	2.03	1.03	3.28	46.7	6.28	.550	222.6	214.2	-.21	7.26	-.520	.92	1.83
28-09-81	11.3	7.12	3.19	10.7	242.8	3.13	2.16	6.07	70.5	5.62	.655	375.6	338.6	-.17	7.43	.306	1.54	3.47
12-10-81	11.7	7.26	4.81	9.0	317.3	2.54	2.55	9.18	93.0	2.32	.680	433.8	438.1	.54	7.22	-.162	2.38	5.11
26-10-81	12.0	7.20	4.89	7.4	358.8	.55	2.55	7.66	109.6	5.57	.750	474.3	491.4	.43	7.29	.183	1.98	4.14
09-11-81	11.3	7.85	4.42	6.7	350.2	.23	2.53	9.98	104.6	5.82	.615	469.3	478.7	1.24	7.14	.034	2.57	5.98
23-11-81	11.3	7.18	4.68	6.1	353.9	.23	2.52	10.41	105.4	5.85	.570	502.7	493.4	1.45	7.14	.041	1.93	4.34
07-12-81	11.6	7.24	3.76	7.7	355.1	.23	2.51	9.53	109.0	5.43	.630	488.3	457.9	2.00	7.12	.124	1.68	3.72
21-12-81	11.2	7.13	3.58	9.4	357.6	.16	2.46	9.59	106.4	5.38	.910	487.7	489.2	.43	7.19	-.002	2.18	4.93
04-01-82	11.5	7.05	3.93	8.8	315.1	.16	2.46	9.47	104.6	5.76	.800	482.9	490.8	.48	7.14	-.089	2.59	5.80
18-01-82	11.3	7.30	3.94	8.3	346.6	.16	2.48	9.51	105.0	5.71	.720	497.0	475.9	1.39	7.15	-.146	2.88	6.44
01-02-82	11.2	7.00	4.08	9.0	350.2	.16	2.53	9.76	106.2	5.76	.785	505.3	492.0	1.39	7.14	-.142	2.98	6.52
15-02-82	11.1	6.92	4.22	8.9	342.9	.20	2.53	10.18	104.3	5.88	.648	477.7	473.9	1.57	7.16	-.244	3.39	7.08
01-03-82	10.7	7.21	4.52	12.0	340.5	.16	2.53	10.19	101.9	6.08	.650	475.3	489.7	.92	7.18	.028	1.72	3.98
15-03-82	11.0	7.26	4.22	10.3	339.3	.16	2.52	10.18	102.0	5.16	.855	486.4	468.6	1.18	7.18	.092	1.53	3.49
29-03-82	11.1	7.28	4.22	10.3	333.2	.12	2.55	10.18	99.6	5.43	.820	483.1	480.8	1.23	7.19	-.067	1.51	3.42
12-04-82	11.0	7.25	4.22	10.4	339.3	.16	2.52	10.18	101.6	5.53	.635	463.4	488.3	1.02	7.18	.071	1.52	3.57
26-04-82	10.9	7.18	4.33	10.2	347.8	.28	2.62	10.41	102.6	5.89	.590	485.5	478.1	.53	7.17	.011	1.98	4.31
10-05-82	10.8	7.16	4.22	10.0	341.7	.16	2.57	10.58	102.2	5.80	.565	493.5	471.3	1.24	7.18	-.019	1.94	4.44
24-05-82	11.1	7.28	2.94	9.8	333.2	.28	2.53	10.81	98.4	5.28	.545	465.4	452.9	1.45	7.19	.010	1.74	3.88
07-06-82	11.5	7.35	1.87	8.7	153.8	1.84	1.31	3.65	49.3	3.22	.535	244.7	221.2	1.68	7.23	-.380	.58	1.31
21-06-82	11.1	7.40	4.29	9.3	248.5	2.19	1.95	5.91	76.4	4.42	.520	355.6	345.5	1.22	7.39	.012	.82	1.86
05-07-82	11.6	7.21	3.94	7.0	334.4	.82	2.46	8.78	97.6	4.93	.510	503.4	486.2	.62	7.18	.026	1.71	3.82
19-07-82	12.3	7.26	4.25	8.7	352.6	.39	2.64	10.81	104.4	6.12	.585	500.2	488.9	.52	7.13	.133	1.64	3.52
02-08-82	12.1	7.31	4.36	10.4	338.0	1.13	2.74	10.20	98.6	5.89	.500	425.2	465.5	.25	7.12	.136	1.38	3.83
16-08-82	11.6	7.29	4.50	8.9	355.1	.66	2.82	10.81	106.8	6.48	.500	524.5	489.9	1.96	7.13	.156	1.50	3.36
30-08-82	11.2	7.28	4.33	7.4	339.3	.31	3.13	11.52	98.8	5.71	.490	520.6	484.7	1.58	7.19	.089	1.47	3.32
13-09-82	11.7	7.38	4.40	7.5	338.0	.31	2.76	11.88	95.0	5.43	.485	489.4	459.8	.16	7.20	.178	1.17	2.68

EVENT D'ENTRECORDS: T en °C; Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ et SiO₂ en mg/l; Débit en m³/s; Conductivité en s/cm; Minéralisation en mg/l; Bilan en %; pCO₂ en 10⁻² atm; (CO₂)aq en 10⁻² g/l

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Min.	Bilan	pHeq	DpH	PCO ₂	[CO ₂]aq	
31-03-81	11.3	7.31	129	5.45	.012	5.29	.102	7.60	4.98			473.0	11.04	1.28	7.18	.131	1.35	3.03	
10-04-81	11.3	7.26	127	5.29	.006	.109	.782	4.75				466.3	11.40	0.80	7.22	.044	1.42	3.31	
27-04-81	10.3	7.48	.131	.125	5.19	.006	.112	.902	4.68		.700	458.6	11.19	.74	7.25	.153	1.03	2.48	
19-05-81	10.5	7.29	.116	.134	5.41	.006	.106	.738	4.84			440	466.9	11.47	.28	7.28	.085	1.39	3.21
01-06-81	10.8	7.31	.132	.150	5.36	.005	.102	.760	4.82			.920	461.3	11.51	.96	7.20	.106	1.32	3.02
15-06-81	11.1	7.28	.149	.162	5.24	.006	.111	.791	4.61			.720	471.1	11.20	-.54	7.23	.046	1.39	3.15
29-06-81	10.8	7.47	.082	.225	5.52	.018	.074	.492	3.27			.630	432.5	7.75	.26	7.52	-.047	1.61	1.48
13-07-81	10.5	7.21	.048	.221	4.98	.012	.083	.661	4.56			.740	445.2	10.63	.95	7.26	-.052	1.53	3.55
27-07-81	11.4	7.32	.124	.212	5.24	.007	.107	.796	4.74			.665	463.5	11.34	.66	7.18	.071	1.52	3.57
17-08-81	12.3	7.28	.131	.217	5.30	.016	.112	.740	4.92			.630	478.2	11.57	.97	7.18	.021	1.72	3.75
14-09-81	11.6	7.19	.050	.219	5.44	.025	.045	.220	2.30			.550	221.6	5.54	-.21	7.26	-.520	.92	1.93
28-09-81	11.3	7.12	.080	.223	5.98	.008	.084	.493	3.52			.655	379.6	8.61	-.17	7.43	-.066	1.54	3.47
12-10-81	11.7	7.06	.130	.197	5.20	.005	.111	.755	4.64			.660	433.0	11.28	.54	7.22	-.162	2.38	5.11
26-10-81	12.0	7.20	.154	.598	.004	.111	.630	5.47				.750	474.3	12.52	.43	7.38	-.109	1.98	4.14
09-11-81	11.3	7.26	.126	.574	.006	.110	.921	5.22				.615	469.3	12.29	1.24	7.14	-.394	2.57	5.98
23-11-81	11.3	7.19	.132	.590	.006	.112	.956	5.26				.520	502.7	12.43	1.45	7.14	.041	1.93	4.34
07-12-81	11.6	7.24	.106	.602	5.92	.006	.103	.784	5.44			.630	489.9	12.54	.28	7.18	.230	1.68	3.72
21-12-81	11.2	7.13	.101	.596	5.56	.004	.102	.789	5.31			.910	482.7	12.49	.43	7.13	-.002	2.18	4.93
04-01-82	11.5	7.05	.108	.183	5.76	.004	.102	.779</td											

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Min.	Bilan	pH _{eq}	D _{pH}	PCO ₂	[CO ₂]aq
31-03-81	11.2	7.50	4.68	8.5	112.2	1.76	3.61	6.60	32.5	5.57	206.4	174.3	2.82	8.02	- .522	.30	.68	
10-04-81	11.2	7.49	5.53	10.5	134.8	1.84	3.66	7.45	36.7	5.39	236.5	200.5	1.12	7.94	- .463	.36	.86	
27-04-81	7.9	7.56	5.39	9.2	149.5	1.72	3.70	7.97	40.5	5.34	251.7	216.9	2.01	7.92	- .352	.34	.95	
19-05-81	13.1	8.12	5.78	10.1	150.7	1.92	3.43	7.14	42.5	5.76	.025	229.6	221.5	1.12	7.84	- .276	.10	.21
01-06-81	12.4	7.38	5.95	11.9	150.1	1.80	3.68	8.05	41.1	6.03	.125	243.6	222.5	.73	7.84	- .539	.65	1.40
15-06-81	14.9	7.46	5.00	9.2	189.2	2.62	3.98	9.66	49.5	6.26	.022	316.4	268.0	.18	7.84	- .180	.58	1.16
29-06-81	11.9	7.66	6.59	15.1	183.1	2.62	3.95	10.30	50.1	6.45	.015	304.1	271.7	1.25	7.71	- .045	.34	.75
13-07-81	12.5	7.30	5.21	12.7	183.1	2.39	4.21	9.55	49.3	6.49	.009	308.4	266.4	1.19	7.69	- .393	.29	1.70
27-07-81	14.9	6.45	5.96	10.3	203.8	1.96	4.27	10.30	50.3	6.54	.010	323.5	286.7	-1.84	7.68	-1.151	6.34	***
17-08-81	16.5	7.43	7.20	13.0	256.7	3.84	4.25	12.50	69.9	7.09	.003	334.4	369.3	.88	7.36	.068	.85	1.63
31-08-81	14.0	7.68	7.20	14.1	311.2	2.97	4.12	14.81	94.8	6.68	.010	464.0	439.9	.98	7.27	.413	.55	1.15
14-09-81	12.9	7.63	7.37	14.1	231.9	3.89	4.02	12.40	84.5	7.18	.010	375.3	337.4	2.20	7.50	.129	.46	.99
28-09-81	12.4	7.33	7.16	15.1	242.7	2.78	4.12	12.90	61.7	7.55	.045	382.5	351.4	-2.10	7.50	-1.174	.98	2.13
12-10-81	13.8	8.00	10.35	12.8	263.6	2.93	4.37	13.01	68.9	7.46	.055	376.6	325.1	-1.21	7.41	.592	.23	.47
26-10-81	6.2	7.66	5.46	10.5	189.4	2.31	3.84	10.10	44.3	8.15	.112	351.7	244.3	2.07	7.84	-1.245	.35	.96
09-11-81	4.1	7.59	5.92	10.9	230.6	2.27	4.03	12.50	63.1	7.18	.030	270.9	323.5	2.81	7.66	-1.068	.46	1.33
23-11-81	6.2	7.71	6.42	11.4	219.7	2.82	4.16	12.10	52.7	6.68	.017	342.5	313.5	1.12	7.68	.034	.34	.91
07-12-81	6.2	7.67	6.49	12.0	156.2	2.15	4.02	8.80	40.7	6.03	.088	260.9	231.4	1.28	7.94	-1.225	.22	.72
21-12-81	5.9	7.56	7.26	12.6	128.1	2.03	3.49	7.21	35.1	5.71	.293	223.6	195.5	-1.41	8.08	-.515	.29	.77
24-01-82	8.4	7.37	7.53	12.7	134.2	1.98	3.48	7.29	36.5	5.66	.195	222.3	203.5	-1.20	8.20	-.628	.47	1.17
18-01-82	7.2	7.55	6.49	12.9	129.4	1.88	3.52	8.08	34.3	5.66	.088	248.5	196.3	.82	7.96	-.306	.34	.99
01-02-82	4.6	7.35	6.06	12.2	131.6	1.60	3.47	7.66	35.5	5.57	.112	227.7	189.2	1.16	8.08	-.734	.42	1.32
15-02-82	4.8	7.29	5.62	11.4	147.2	1.88	3.72	8.91	39.3	5.90	.040	258.2	216.5	1.30	8.00	-.208	.60	1.69
01-03-82	8.6	7.28	5.46	10.9	134.2	1.52	3.52	8.11	35.1	5.49	.100	212.4	198.8	.61	8.02	-.233	.18	.45
15-03-82	4.9	7.69	6.10	10.4	132.0	1.49	3.47	7.50	34.1	5.39	.100	219.1	196.1	-1.15	8.05	-.393	.22	.61
29-03-82	6.1	7.82	5.02	10.2	151.3	1.52	3.47	9.39	40.3	5.29	.026	244.5	220.2	.97	7.95	-.131	.18	.49
12-04-82	6.9	7.29	5.18	10.1	152.5	1.49	3.47	8.42	40.3	5.29	.055	243.0	221.5	.59	7.93	-.144	.20	.52
26-04-82	8.2	7.92	5.18	10.2	178.2	1.68	3.68	9.52	47.7	4.98	.021	227.1	256.6	1.10	7.79	-.129	.17	.44
24-05-82	12.8	7.29	5.60	12.0	172.1	2.15	3.68	9.47	45.3	6.40	.014	269.3	222.3	3.89	7.90	-.090	.19	.48
21-06-82	15.0	7.95	5.92	14.6	239.0	2.50	3.78	14.90	82.8	6.17	.002	452.5	423.5	1.40	7.40	-.491	.26	.55
05-07-82	14.7	7.92	6.17	16.8	322.1	2.35	3.59	17.10	109.2	6.81	.002	539.9	526.1	.58	7.11	-.906	.39	.78
18-07-82	15.4	7.29	6.52	17.3	435.7	2.42	3.84	18.00	115.0	6.68	0.000	586.6	599.9	-1.55	7.01	-.724	.62	1.23
16-08-82	15.0	7.27	5.64	37.0	447.9	2.01	4.16	21.01	113.2	7.18	0.000	630.9	631.2	-1.64	7.35	-.722	.65	1.30

PERTE DE LA COUZE: T en °C; Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ et

SiO₂ en mg/l; Débit en m³/s; Conductivité en s/cm; Minéralisation en mg/l; Bilan en %; PCO₂ en 10⁻² atm.; (CO₂)aq en 10⁻² g/l

DATES	T.	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Debit	Cond.	Min.	Bilan	pH _{eq}	D _{pH}	PCO ₂	[CO ₂]aq	
31-03-81	11.2	7.50	.132	.128	1.92	.045	.152	.543	1.62						4.71	2.82	8.02	.30	.68
10-04-81	11.2	7.48	.156	.218	2.21	.067	.159	.613	1.83						5.35	1.12	7.94	-.463	.36
27-04-81	7.9	7.56	.152	.170	2.45	.044	.161	.656	2.02						5.72	2.01	7.92	-.352	.34
19-05-81	13.1	8.12	.163	.210	2.47	.049	.149	.587	2.12						5.98	1.17	7.84	-.539	.65
01-06-81	12.4	7.38	.165	.248	2.48	.046	.160	.662	2.85						5.92	.73	7.84	-.148	1.40
15-06-81	14.9	7.46	.141	.192	3.10	.067	.168	.790	2.42						5.84	1.25	7.71	-.045	.34
29-06-81	11.9	7.66	.188	.314	3.30	.062	.172	.786	2.46						3.88	2.85	7.69	-.393	.76
13-07-81	12.5	7.30	.142	.214	3.34	.058	.172	.847	2.51						323.5	2.45	-1.84	8.00	-.35
27-07-81	14.9	6.45	.168	.214	3.34	.058	.185	.928	3.49						354.4	9.67	.98	7.36	1.63
17-08-81	18.5	7.43	.203	.271	4.24	.093	.179	1.218	4.22						404.0	11.44	.98	7.27	1.43
31-08-81	14.0	7.68	.203	.283	5.10	.076	.175	1.020	3.22						375.3	8.95	2.20	7.50	.98
14-09-81	12.9	7.63	.208	.293	3.98	.079	.175	1.020	3.22						345	9.13	-2.10	7.50	-.124
28-09-81	12.4	7.33	.202	.314	4.06	.063	.179	1.020	3.44						355	8.90	-1.21	7.41	.592
12-10-81	13.8	8.00	.292	.218	2.76	.059	.162	.831	2.21						351.7	6.58	2.07	7.84	-.245
26-10-81	8.2	7.00	.154	.218	2.76	.059	.178	1.028	3.15						350	9.75	2.81	7.06	-.068
03-11-81	4.1	7.59	.167	.227	3.79	.058	.178	1.028	3.15						347.5	8.28	1.17	7.68	.934
23-11-81	6.2	7.71	.181	.237	3.68	.053	.181	.995	2.88						349	8.19	1.28	7.94	-.225
07-12-81	6.2	7.67	.183	.250	2.58	.055	.175	.986	2.03						369	8.19	1.28	7.94	.72
21-12-81	5.9	7.58	.199	.262	2.18	.052	.148	.993	1.75						393	223.6	5.23	-.41	8.06
04-01-82	8.4	7.37	.214	.264	2.28	.046	.148	.888	1.82						395	223.3	5.42	-1.20	8.20
18-01-82	7.2	7.55	.183	.263	2.12	.043	.153	.685	1.71						248.5	5.27	.07	7.96	-.388
21-02-82	4.6	7.35	.171	.253	2.16	.041	.151	.632	1.77						112	227.7	5.30	.16	9.08
15-03-82	4.8	7.28	.180	.237	2.42	.048	.164	.725	1.96						403	258.2	5.84	1.38	8.00
01-04-82	8.6	7.78	.154	.227	2.20	.039	.153	.682	1.75						100	212.4	5.31	.61	9.22
15-05-82	4.8	7.69	.172	.212															

DONNEES HYDROGEOCHIMIQUES BRUTES

Prélèvements lors des crues

Source du BLAGOUR

- Crue du 10-07-81
- Crue du 22-09-81
- Crue du 02-10-81
- Crue du 01-04-82
- Crue du 07-12-81

Source du Sorpt

- Crue du 22-09-81
- Crue du 16-03-82
- Crue du 07-12-81

Source de FONTILLE

- Crue du 10-07-81
- Crue du 01-04-82

DONNEES BRUTES 17 VARIABLES

BLAGOOUR crue du 10-07-81

N°	T°	pH	C ₁	S ₀ ⁻²	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Deb	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pCO ₂	CO ₂ aq	
1	14.600	7.120	0.163	0.331	3.540	0.060	0.114	0.480	3.300	0.002	4.800	3.459	-1.010	7.450	-0.329	1.430	2.890	
2	14.300	7.120	0.142	0.287	3.800	0.042	0.114	0.463	3.640	0.002	5.700	3.669	0.310	7.380	-0.262	1.520	3.120	
3	14.300	7.120	0.120	0.371	2.81	3.760	0.052	0.118	0.465	3.600	0.003	5.950	3.647	0.620	7.390	-0.270	1.510	3.090
4	13.500	7.180	0.148	0.234	4.400	0.066	0.139	0.490	4.240	0.010	5.000	4.185	1.370	7.280	-0.095	1.510	3.180	
5	13.500	7.350	0.151	0.266	4.560	0.046	0.131	0.481	4.330	0.058	3.750	4.257	0.110	7.250	-0.097	1.060	2.230	
6	13.350	7.190	0.144	0.237	4.640	0.040	0.147	0.494	4.490	0.024	3.000	4.364	1.440	7.230	-0.044	1.550	3.280	
7	13.400	7.210	0.146	0.256	4.480	0.046	0.143	0.580	4.150	0.000	1.700	4.185	0.380	7.290	-0.077	1.440	3.030	
8	13.300	7.220	0.158	0.224	4.600	0.042	0.142	0.578	4.310	0.000	1.250	4.315	0.730	7.260	-0.043	1.440	3.040	
9	13.400	7.250	0.142	0.232	4.740	0.039	0.159	0.591	4.470	0.106	1.100	4.385	1.230	7.230	-0.015	1.380	2.910	
10	13.300	7.190	0.143	0.217	4.920	0.041	0.144	0.619	4.620	0.018	0.950	4.518	1.360	7.210	-0.021	1.640	3.470	
11	13.200	7.220	0.138	0.194	5.160	0.041	0.144	0.477	4.790	0.002	0.750	4.707	1.200	7.160	0.056	1.610	3.410	
12	13.200	7.110	0.148	0.171	5.280	0.040	0.143	0.643	4.920	0.104	0.555	4.865	1.270	7.160	-0.047	2.110	4.480	
13	13.100	7.310	0.146	0.158	5.400	0.035	0.141	0.647	5.060	0.111	0.555	4.916	1.560	4.140	0.172	1.360	2.900	
14	13.000	7.270	0.144	0.125	5.450	0.034	0.140	0.639	5.110	0.108	0.555	4.933	1.770	7.130	0.140	1.500	3.210	
	13.532	7.204	0.146	0.231	4.624	0.043	0.136	0.546	4.359	0.039	2.544	4.315	0.881	7.040	-0.051	1.504	3.160	

DONNEES BRUTES 17 VARIABLES

BLAGOOUR crue du 10-07-81

N°	T°	pH	C ₁	S ₀ ⁻²	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Deb	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pCO ₂	CO ₂ aq
1	13.800	7.330	0.151	0.150	5.680	0.027	0.132	0.600	5.440	0.125	0.175	4.709	1.790	7.070	0.256	1.370	2.860
2	13.200	7.380	0.156	0.192	5.840	0.027	0.136	0.600	5.440	0.126	0.500	4.832	0.130	7.080	0.305	1.250	2.650
3	13.500	6.580	0.154	0.233	5.840	0.028	0.133	0.602	5.600	0.124	0.755	4.844	1.070	7.060	-0.487	7.910	10.000
4	13.500	7.160	0.162	0.221	4.920	0.039	0.146	0.523	4.760	0.132	0.755	4.281	1.510	7.190	-0.027	1.760	3.710
5	13.500	7.300	0.173	0.210	5.000	0.039	0.157	0.568	4.710	0.127	0.555	4.418	0.840	7.190	0.112	1.300	2.730
6	13.550	7.250	0.162	0.233	5.040	0.035	0.152	0.573	4.870	0.126	0.451	4.330	1.730	7.170	0.078	1.470	3.080
7	13.500	7.130	0.159	0.242	5.080	0.033	0.151	0.580	4.900	0.126	0.325	4.500	1.650	7.170	-0.039	1.950	4.090
8	13.300	7.150	0.159	0.222	5.200	0.031	0.148	0.587	4.970	0.122	0.300	4.561	1.130	7.160	-0.008	1.900	4.020
9	13.300	7.170	0.163	0.244	5.200	0.032	0.149	0.578	4.900	0.125	0.270	4.580	1.360	7.150	0.015	1.810	3.840
10	13.200	7.210	0.159	0.237	5.320	0.032	0.147	0.596	5.120	0.120	0.260	4.655	1.570	7.140	0.071	1.690	3.580
11	13.400	7.240	0.164	0.219	5.320	0.035	0.148	0.596	5.120	0.125	0.250	4.656	1.730	7.130	0.105	1.580	3.330
12	13.200	7.310	0.162	0.198	5.480	0.046	0.144	0.582	5.220	0.121	0.240	4.667	1.260	7.120	0.194	1.380	2.930
13	13.200	7.220	0.162	0.233	5.600	0.037	0.148	0.609	5.470	0.122	0.200	4.741	2.200	7.090	0.126	1.730	3.680
14	13.200	7.220	0.162	0.233	5.600	0.035	0.146	0.609	5.470	0.122	0.199	4.688	1.230	7.100	0.096	1.820	3.850
15	13.200	7.200	0.165	0.233	5.600	0.039	0.148	0.624	5.340	0.122	0.190	4.688	0.440	7.130	-0.107	2.730	5.810
16	13.100	7.020	0.159	0.233	5.560	0.041	0.148	0.624	5.096	0.122	0.190	4.688	0.720	1.220	0.121	0.099	1.750
17	13.100	7.210	0.157	0.214	5.520	0.034	0.143	0.587	5.270	0.121	0.220	4.720	1.720	7.110	0.099	1.710	3.710
	13.353	7.179	0.160	0.222	5.388	0.035	0.146	0.589	5.145	0.125	0.353	4.617	1.249	7.129	0.049	2.088	3.992

DONNEES BRUTES 17 VARIABLES

BLAGOOUR crue du 22-09-81

N°	T°	pH	C ₁	S ₀ ⁻²	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Deb	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pCO ₂	CO ₂ aq
1	13.800	7.330	0.151	0.150	5.680	0.027	0.132	0.600	5.440	0.125	0.175	4.709	1.790	7.070	0.256	1.370	2.860
2	13.200	7.380	0.156	0.192	5.840	0.027	0.136	0.600	5.440	0.126	0.500	4.832	0.130	7.080	0.305	1.250	2.650
3	13.500	6.580	0.154	0.233	5.840	0.028	0.133	0.602	5.600	0.124	0.755	4.844	1.070	7.060	-0.487	7.910	10.000
4	13.500	7.160	0.162	0.221	4.920	0.039	0.146	0.523	4.760	0.132	0.755	4.281	1.510	7.190	-0.027	1.760	3.710
5	13.500	7.300	0.173	0.210	5.000	0.039	0.157	0.568	4.710	0.127	0.555	4.418	0.840	7.190	0.112	1.300	2.730
6	13.550	7.250	0.162	0.233	5.040	0.035	0.152	0.573	4.870	0.126	0.451	4.330	1.730	7.170	0.078	1.470	3.080
7	13.500	7.130	0.159	0.242	5.080	0.033	0.151	0.580	4.900	0.126	0.325	4.500	1.650	7.170	-0.039	1.950	4.090
8	13.300	7.150	0.159	0.222	5.200	0.031	0.148	0.587	4.970	0.122	0.300	4.561	1.130	7.160	-0.008	1.900	4.020
9	13.300	7.170	0.163	0.244	5.200	0.032	0.149	0.578	4.900	0.125	0.270	4.580	1.360	7.150	0.015	1.810	3.840
10	13.200	7.210	0.159	0.237	5.320	0.032	0.147	0.596	5.120	0.120	0.260	4.655	1.570	7.140	0.071	1.690	3.580
11	13.400	7.240	0.164	0.219	5.320	0.035	0.148	0.596	5.120	0.125	0.250	4.656	1.730	7.130	0.105	1.580	3.330
12	13.200	7.310	0.162	0.198	5.480	0.046	0.144	0.582	5.220	0.121	0.240	4.667	1.260	7.120	0.194	1.380	2.930
13	13.200	7.220	0.162	0.233	5.600	0.037	0.148	0.609	5.470	0.122	0.200	4.741	2.200	7.090	0.126	1.730	3.680
14	13.200	7.220	0.162	0.233	5.600	0.035	0.146	0.609	5.470	0.122	0.199	4.688	1.230	7.100	0.096	1.820	3.850
15	13.200	7.200	0.165	0.233	5.600	0.039	0.148	0.624	5.340	0.122	0.190	4.688	0.440	7.130	-0.107	2.730	5.810
16	13.100	7.020	0.159	0.233	5.560	0.041	0.148	0.624	5.096	0.122	0.190	4.688	0.720	1.220	0.121	0.099	1.750
17	13.100	7.210	0.157	0.214	5.520	0.034	0.143	0.587	5.270	0.121	0.220	4.720	1.720	7.110	0.099	1.710	3.710

DONNEES BRUTES		17 VARIABLES																	23 U.S.																	BLA GOUR																	crue 2-10-81																
No.	T°	PH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HC0 ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO ₂ aq	CO ₂																																																			
1	12.9	7.35	0.165	0.225	5.67	0.047	0.167	0.587	5.45	0.114	0.535	5.408	1.58	7.09	0.257	1.30	2.78																																																				
2	12.9	7.24	0.165	0.231	5.67	0.046	0.155	0.600	5.36	0.115	0.580	5.327	0.78	7.10	0.139	1.67	3.58																																																				
3	12.9	7.20	0.162	0.239	5.63	0.043	0.163	0.611	5.39	0.112	0.598	5.400	1.43	7.10	0.097	1.82	3.89																																																				
4	12.9	7.27	0.162	0.242	5.67	0.043	0.156	0.591	5.45	0.112	0.670	5.334	1.34	7.09	0.176	1.56	3.34																																																				
5	12.9	7.20	0.162	0.244	5.67	0.042	0.158	0.593	5.45	0.110	0.840	5.360	1.33	7.09	0.105	1.83	3.92																																																				
6	12.9	7.17	0.163	0.252	5.63	0.045	0.155	0.591	5.49	0.112	0.900	5.334	1.91	7.10	0.075	1.95	4.17																																																				
7	12.8	7.17	0.162	0.260	5.67	0.044	0.156	0.600	5.42	0.112	0.960	5.348	1.04	7.10	0.070	1.96	4.21																																																				
8	12.85	7.14	0.162	0.256	5.65	0.041	0.154	0.587	5.39	0.111	0.938	5.341	0.87	7.10	0.039	2.09	4.49																																																				
9	13.05	7.12	0.170	0.252	4.89	0.058	0.161	0.623	4.58	0.119	0.938	4.649	0.99	7.22	-0.103	1.91	4.08																																																				
10	13.1	7.13	0.171	0.252	5.06	0.050	0.151	0.587	4.69	0.121	0.960	4.775	-0.02	7.20	-0.065	1.93	4.12																																																				
11	13.0	7.14	0.159	0.252	5.12	0.047	0.155	0.582	4.90	0.115	0.975	4.921	-1.34	7.18	-0.035	1.91	4.07																																																				
12	13.0	7.14	0.157	0.246	5.32	0.042	0.151	0.559	5.22	0.118	1.100	5.107	2.14	7.13	-0.007	1.98	4.21																																																				
13	12.9	7.20	0.164	0.239	5.00	0.050	0.162	0.580	4.50	0.110	4.000	4.534	-1.04	7.22	-0.019	1.62	3.48																																																				
14	12.9	7.24	0.144	0.221	5.16	0.040	0.145	0.451	5.11	0.002	3.800	4.800	1.95	7.14	0.097	1.53	3.27																																																				
15	12.8	7.23	0.151	0.203	5.32	0.041	0.144	0.455	5.34	0.006	2.850	4.946	2.66	7.12	0.114	1.60	3.45																																																				
16	12.8	7.23	0.149	0.223	5.40	0.041	0.144	0.505	5.37	0.083	2.000	5.080	2.47	7.11	0.117	1.63	3.50																																																				
17	12.85	7.23	0.152	0.244	5.40	0.046	0.147	0.528	5.35	0.030	1.710	5.230	2.34	7.12	0.113	1.63	3.49																																																				
18	12.8	7.28	0.147	0.239	5.40	0.046	0.147	0.510	5.41	0.002	1.480	5.214	2.74	7.11	0.169	1.45	3.12																																																				
19	12.8	7.01	0.159	0.233	5.48	0.046	0.147	0.532	5.43	0.058	1.280	5.214	2.32	7.11	-0.096	2.74	5.89																																																				
20	12.9	7.12	0.154	0.229	5.50	0.043	0.149	0.575	5.42	0.105	1.070	5.214	2.56	7.11	0.14	4.58	5.89																																																				
21	12.9	7.01	0.150	0.225	5.48	0.041	0.144	0.573	5.35	0.108	0.938	5.240	2.09	7.11	-0.103	2.14	5.88																																																				
22	13.0	7.05	0.147	0.225	5.50	0.041	0.143	0.596	5.35	0.004	0.820	4.921	2.59	7.11	-0.058	2.74	5.37																																																				
23	13.0	6.98	0.147	0.227	5.50	0.042	0.150	0.627	5.37	0.006	0.680	5.320	2.64	7.11	-0.133	2.95	6.30																																																				
	12.9	7.16	0.158	0.237	5.42	0.045	0.152	0.568	5.25	0.086	1.331	5.131	1.65	7.12	0.042	1.93	4.13																																																				

DONNEES BRUTES		17 VARIABLES																	11 U.S.																	BLA GOUR																	crue 01-04-82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃⁻	K⁺	Na⁺	Mg⁺⁺	Ca⁺⁺	SiO₂	Débits	Cond.	Bilan	pH éq	ΔpH	pH	CO₂ aq	CO₂	No.	T°	PH	Cl⁻	SO₄²⁻	HC0₃

Concentrations en métal, débits en m^3/s , conductivité en $\mu s/cm$, pCO_2 en $10^{-2} atm.$, CO_2 aqu. (calculé) en $10^{-2} g/\ell$

DONNEES BRUTES 15 U.S. SORPT crue du 22-09-81

No!	T _o	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HC0 ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Débits	Cond.	pH éq	Δ pH	pCO ₂	IC0 ₂	aq
1	13.500	7.100	0.159	0.183	5.600	0.025	0.135	0.792	5.310	0.127	0.090	4.852	2.600	7.110	-0.011	2.290	4.820
2	13.500	7.190	0.160	0.192	5.640	0.026	0.136	0.807	5.250	0.126	0.650	4.809	1.890	7.110	0.076	1.880	3.940
3	13.300	7.210	0.160	0.202	5.680	0.030	0.136	0.711	5.310	0.127	0.810	4.832	1.720	7.100	0.106	1.800	3.810
4	13.200	7.160	0.264	0.196	5.640	0.038	0.237	0.675	5.380	0.127	0.455	4.944	1.890	7.100	0.059	2.000	4.250
5	13.200	7.190	0.239	0.189	5.660	0.039	0.191	0.607	5.470	0.123	0.370	4.945	1.790	7.090	0.103	1.880	3.980
6	13.300	7.160	0.249	0.223	5.720	0.044	0.204	0.532	5.710	0.123	0.310	5.045	2.340	7.060	0.100	2.030	4.300
7	13.200	7.140	0.244	0.256	5.760	0.051	0.213	0.486	5.830	0.118	0.280	5.081	2.520	7.050	0.091	2.140	4.540
8	13.200	7.140	0.223	0.256	5.720	0.047	0.185	0.466	5.710	0.116	0.250	5.069	1.690	7.060	0.082	2.130	4.510
9	13.200	7.120	0.210	0.210	5.640	0.047	0.177	0.462	5.900	0.116	0.230	5.117	3.780	7.050	0.059	2.190	4.650
10	13.200	7.120	0.195	0.254	5.600	0.049	0.157	0.462	5.820	0.115	0.170	4.988	3.490	7.060	0.062	2.180	4.620
11	13.200	7.130	0.181	0.254	5.640	0.047	0.153	0.466	5.770	0.126	0.160	4.920	2.910	7.060	0.071	2.140	4.550
12	13.200	7.150	0.167	0.252	5.680	0.046	0.148	0.480	5.680	0.112	0.150	4.897	2.050	7.060	0.087	2.060	4.380
13	13.200	7.140	0.163	0.248	5.600	0.045	0.144	0.484	5.680	0.088	0.145	4.881	1.730	7.070	0.071	2.080	4.420
14	13.200	7.130	0.166	0.214	5.640	0.041	0.145	0.517	5.640	0.081	0.135	4.864	2.630	7.070	0.060	2.150	4.550
15	13.200	7.160	0.165	0.183	5.640	0.038	0.150	0.541	5.440	0.110	0.130	4.842	1.640	7.090	0.074	2.000	4.250
16	13.253	7.149	0.196	0.224	5.657	0.041	0.167	0.567	5.593	0.116	0.289	4.939	2.341	7.076	0.073	2.063	4.371

DONNEES BRUTES 20 U.S. SORPT crue du 16-03-82

No!	T _o	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HC0 ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Débits	Cond.	pH éq	Δ pH	pCO ₂	IC0 ₂	aq
1	12.700	7.280	0.137	0.148	5.810	0.023	0.127	0.536	5.600	0.117	0.333	5.022	1.580	7.070	0.214	1.560	3.360
2	12.700	7.250	0.139	0.162	5.770	0.023	0.129	0.530	5.530	0.108	0.330	5.022	1.340	7.080	0.124	1.860	4.010
3	12.700	7.230	0.141	0.183	5.710	0.021	0.126	0.550	5.530	0.108	0.330	5.022	1.640	7.080	0.169	1.640	3.530
4	12.700	7.230	0.134	0.189	5.770	0.021	0.127	0.545	5.590	0.107	0.335	5.022	1.260	7.070	0.157	1.730	3.740
5	12.700	7.180	0.142	0.196	5.730	0.022	0.128	0.487	5.550	0.106	1.470	5.039	1.120	7.070	0.157	1.720	3.710
6	12.500	7.180	0.142	0.196	5.530	0.030	0.127	0.356	5.540	0.095	1.580	4.928	1.590	7.080	0.101	1.860	4.040
7	12.400	7.180	0.128	0.200	5.410	0.027	0.119	0.348	5.190	0.084	1.390	4.780	0.230	7.110	0.066	1.820	3.970
8	12.400	7.160	0.120	0.189	5.370	0.024	0.117	0.352	5.330	0.086	1.240	4.739	1.230	7.110	0.053	1.900	4.130
9	12.400	7.170	0.121	0.179	5.410	0.022	0.114	0.361	5.380	0.087	1.100	4.779	1.430	7.100	0.069	1.870	4.060
10	12.400	7.200	0.121	0.177	5.490	0.021	0.114	0.372	5.470	0.087	0.995	4.802	1.590	7.090	0.110	1.770	3.840
11	12.400	7.180	0.128	0.175	5.490	0.022	0.116	0.397	5.460	0.089	0.940	4.879	1.740	7.090	0.088	1.850	4.020
12	12.400	7.180	0.127	0.179	5.570	0.022	0.117	0.415	5.500	0.091	0.805	4.805	1.540	7.090	0.094	1.870	4.080
13	12.400	7.190	0.128	0.183	5.670	0.022	0.119	0.438	5.600	0.095	0.725	4.946	1.640	7.070	0.116	1.860	4.060
14	12.400	7.190	0.126	0.185	5.670	0.023	0.121	0.447	5.590	0.096	0.730	4.990	1.660	7.080	0.114	1.860	4.060
15	12.500	7.180	0.132	0.189	5.650	0.022	0.124	0.451	5.690	0.098	0.725	4.995	2.570	7.070	0.110	1.900	4.130
16	12.500	7.180	0.135	0.183	5.670	0.023	0.124	0.438	5.680	0.098	0.695	4.970	2.270	7.070	0.113	1.910	4.140
17	12.500	7.170	0.142	0.177	5.750	0.022	0.124	0.451	5.670	0.097	0.650	5.014	1.600	7.060	0.107	1.980	4.300
18	12.500	7.180	0.138	0.177	5.650	0.023	0.124	0.451	5.470	0.101	0.625	5.048	0.850	7.080	0.096	1.900	4.130
19	12.500	7.170	0.131	0.179	5.750	0.020	0.125	0.478	5.600	0.073	0.600	5.040	1.340	7.070	0.100	1.980	4.300
20	12.600	7.230	0.142	0.179	5.810	0.020	0.123	0.487	5.650	0.100	0.560	5.054	1.230	7.060	0.168	1.740	3.770
21	12.515	7.197	0.132	0.180	5.634	0.023	0.122	0.446	5.531	0.096	0.808	4.950	1.453	7.080	0.116	1.829	3.969

Concentrations en m³/ℓ, débit en 10⁻² g/ℓ, conductivité en μs/cm, pCO₂ en 10⁻² atm., CO₂ aqu. (calculé en 10⁻² g/ℓ)

DONNEES BRUTES 17 VARIABLES 39 U.S. SORPT crue du 07-12-81

N°	T°	pH	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	HCO ₃	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Débits	Cond.	pH	éq	ΔpH	Bilan	pCO ₂	!pCO ₂ aq !
1	13.000	7.240	0.141	0.185	6.100	0.028	0.127	0.590	5.770	0.110	0.215	5.210	0.680	7.040	0.203	1.790	3.830			
2	13.000	7.230	0.214	0.183	5.960	0.025	0.131	0.618	5.540	0.112	0.215	5.157	0.320	7.060	0.165	1.800	3.840			
3	13.000	7.150	0.153	0.179	5.990	0.025	0.131	0.618	5.540	0.110	0.250	5.159	0.050	7.060	0.088	2.170	4.630			
4	12.900	7.120	0.156	0.175	5.990	0.024	0.150	0.564	5.680	0.110	0.510	5.184	0.235	7.050	0.071	2.320	4.970			
5	12.900	7.100	0.144	0.169	5.990	0.027	0.140	0.564	5.680	0.110	0.550	5.235	0.820	7.050	0.051	2.430	5.210			
6	12.900	7.050	0.145	0.162	6.020	0.026	0.134	0.514	5.800	0.108	0.520	5.306	1.120	7.030	0.016	2.740	5.870			
7	12.900	7.020	0.145	0.185	6.040	0.026	0.143	0.492	5.840	0.109	0.510	5.340	0.990	7.030	-0.009	2.950	6.310			
8	12.800	7.000	0.153	0.207	6.040	0.027	0.141	0.456	5.910	0.107	0.485	5.245	1.070	7.020	-0.025	3.080	6.620			
9	12.800	7.020	0.151	0.200	5.940	0.030	0.150	0.447	5.830	0.107	0.510	5.254	1.320	7.040	-0.015	2.900	6.220			
10	12.700	6.980	0.154	0.195	5.960	0.030	0.151	0.420	5.840	0.101	0.135	5.282	1.040	7.030	-0.052	3.180	6.860			
11	12.600	6.960	0.151	0.194	6.000	0.030	0.141	0.392	5.980	0.095	1.350	5.268	1.530	7.020	-0.059	3.350	7.240			
12	12.600	6.980	0.137	0.191	5.840	0.029	0.139	0.352	5.730	0.095	1.425	5.416	0.650	7.040	-0.062	3.120	6.740			
13	12.600	7.150	0.133	0.196	5.900	0.029	0.133	0.361	5.700	0.094	1.390	5.337	-0.050	7.040	0.109	2.130	4.610			
14	12.600	7.120	0.129	0.202	5.940	0.028	0.128	0.370	5.810	0.092	1.240	5.256	0.520	7.030	0.088	2.300	4.970			
15	12.600	7.070	0.134	0.198	5.920	0.026	0.127	0.379	5.840	0.089	1.265	5.257	0.960	7.030	0.088	2.570	5.550			
16	12.600	7.070	0.136	0.195	6.040	0.025	0.125	0.392	5.910	0.092	0.940	5.498	0.610	7.020	0.049	2.620	5.660			
17	12.600	7.090	0.129	0.192	6.220	0.024	0.122	0.429	5.890	0.095	0.725	5.413	-0.570	7.010	0.076	2.570	5.560			
18	12.600	7.100	0.131	0.189	6.080	0.023	0.124	0.434	5.810	0.096	0.725	5.441	-0.110	7.030	0.072	2.460	5.320			
19	12.500	7.000	0.136	0.196	6.000	0.024	0.130	0.406	5.830	0.095	1.000	5.455	0.490	7.030	-0.032	3.050	6.620			
20	12.400	7.180	0.129	0.202	5.700	0.024	0.126	0.364	5.570	0.092	2.155	5.154	0.410	7.070	-0.112	1.920	4.170			
21	12.400	7.100	0.128	0.194	5.600	0.027	0.120	0.348	5.560	0.092	2.570	5.069	1.120	7.070	0.026	2.270	4.930			
22	12.400	7.040	0.129	0.185	5.520	0.025	0.123	0.336	5.360	0.091	2.330	5.013	0.110	7.090	-0.052	2.570	5.590			
23	12.400	6.960	0.138	0.185	5.460	0.027	0.117	0.343	5.340	0.084	2.780	5.994	0.350	7.100	-0.138	3.050	6.650			
24	12.200	7.000	0.134	0.187	5.300	0.023	0.113	0.321	5.220	0.092	3.835	5.863	0.480	7.120	-0.120	2.700	5.920			
25	12.300	7.060	0.141	0.194	5.460	0.023	0.115	0.330	5.330	0.091	2.860	4.863	0.030	7.100	-0.040	2.420	5.290			
26	12.000	7.100	0.125	0.199	5.500	0.022	0.116	0.401	5.380	0.095	3.270	4.963	0.810	7.110	-0.006	2.220	4.890			
27	12.100	0.127	0.204	5.280	0.020	0.120	0.309	5.120	0.091	4.725	4.753	-0.370	7.130	-0.010	2.040	4.480				
28	11.900	0.125	0.208	5.320	0.027	0.118	0.343	5.220	0.094	4.035	4.753	0.460	7.130	-0.127	2.700	5.970				
29	12.000	7.150	0.126	0.202	5.460	0.023	0.115	0.359	5.300	0.096	2.900	4.863	0.080	7.110	0.039	1.960	4.330			
30	11.900	0.130	0.195	5.540	0.021	0.117	0.392	5.310	0.101	3.670	4.896	-0.240	7.110	0.041	1.990	4.400				
31	11.800	7.110	0.175	0.177	5.240	0.023	0.154	0.334	5.120	0.098	5.500	4.840	0.310	7.140	-0.030	2.060	4.580			
32	11.800	7.120	0.129	0.171	5.160	0.035	0.116	0.316	4.940	0.092	6.270	4.544	0.390	7.160	-0.043	1.960	4.350			
33	11.800	7.150	0.136	0.169	5.140	0.023	0.117	0.330	4.980	0.096	5.650	4.659	0.040	7.160	-0.007	1.850	4.100			
34	12.000	7.150	0.132	0.177	5.360	0.021	0.117	0.365	5.170	0.100	3.025	4.794	0.080	7.130	0.023	1.930	4.250			
35	12.000	7.136	0.175	0.175	5.480	0.021	0.121	0.310	5.310	0.103	2.480	4.943	-0.070	7.110	0.045	1.930	4.250			
36	12.100	7.210	0.131	0.171	5.360	0.020	0.119	0.361	5.150	0.103	2.350	4.805	-0.120	7.130	0.084	1.680	3.700			
37	12.150	7.220	0.135	0.181	5.600	0.023	0.121	0.397	5.380	0.103	1.652	4.985	0.070	7.090	0.125	1.720	3.760			
38	11.200	7.131	0.192	0.192	5.660	0.022	0.122	0.401	5.470	0.102	1.500	5.097	0.260	7.100	0.019	2.160	4.880			
39	11.000	7.150	0.137	0.192	5.700	0.022	0.124	0.415	5.390	0.106	1.390	5.096	-0.610	7.110	0.041	2.020	4.610			
40	12.360	7.095	0.140	0.188	5.711	0.025	0.128	0.409	5.525	0.099	2.069	5.145	0.385	7.075	0.019	2.376	5.173			

Concentrations en mEq/l, débit en m³/s, conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$, pCO_2 en 10^{-2} atm. , CO_2 aq. (calculé)
en 10^{-2} g/l

DONNEES BRUTES 17 VARIABLES 14 U.S. FONTILLE crue du 10-07-81

No	T°	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Débits	Cond.	pH	éq	ΔpH	pCO ₂	CO ₂ aq
1	12.900	7.140	0.113	0.178	5.200	0.040	0.108	0.276	5.160	0.096	0.840	4.775	0.880	7.110	0.026	1.940	4.150
2	12.800	7.090	0.094	0.157	5.360	0.034	0.106	0.255	5.330	0.080	0.935	4.866	1.050	7.090	0.003	2.230	4.800
3	12.700	7.050	0.109	0.162	5.480	0.034	0.110	0.275	5.360	0.084	0.900	4.950	0.200	7.080	-0.031	2.500	5.390
4	12.600	7.020	0.117	0.159	5.560	0.028	0.111	0.343	5.410	0.096	0.567	4.961	0.450	7.080	-0.061	2.710	5.870
5	12.650	6.960	0.110	0.141	5.580	0.031	0.105	0.329	5.580	0.097	0.223	5.087	0.223	7.060	-0.104	3.130	6.750
6	13.100	6.980	0.128	0.152	5.640	0.029	0.108	0.320	5.610	0.090	0.153	5.103	1.230	7.020	-0.069	3.030	6.460
7	12.900	7.010	0.105	0.132	5.760	0.025	0.109	0.346	5.760	0.095	0.085	5.125	2.010	7.040	-0.026	2.880	6.170
8	13.000	7.020	0.114	0.121	5.750	0.025	0.112	0.372	5.740	0.091	0.072	5.194	2.150	7.040	-0.018	2.810	6.010
9	13.000	7.060	0.121	0.160	5.770	0.021	0.111	0.378	5.710	0.097	0.064	5.207	1.400	7.040	0.018	2.380	5.500
10	13.000	7.110	0.114	0.107	5.790	0.016	0.115	0.407	5.680	0.108	0.054	5.182	1.710	7.040	0.058	2.300	4.920
11	13.000	7.040	0.134	0.101	5.690	0.017	0.117	0.440	5.650	0.093	0.046	5.182	2.460	7.070	-0.014	2.650	5.680
12	13.000	7.060	0.168	0.090	5.650	0.017	0.119	0.475	5.560	0.106	0.038	5.081	2.150	7.070	-0.006	2.520	5.390
13	13.000	7.260	0.092	0.131	5.440	0.016	0.119	0.496	5.410	0.089	0.036	5.151	3.270	7.090	0.166	1.530	3.280
14	13.000	7.070	0.131	0.078	5.670	0.016	0.120	0.498	5.450	0.108	0.035	5.081	1.720	7.070	-0.003	2.480	5.290
15	12.904	7.062	0.121	0.131	5.596	0.025	0.112	0.372	5.529	0.095	0.289	5.068	1.607	7.065	-0.004	2.521	5.404

DONNEES BRUTES 17 VARIABLES 12 U.S. FONTILLE crue du 01-04-82

No	T°	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Débits	Cond.	pH	éq	ΔpH	pCO ₂	CO ₂ aq
1	13.100	7.240	0.108	0.164	5.820	0.017	0.117	0.499	5.700	0.117	0.042	4.943	1.950	7.050	0.191	1.720	3.650
2	13.100	7.250	0.114	0.169	5.800	0.017	0.115	0.502	5.640	0.118	0.043	4.936	1.530	7.060	0.195	1.670	3.560
3	13.100	7.300	0.113	0.171	5.760	0.018	0.115	0.471	5.670	0.121	0.076	4.936	1.860	7.050	0.247	1.480	3.150
4	13.100	7.290	0.118	0.158	5.800	0.018	0.113	0.434	5.730	0.114	0.088	4.936	1.740	7.040	0.248	1.530	3.250
5	13.100	7.260	0.119	0.143	5.840	0.017	0.107	0.409	5.790	0.115	0.085	4.981	1.780	7.030	0.228	1.550	3.460
6	13.200	7.270	0.119	0.162	5.920	0.017	0.107	0.398	5.760	0.108	0.075	4.966	0.660	7.030	0.243	1.630	3.410
7	13.100	7.280	0.117	0.181	5.960	0.016	0.105	0.407	5.790	0.108	0.069	5.019	0.510	7.030	0.254	1.600	3.410
8	13.100	7.280	0.112	0.185	5.920	0.016	0.106	0.411	5.830	0.106	0.063	5.000	1.150	7.030	0.253	1.590	3.390
9	13.000	7.250	0.114	0.191	5.940	0.015	0.106	0.427	5.790	0.108	0.052	5.038	0.760	7.030	0.218	1.710	3.650
10	13.000	7.250	0.116	0.185	5.940	0.015	0.107	0.435	5.800	0.110	0.050	5.000	0.960	7.030	0.219	1.710	3.650
11	13.100	7.250	0.119	0.181	5.900	0.015	0.110	0.462	5.840	0.111	0.047	5.000	1.790	7.030	0.218	1.700	3.620
12	13.100	7.220	0.120	0.181	5.900	0.015	0.110	0.469	5.770	0.114	0.045	5.002	1.320	7.040	0.183	1.820	3.880
13	13.092	7.262	0.116	0.173	5.875	0.016	0.110	0.444	5.759	0.113	0.061	4.983	1.334	7.038	0.225	1.651	3.514

Concentration en $m\text{eq/l}$, débit en m^3/s , conductivité en $\mu\text{s/cm}$, pCO_2 en 10^{-2} atm , CO_2 aq. (calculé)

en 10^{-2} g/l

ANNEXE VIII

TABLEAUX ET PLANS FACTORIELS COMPLETANT LES ACP PRESENTEES DANS
LE TEXTE.

DESCRIPTION DES VARIATIONS DE LA CHIMIE DES EAUX LORS DES CRUES

TABLEAUX ET PLANS FACTORIELS COMPLETANT LES ACP PRÉSENTÉES DANS
LE TEXTE.

- Perte de la Couze:ACP 1
- Source du Blagour:ACP 4 et ACP 7
- Cressonnier du Blagour:ACP2
- Source de Fontille:ACP 3
- Event d'Entrecors :ACP 1
- Source du Sorpt : ACP 2 et ACP 6

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR. PROPRE	6.73	1.69	1.03	.93
VAR. EXPRIMEE.*	56.05	14.08	8.52	7.25
VAR. CUMULEE.*	56.05	70.13	78.71	86.46

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.731	-.053	-.203	-.118
Cl-	.361	.476	.651	-.359
S04--	.684	-.200	.229	.533
HCO3-	.939	-.244	.115	.125
K+	.753	.431	-.246	-.192
Na+	.721	.429	-.156	-.187
Mg++	.948	-.209	.108	.112
Ca++	.936	-.255	.104	.089
SiO2	.748	.445	.080	-.083
Q	-.621	.342	.515	.283
DpH	.806	-.471	.137	-.288
PCO2	.502	.582	-.275	.494

PERTE DE LA COUZE

ACP1

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.535	.538	.579	.593
Cl-	.130	.357	.781	.910
S04--	.465	.508	.585	.820
HCO3-	.982	.942	.955	.970
K+	.567	.753	.814	.831
Na+	.519	.703	.728	.763
Mg++	.900	.343	.555	.968
Ca++	.877	.342	.553	.961
SiO2	.560	.758	.764	.771
Q	.386	.503	.766	.848
DpH	.650	.871	.890	.973
PCO2	.252	.598	.673	.917

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	-2.782	-.132	-.935	.234
10-04-81	2	-1.915	-.169	-.880	.836
27-04-81	3	-2.025	-.486	-.885	-.274
19-05-81	4	-1.536	-1.325	.156	-1.005
01-06-81	5	-1.385	1.051	-.247	1.128
15-06-81	6	.339	.573	-2.050	-.120
29-06-81	7	.794	.463	-.298	-.621
13-07-81	8	.435	1.845	-1.427	1.064
17-08-81	10	3.692	2.560	-1.312	-.409
31-08-81	11	3.564	.476	-.050	-.622
14-09-81	12	2.452	1.241	-.280	-.991
28-09-81	13	2.652	2.646	-.404	.308
12-10-81	14	2.381	1.285	2.965	-2.804
26-10-81	15	-.253	1.344	.211	-.144
29-11-81	16	.782	.723	-.219	-.168
23-11-81	17	.634	.276	.035	-.775
07-12-81	18	-.1.812	.689	.438	-.451
21-12-81	19	-3.189	1.254	2.660	.964
24-01-82	20	-2.548	1.285	1.993	.966
18-01-82	21	-.2.161	-.043	.686	.237
01-02-82	22	-2.383	.445	.475	1.149
15-02-82	23	-1.751	.826	-.756	.939
01-03-82	24	-2.577	-.921	.276	-.209
15-03-82	25	-3.079	-.508	.747	.262
29-03-82	26	-2.612	-1.419	.020	.056
12-04-82	27	-2.470	-1.461	-.141	-.254
26-04-82	28	-1.530	-1.839	-.425	-.478
10-05-82	29	-1.599	-1.301	-.606	-.358
24-05-82	30	-.326	-.611	-.630	-.710
07-06-82	31	1.561	-1.463	-.758	-.760
21-06-82	32	2.615	-1.709	-.149	-.626
05-07-82	33	3.761	-2.114	.574	.372
19-07-82	34	4.386	-1.475	.431	.584
16-08-82	35	6.624	-1.946	1.342	3.200

1	.9243	2	.0130	3	.0147	4	.0190	5	.0149
6	.9136	7	.0068	8	.0208	10	.0583	11	.0346
12	.0234	13	.0090	14	.0696	15	.0212	16	.0162
17	.0108	18	.0091	19	.0565	20	.0345	21	.0142
22	.0265	23	.0178	24	.0190	25	.0261	26	.0223
27	.0207	28	.0177	29	.0136	30	.0056	31	.0160
32	.0266	33	.0513	34	.0211	35	.1521		

CONTRIBUTION DES US A
LA DETERMINATION DES FACT.

US N F 1 F 2 F 3 F 4

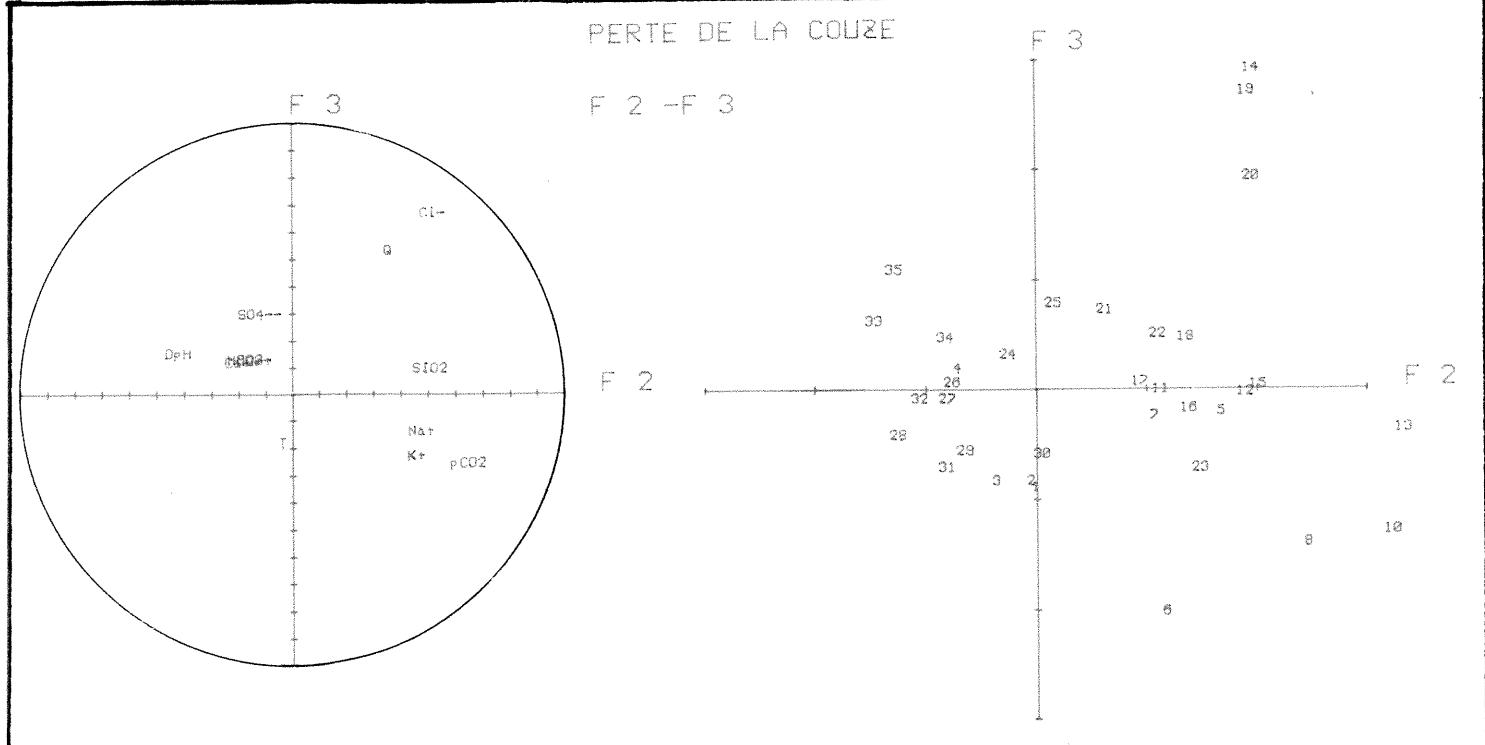
31-03-81	1	.0339	.0003	.0250	.0017
10-04-81	2	.0160	.0005	.0221	...
27-04-81	3	.0188	.0041	.0224	.0024
19-05-81	4	.0103	.0305	.0007	.0372
01-06-81	5	.0084	.0192	.0017	.0403
15-06-81	6	.0005	.0057	.1201	.0005
29-06-81	7	.0028	.0037	.0225	.0142
13-07-81	8	.0068	.0593	.0582	.0358
17-08-81	10	.0539	.1141	.2496	.0053
31-08-81	11	.0555	.0033	.0001	.0122
14-09-81	12	.0264	.0266	.0002	.0310
28-09-81	13	.0308	.1218	.0042	.0261
12-10-81	14	.0363	.0287	.0246	.0486
26-10-81	15	.0003	.03140007
09-11-81	16	.0027	.0091	.0014	.0009
20-11-81	17	.0018	.00130130
07-12-81	18	.0045	.0083	.0055	.0064
21-12-81	19	.0445	.0274	.0223	.0294
04-01-82	20	.0284	.0287	.1024	.0238
18-01-82	21	.02040134	.0018
21-02-82	22	.0363	.0035	.0064	.0418
15-02-82	23	.0134	.0119	.0164	.0279
21-03-82	24	.0291	.3148	.0022	...
15-03-82	25	.0414	.0045	.0153	.0001
29-03-82	26	.0298	.03500001
12-04-82	27	.0362	.0372	.0006	.0001
26-04-82	28	.0102	.0628	.0065	.0072
10-05-82	29	.0112	.0295	.0106	.0040
24-05-82	30	.0005	.0065	.0114	.0160
07-06-82	31	.0187	.0372	.0164	.0183
21-06-82	32	.0239	.0326	.0006	.0124
05-07-82	33	.0613	.2776	.0094	.0002
19-07-82	34	.1844	.0379	.0053	.0108
16-08-82	35	.1918	.0653	.0313	.0328

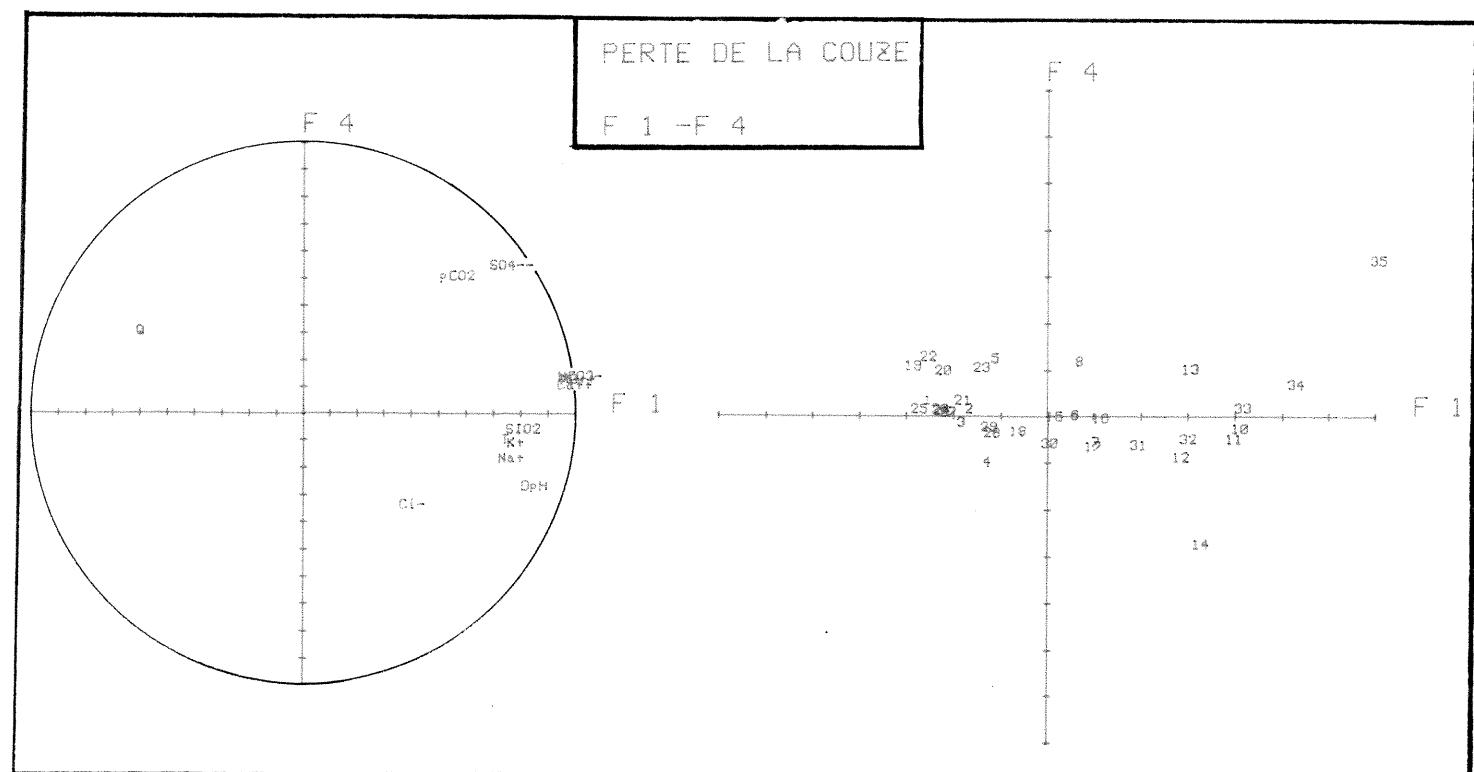
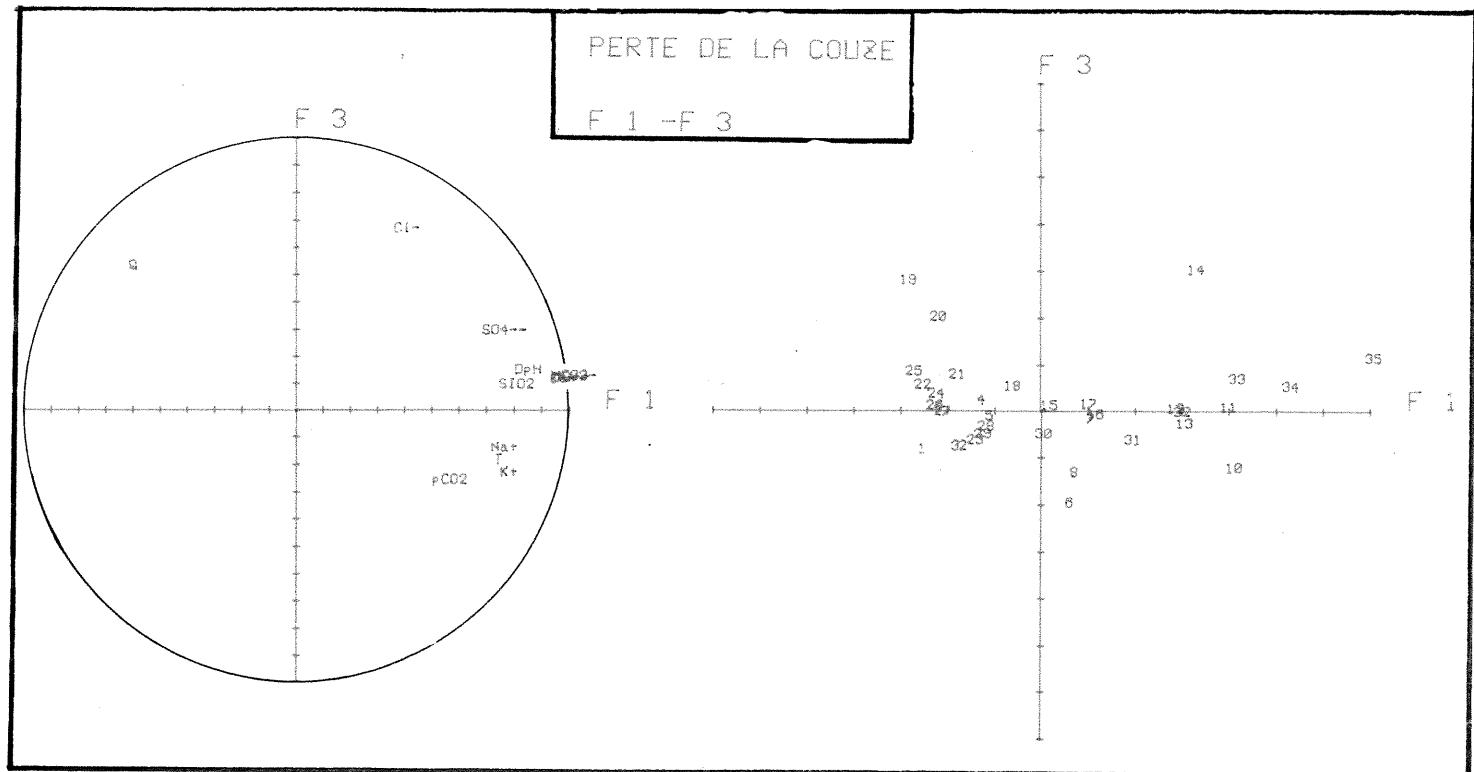
31-03-81	1	.782	.784	.872	.878
10-04-81	2	.691	.696	.842	.842
27-04-81	3	.717	.756	.867	.893
19-05-81	4	.584	.530	.533	.685
01-06-81	5	.315	.492	.507	.716
15-06-81	6	.021	.088	.836	.841
29-06-81	7	.227	.304	.336	.498
13-07-81	8	.023	.441	.698	.829
17-08-81	10	.524	.858	.823	.930
31-08-81	11	.908	.916	.916	.943
14-09-81	12	.632	.792	.733	.896
28-09-81	13	.442	.882	.893	.944
12-10-81	14	.292	.350	.633	.916
26-10-81	15	.007	.216	.216	.218
09-11-81	16	.093	.172	.179	.184
23-11-81	17	.091	.188	.183	.245
07-12-81	18	.276	.484	.456	.511
21-12-81	19	.441	.583	.816	.856
04-01-82	20	.461	.573	.833	.887
18-01-82	21	.007	.888	.883	.899
01-02-82	22	.769	.786	.808	.931
15-02-82	23	.423	.517	.597	.718
01-03-82	24	.857	.967	.926	.976
15-03-82	25	.889	.913	.965	.966
29-03-82	26	.751	.972	.973	.973
12-04-82	27	.722	.975	.978	.978
26-04-82	28	.323	.821	.853	.884
10-05-82	29	.462	.767	.834	.852
24-05-82	30	.947	.211	.385	.607
07-06-82	31	.374	.702	.798	.879
21-06-82	32	.630	.839	.901	.937
05-07-82	33	.676	.889	.905	.905
19-07-82	34	.823	.898	.904	.916
16-08-82	35	.707	.766	.786	.951

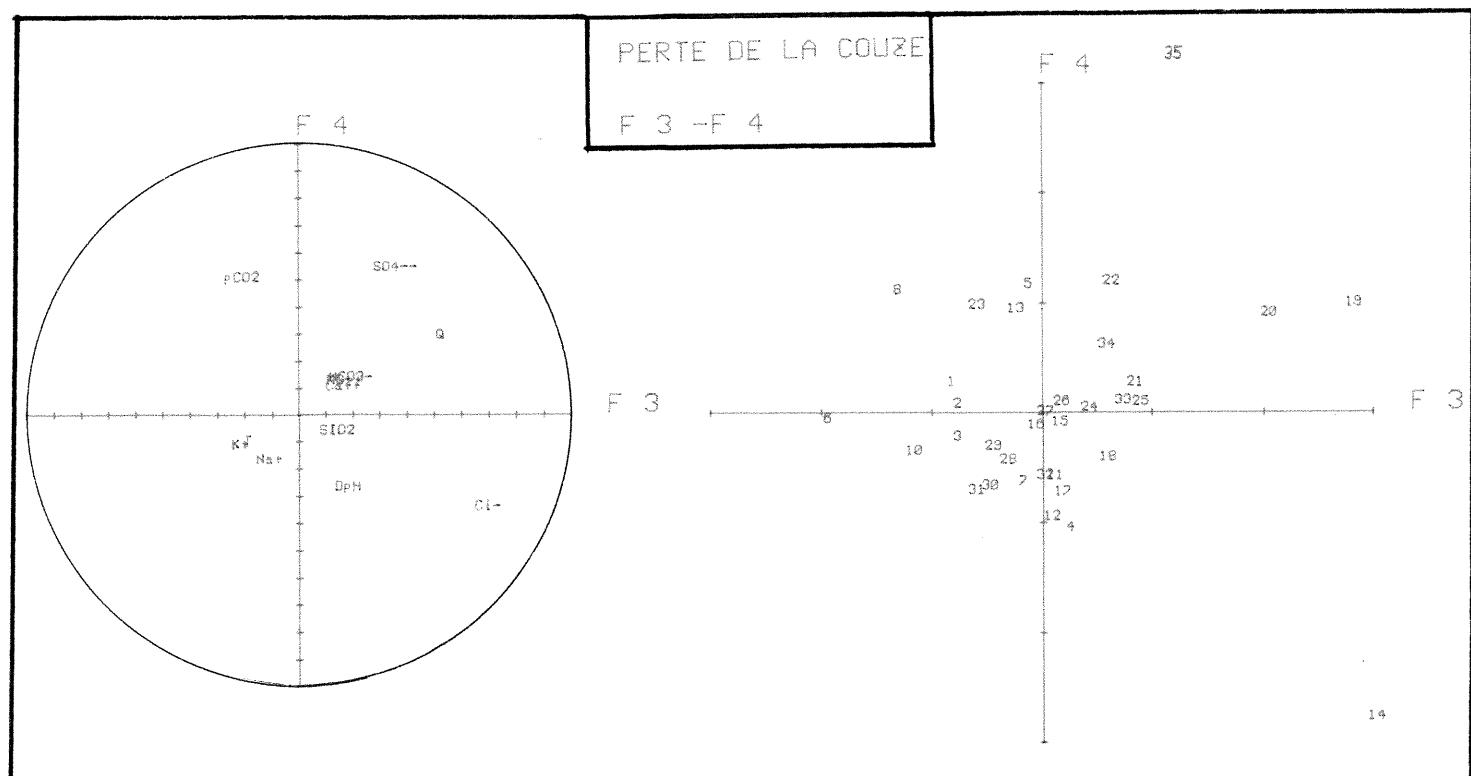
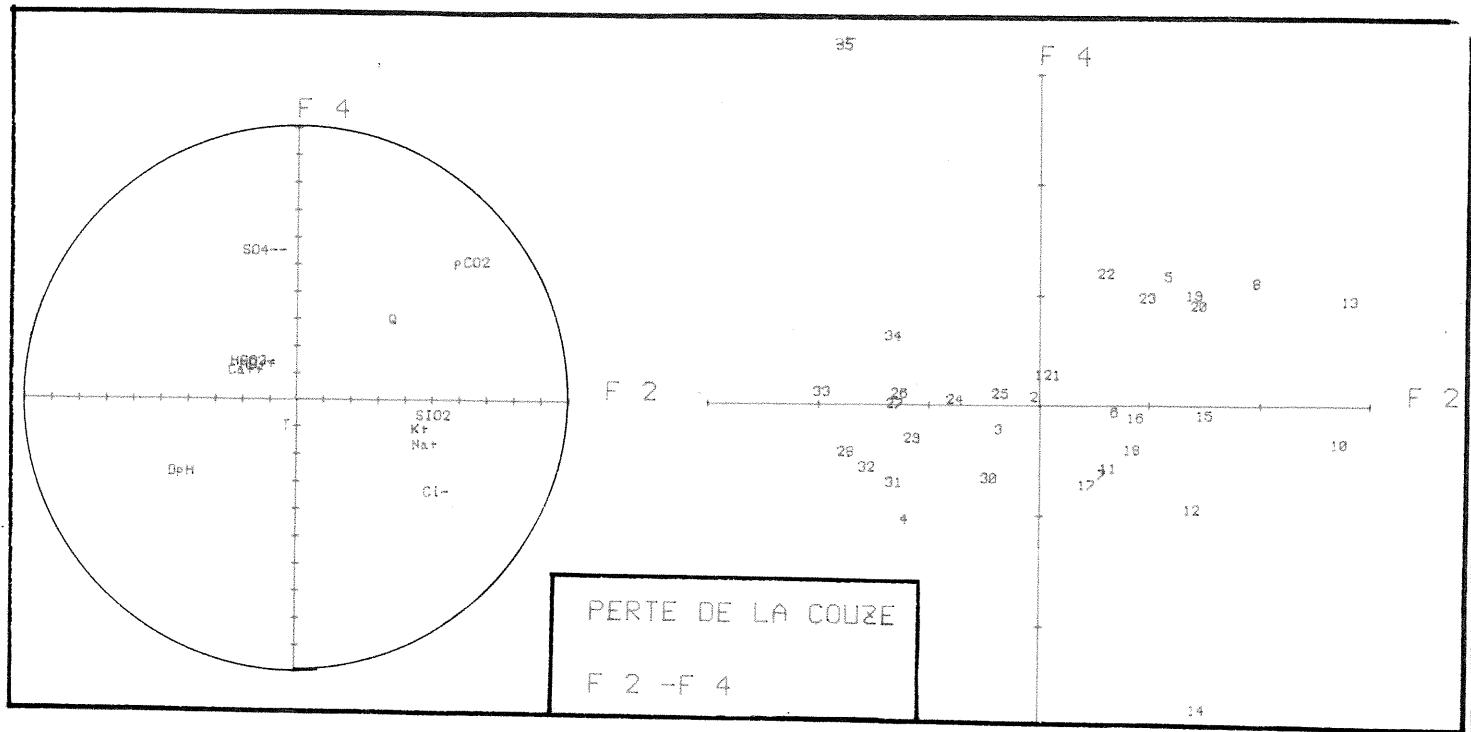
MATRICE DES CORRELATIONS

	T	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HC ₀₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Q	D _{pH}	pCO ₂
T	1.000	.184	.394	.633	.648	.483	.526	.646	.438	-.465	.654	.365
Cl ⁻	.184	1.000	.142	.256	.342	.486	.259	.254	.456	.110	.242	.168
SO ₄ ²⁻	.394	.142	1.000	.234	.292	.339	.268	.204	.398	-.248	.513	.355
HC ₀₃ ⁻	.633	.256	.234	1.000	.551	.515	.383	.392	.584	-.566	.852	.385
K ⁺	.648	.342	.292	.551	1.000	.684	.569	.566	.712	-.489	.428	.602
Na ⁺	.483	.486	.339	.515	.684	1.000	.586	.502	.722	-.501	.388	.517
Mg ²⁺	.526	.259	.258	.569	.569	.586	1.000	.922	.632	-.594	.837	.376
Ca ²⁺	.646	.254	.204	.592	.566	.502	.922	1.000	.524	-.520	.865	.364
SiO ₂	.438	.456	.398	.584	.712	.722	.632	.524	1.000	-.281	.434	.503
Q	-.465	.110	-.248	-.566	-.489	-.501	-.584	-.520	-.281	1.000	-.630	-.136
D _{pH}	.654	.242	.513	.852	.428	.388	.832	.865	.434	-.830	1.000	-.042
pCO ₂	.365	.168	.355	.385	.602	.517	.376	.364	.500	-.136	-.042	1.000

PERTE DE LA COUZE







CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
VALEUR, PROPRE	4.56	3.25	1.08	.87																														
VAR. EXPRIMEE, *	37.99	27.07	9.01	7.24																														
VAR. CUMULEE, *	37.99	65.07	74.08	81.32																														

CONTRIBUTION DES US A
LA DETERMINATION DES FACT.

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.802	.262	-.122	-.120
Cl-	.377	.408	.236	-.081
SO4--	-.468	.635	.337	.191
HCO3-	.896	.119	-.215	.165
K+	-.183	.877	.307	.225
Na+	.178	.748	.262	-.163
Mg++	.695	.172	.319	.442
Ca++	.836	-.018	-.232	.174
SiO2	.792	.081	.041	-.146
Q	-.892	.021	-.223	-.023
DpH	.426	-.724	.433	.089
pCO2	.000	.843	-.527	.040

BLAGOUR

ACP 4

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.1501	.0133	.0072	.0001
18-04-81	2	.00340171	.0202
27-04-81	3	.0021	.0223	.0018	.0108
01-06-81	4	.0153	.0003	.0447	.0310
15-06-81	5	.0003	.0014	.0068	.0029
29-06-81	6	.0022	.03490649
27-07-81	8	.0041	.0204	.0001	.0036
17-08-81	9	.0003	.0321	.0006
28-09-81	12	.0003	.4933	.0002	.0582
12-10-81	13	.0088	.1235	.1341	.0393
26-10-81	14	.0353	.0149	.0172	.0033
09-11-81	15	.0162	.0333	.0112	.2568
23-11-81	16	.02480039	.0670
07-12-81	17	.0040	.0031	.2311	.0332
21-12-81	18	.18930000	.0223
04-01-82	19	.0684	.0006	.0525	.0002
18-01-82	20	.0050	.0001	.0081	.0002
01-02-82	21	.0474	.0005	.0332
15-02-82	22	.0008	.00880042
01-03-82	23	.0344	.0052	.1144
15-03-82	24	.0385	.0300	.0451	.0032
29-03-82	25	.0127	.0484	.0002	.0422
12-04-82	26	.0017	.0306	.0014	.0069
26-04-82	27	.0141	.0147	.0016	.1266
10-05-82	28	.0036	.0176	.0134	.0048
24-05-82	29	.0191	.0002	.0217	.0001
07-06-82	30	.0233	.0012	.0011	.0037
21-06-82	31	.0331	.0036	.0099	.0062
05-07-82	32	.0245	.0006	.0188	.0005
19-07-82	33	.0212	.0273	.0067	.0153
02-08-82	34	.0232	.0137	.0104	.0011
16-08-82	35	.0592	.0071	.0090	.1251
30-08-82	36	.0561	.0241	.0021	.0440
13-09-82	37	.0481	.0220	.0040	.0023

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.643	.714	.745	.760
Cl-	.142	.302	.358	.822
SO4--	.219	.623	.736	.773
HCO3-	.896	.820	.866	.893
K+	.036	.895	.099	.949
Na+	.032	.591	.659	.686
Mg++	.483	.512	.614	.903
Ca++	.699	.699	.753	.783
SiO2	.627	.634	.635	.657
Q	.644	.644	.694	.695
DpH	.226	.751	.939	.939
pCO2	.004	.713	.991	.993

CARRES DES M. COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

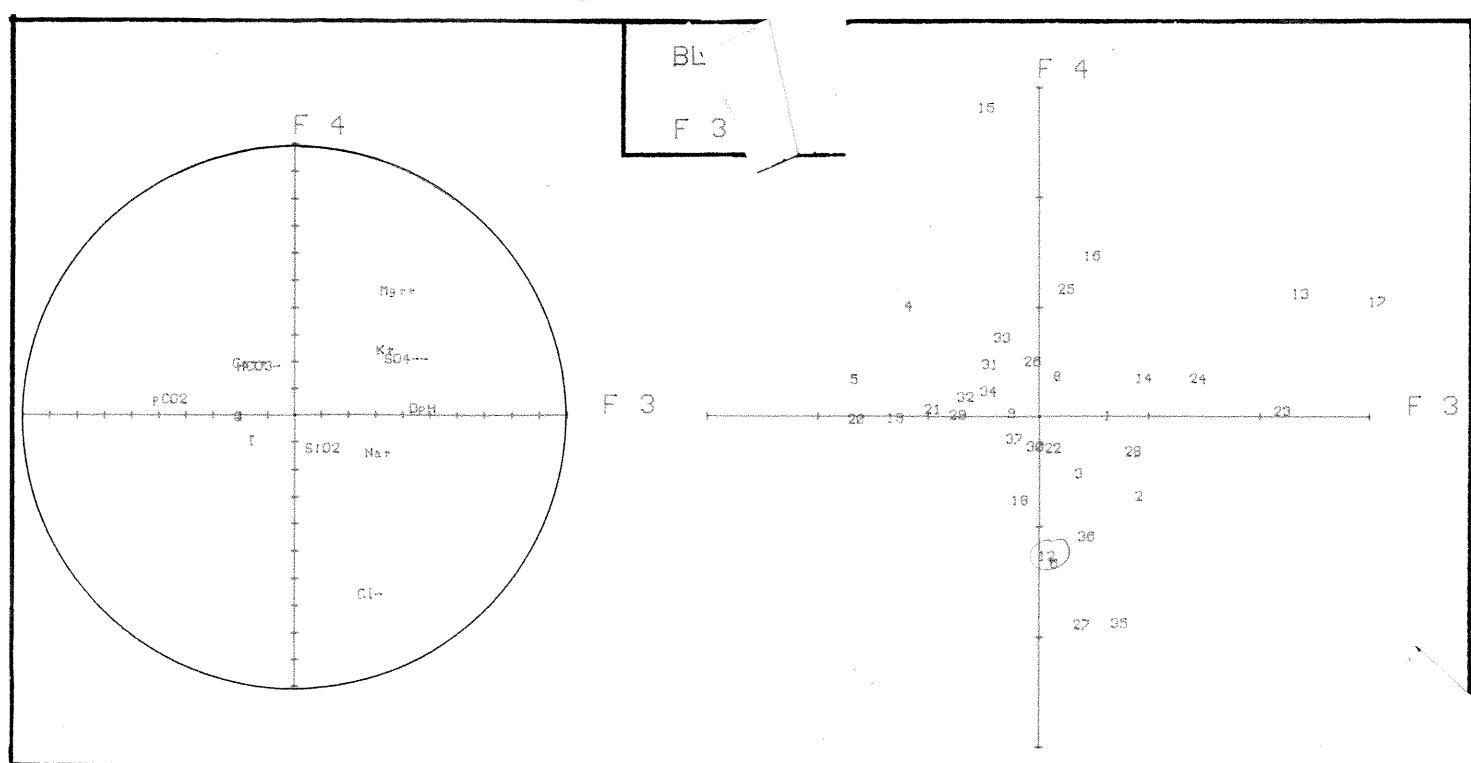
COMPOSANTES PRINCIPALES

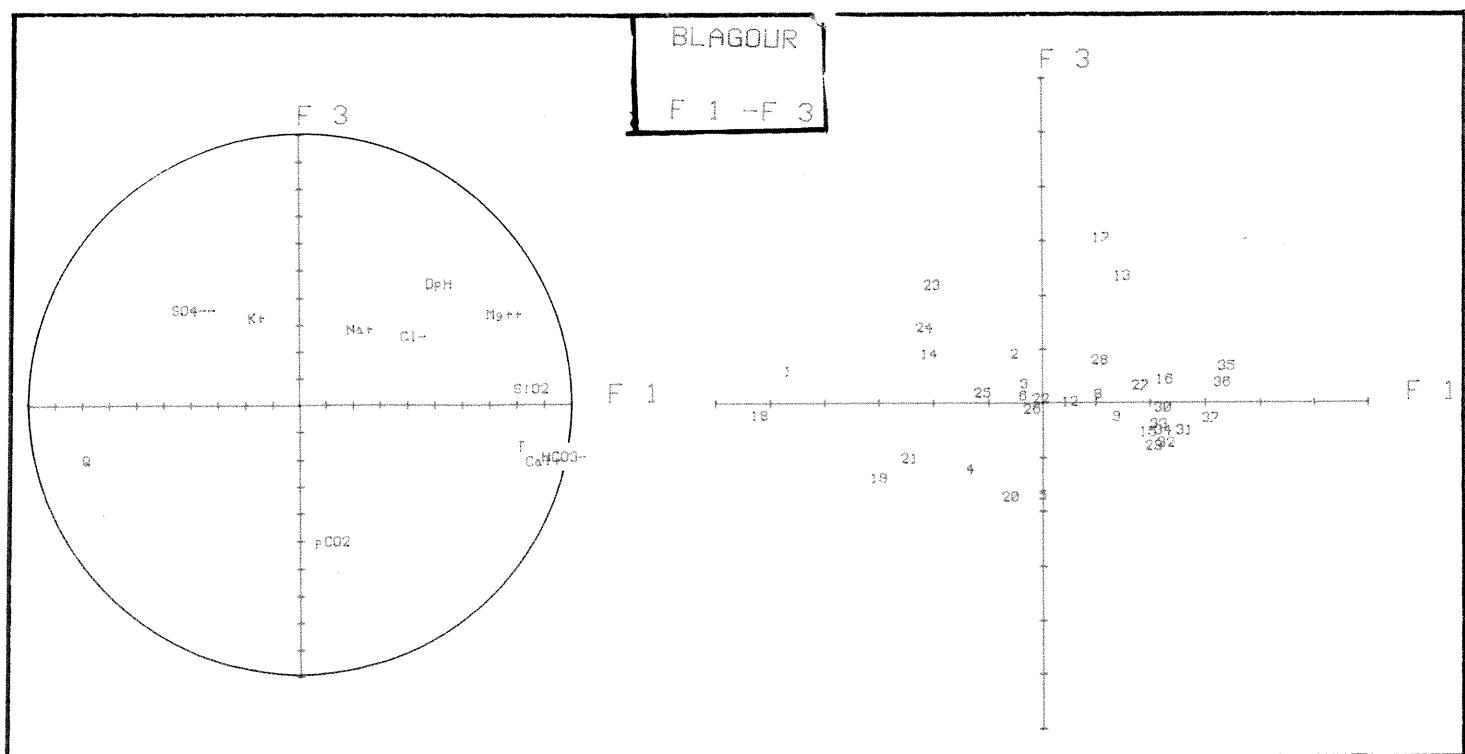
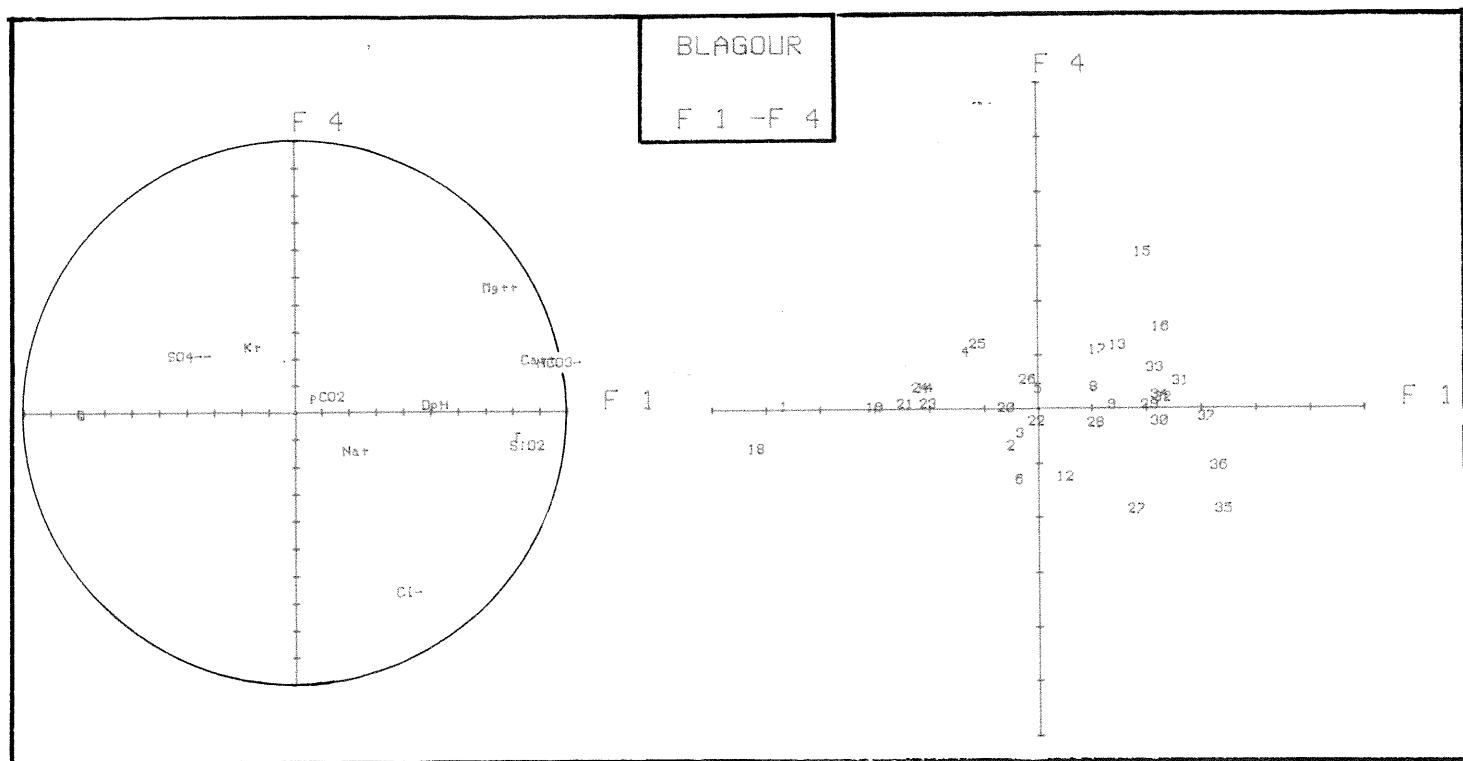
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	-4.823	-1.212	.514	-.046
18-04-81	2	-.726	-.028	.793	-.772
27-04-81	3	-.578	-1.569	.255	-.565
01-06-81	4	-1.541	.602	-1.282	.958
15-06-81	5	-.226	.393	-1.786	.293
29-06-81	6	-.582	1.963	.033	-1.384
27-07-81	8	.793	1.502	.055	.326
17-08-81	9	1.134	1.884	-.364	-.028
28-09-81	12	.212	6.918	-.089	-1.312
12-10-81	13	1.162	3.694	2.221	1.072
26-10-81	14	-2.359	1.285	.296	.311
09-11-81	15	1.611	1.912	-.641	2.750
23-11-81	16	1.928	-.056	.301	1.407
07-12-81	17	.784	-.581	2.915	.998
21-12-81	18	-5.425	.053	-.331	-.811
04-01-82	19	-3.257	-.248	-1.455	-.071
18-01-82	20	-.879	.093	-1.900	-.083
01-02-82	21	-2.711	.230	-1.105	.020
15-02-82	22	-.345	.985	-.003	-.354
01-03-82	23	-2.310	-.759	2.051	.012
15-03-82	24	-2.443	-1.921	1.288	.308
23-03-82	25	-1.405	-2.312	.093	1.116
12-04-82	26	-.511	-1.837	-.224	.452
26-04-82	27	1.488	-1.275	.244	-1.934
10-05-82	28	.746	-1.393	.703	-.375
24-05-82	29	1.723	-.140	-.894	-.053
07-06-82	30	1.900	.358	-.205	-.329
21-06-82	31	2.265	-.632	-.605	.429
05-07-82	32	1.947	-.974	-.831	.127
19-07-82	33	1.913	-1.735	-.498	.672
02-08-82	34	1.898	-1.230	-.620	.193
16-08-82	35	3.030	-.987	.525	-1.922
30-08-82	36	2.948	-1.633	.278	-1.140
13-09-82	37	2.732	-1.559	-.385	-.259

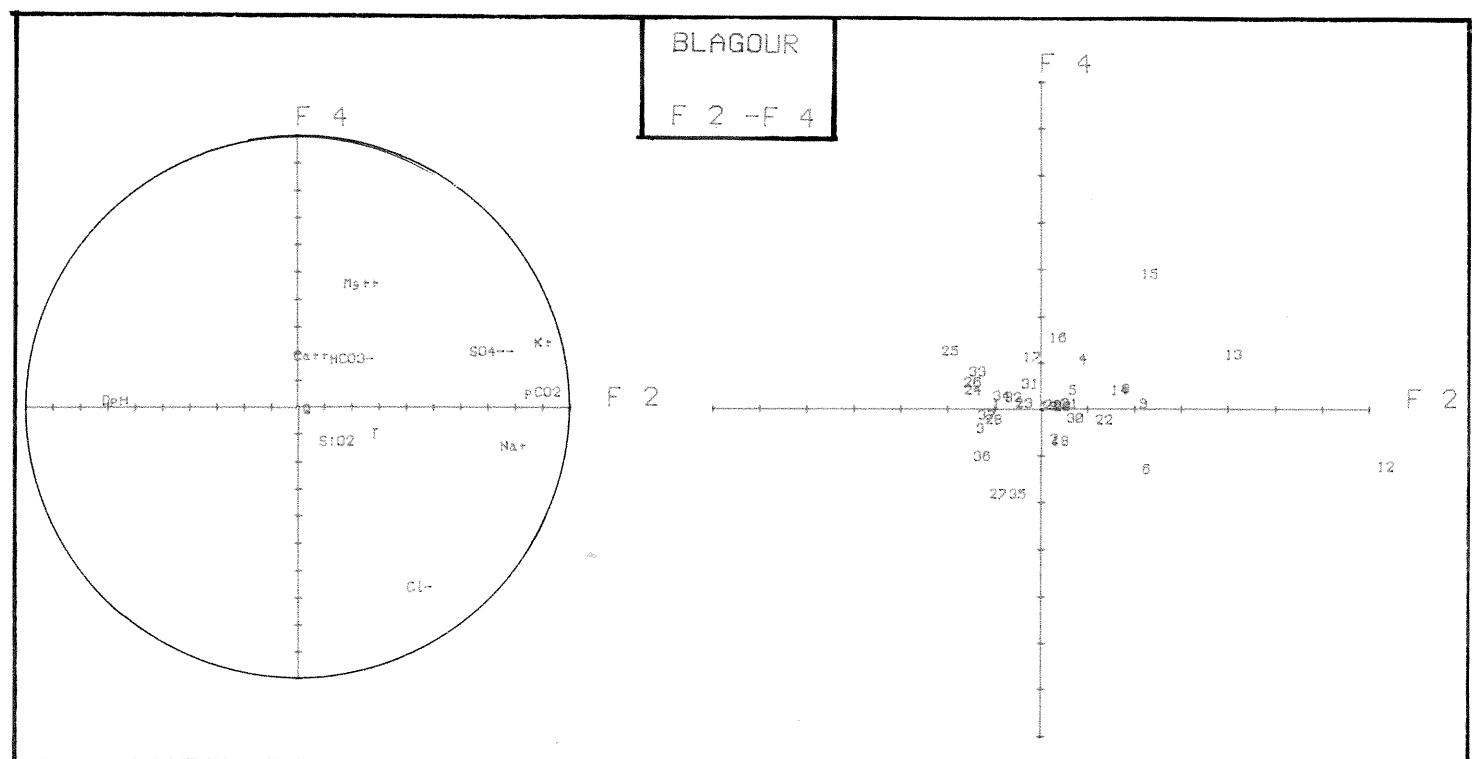
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.787	.837	.846	.846
10-04-81	2	.074	.074	.163	.246
27-04-81	3	.046	.392	.481	.446
01-06-81	4	.242	.286	.457	.552
15-06-81	5	.009	.036	.593	.606
29-06-81	6	.044	.533	.593	.777
27-07-81	8	.150	.680	.681	.706
17-08-81	9	.216	.811	.803	.833
28-08-81	12	.001	.920	.928	.953
12-10-81	13	.061	.626	.638	.958
26-10-81	14	.422	.554	.603	.618
09-11-81	15	.152	.329	.404	.461
23-11-81	16	.492	.483	.452	.754
07-12-81	17	.050	.077	.266	.842
21-12-81	18	.768	.789	.771	.789
04-01-82	19	.774	.729	.933	.933
18-01-82	20	.132	.133	.686	.682
01-02-82	21	.646	.651	.758	.758
15-02-82	22	.022	.205	.205	.223
01-03-82	23	.374	.414	.709	.703
15-03-82	24	.501	.729	.918	.926
29-03-82	25	.204	.756	.759	.988
12-04-82	26	.054	.747	.757	.799
26-04-82	27	.195	.339	.345	.678
10-05-82	28	.146	.653	.782	.819
24-05-82	29	.637	.782	.889	.890
07-06-82	30	.843	.873	.883	.906
21-06-82	31	.748	.806	.859	.886
05-07-82	32	.623	.729	.933	.935
19-07-82	33	.432	.832	.920	.930
02-08-82	34	.510	.724	.778	.783
16-08-82	35	.619	.672	.695	.944
30-08-82	36	.639	.835	.941	.936
13-09-82	37	.617	.818	.830	.836

MATRICE DES CORRELATIONS

	T	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Nat	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Q	DpH	pCO ₂
T	1.000	.352	-.235	.214	.032	.238	.422	.541	.625	-.724	.106	.346
Cl ⁻	.352	1.000	.106	.302	.192	.408	.165	.260	.300	-.239	.302	.217
SO ₄ ²⁻	-.235	.106	1.000	-.015	.810	.231	-.116	-.083	-.313	.318	-.496	.028
HCO ₃ ⁻	.214	.302	-.015	1.000	-.029	.118	.623	.889	.648	-.580	.308	.222
K ⁺	.032	.192	.810	-.029	1.000	.635	.152	-.180	-.113	.025	-.558	.520
Nat	.238	.408	.231	.118	.635	1.000	.292	.028	.234	-.168	-.348	.488
Mg ⁺⁺	.422	.165	-.116	.623	.152	.292	1.000	.546	.528	-.529	.281	.045
Ca ⁺⁺	.541	.260	-.083	.898	-.190	.028	.546	1.000	.504	-.560	.362	.167
SiO ₂	.625	.300	-.013	.648	-.113	.234	.528	.504	1.000	-.536	.285	.020
Q	-.724	-.239	.310	-.580	.025	-.169	-.529	-.560	-.536	1.000	-.460	.021
DpH	.106	.002	-.496	.388	-.558	-.348	.281	.362	.285	-.460	1.000	-.815
pCO ₂	.346	.217	.328	.272	.528	.498	.045	.162	.020	.021	-.915	1.000







MATRICE DES CORRELATIONS

BLAGOUR CYCLE 1982
ACP 7 ETIAGE
U,S 28 ---> 37

	T	HCO3-	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DpH	pCO2
T	1.000	.901	.705	.373	.232	-.223	-.162	.423
HCO3-	.901	1.000	.560	.402	-.082	-.485	-.325	.614
Mg++	.705	.560	1.000	-.071	.590	-.361	.413	-.202
Ca++	.373	.402	-.071	1.000	-.212	.123	-.300	.501
SiO2	.232	-.082	.590	-.212	1.000	-.620	.361	-.323
Q	-.223	-.485	-.361	.123	-.620	1.000	-.444	.243
DpH	-.162	-.325	.413	-.300	.361	-.444	1.000	-.343
pCO2	.423	.614	-.202	.501	-.323	.243	-.343	1.000

	F 1	F 2	F 3
VALEUR PROPRE	3,46	3,03	.75
VAR. EXPRIMEE, %	43,20	38,59	9,43
VAR. CUMULEE, %	43,20	81,29	91,29

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

28	.3425	29	.1150	30	.0633	31	.0213	32	.0652
33	.0283	34	.0405	35	.0543	36	.1024	37	.1062

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3
T	.845	.495	.032
HCO3-	.660	.698	.012
Mg++	.364	-.165	.006
Ca++	.068	.643	.560
SiO2	.596	-.454	-.285
Q	-.963	.223	.046
DpH	.227	-.854	.421
pCO2	-.042	.963	-.240

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3
T	.715	.960	.961
HCO3-	.435	.922	.923
Mg++	.923	.956	.956
Ca++	.005	.418	.853
SiO2	.355	.561	.643
Q	.939	.989	.931
DpH	.072	.802	.984
pCO2	.002	.930	.987

US N F 1 F 2 F 3

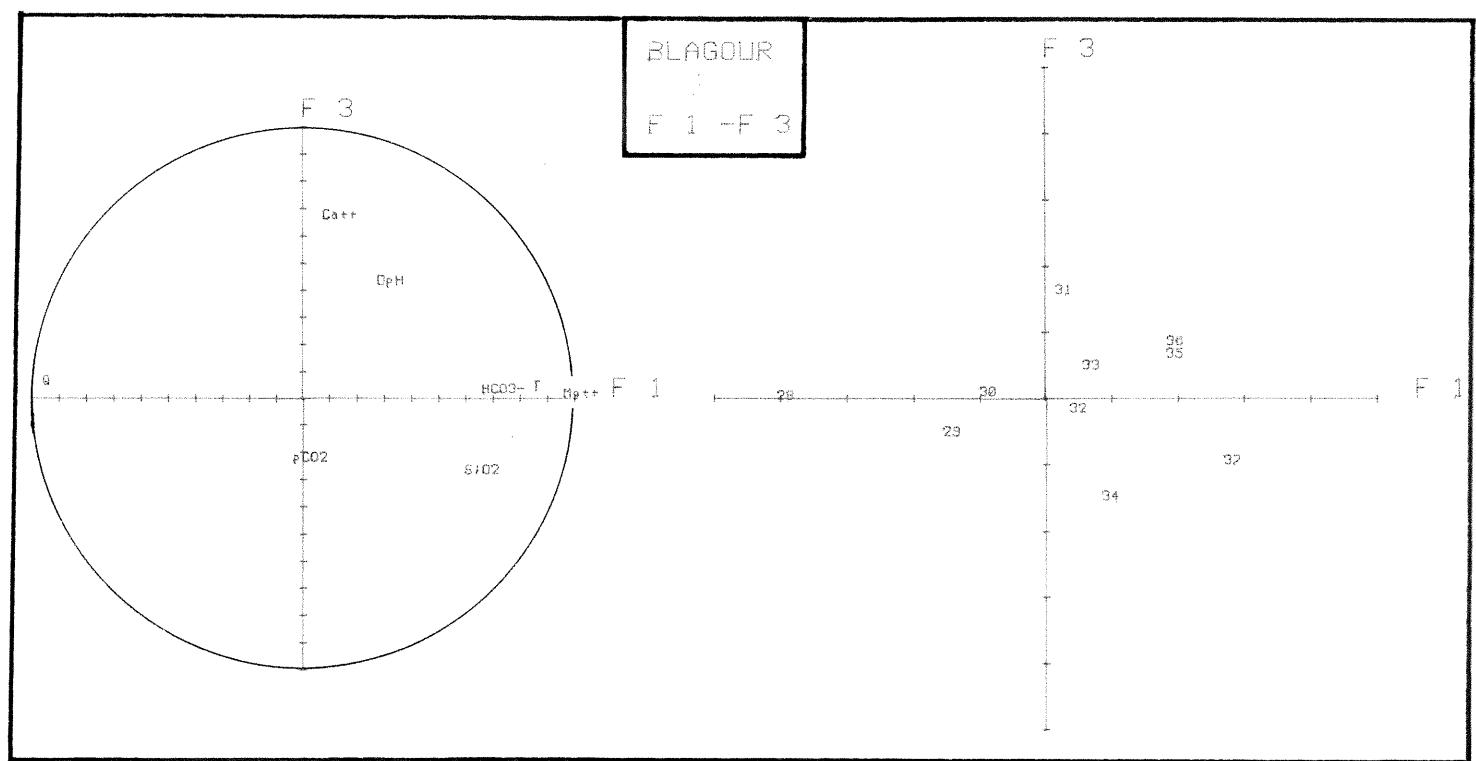
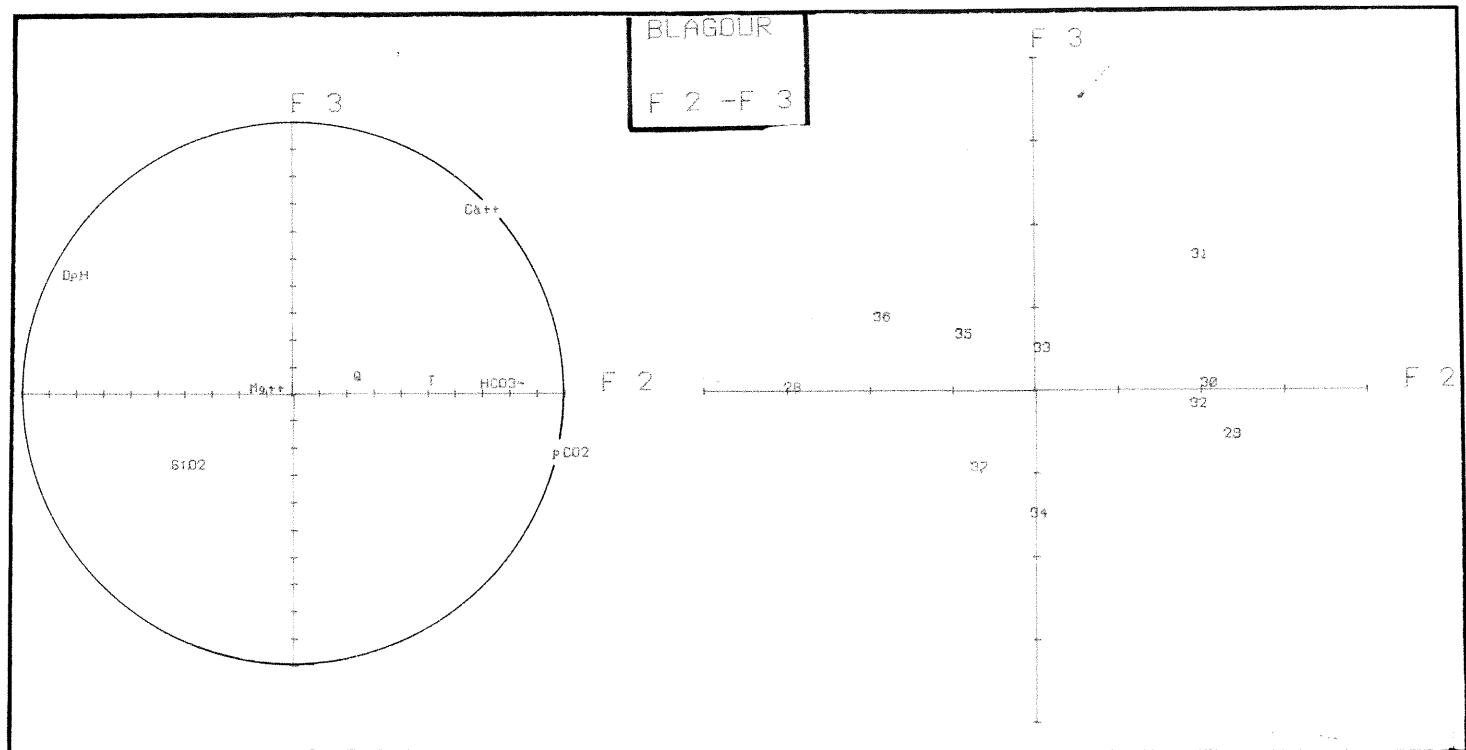
10-05-82	28	.5125	.3232	.0003
24-05-82	29	.0854	.1523	.0486
07-06-82	30	.0397	.1138	.0001
21-06-82	31	.0001	.1021	.3268
05-07-82	32	.0015	.1007	.0082
19-07-82	33	.0042	.0008	.0254
02-08-82	34	.0136	.0012	.3210
16-08-82	35	.0231	.0395	.0502
30-08-82	36	.0279	.1393	.0866
13-09-82	37	.1856	.0262	.1322

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3
10-05-82	28	-.203	-.161	-.047
24-05-82	29	-1.718	2.123	-.606
07-06-82	30	-1.172	1.824	.027
21-06-82	31	-.044	1.725	1.520
05-07-82	32	.227	1.763	-.243
19-07-82	33	.493	-.152	.438
02-08-82	34	.685	-.183	-.1.556
16-08-82	35	1.653	-1.104	.516
30-08-82	36	1.541	-2.073	.808
13-09-82	37	2.532	-.899	-1.001

CARRES DES M, COS, DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3
10-05-82	28	.637	.337	.337
24-05-82	29	.321	.834	.824
07-06-82	30	.271	.965	.965
21-06-82	31548	.977
05-07-82	32	.010	.686	.617
19-07-82	33	.072	.083	.168
02-08-82	34	.145	.156	.905
16-08-82	35	.630	.911	.938
30-08-82	36	.313	.814	.838
13-09-82	37	.731	.846	.963



CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR, PROPRE	3.55	2.96	1.57	1.20
VAR. EXPRIMEE, %	29.54	24.63	13.09	10.04
VAR. CUMULEE, %	29.54	54.18	67.27	77.31

1	.1462	2	.0146	3	.0187	4	.0127	5	.0224
6	.0068	7	.0048	8	.0413	9	.0088	10	.0124
12	.1014	13	.0401	14	.0331	15	.0261	16	.0326
17	.0133	18	.0104	19	.0185	20	.0282	21	.0126
22	.0341	23	.0502	24	.0454	25	.0341	26	.0213
27	.0174	28	.0111	29	.0352	30	.0280	31	.0111
32	.0074	33	.0084	34	.0073	35	.0183		

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.808	-.034	-.208	.116
Cl-	.022	.132	.891	-.051
S04--	-.316	-.535	-.215	.513
HCO3-	.720	.453	-.293	.101
K+	.428	-.048	.595	.565
Na+	-.303	.606	.084	-.398
Mg++	.223	.405	.134	-.125
Ca++	.241	.342	-.210	.224
SiO2	.558	-.158	.100	-.479
Q	-.453	.628	-.441	.009
DpH	-.186	.893	.024	.290
PCO2	.426	-.713	-.203	-.241

CRESSONNIERE DU BLAGOUR

	US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.0859	.3568	.0057	.1543	
10-04-81	2	.0210	.00130036	
27-04-81	3	.0040	.0232	.0006	.0023	
19-05-81	4	.0021	.0357	.0001	.0001	
01-06-81	5	.0198	.0131	.0523	.0166	
15-06-81	6	.00160032	.0026	
29-06-81	7	.0007	.00050023	
13-07-81	8	.0032	.0023	.0821	.0370	
22-07-81	90062	.0064	.0110	
17-08-81	10	.0434	.0002	.0004	.0182	
14-09-81	12	.1127	.0146	.2908	.1402	
28-09-81	13	.0979	.0023	.0104	.0165	
12-10-81	14	.0334	.0073	.0145	.0062	
26-10-81	15	.0034	.0032	.0000	.0057	
09-11-81	16	.0459	.0225	.0587	.0300	
23-11-81	17	.0225	.0007	.0045	.0169	
07-12-81	18	.0056	.0063	.0139	.0084	
21-12-81	190004	.0378	.0426	
04-01-82	20	.0106	.1206	.0689	.1425	
18-01-82	210058	.0558	.0061	
01-02-82	22	.0107	.0005	.0155	.0001	
15-02-82	23	.0265	.1406	.0046	.0005	
01-03-82	24	.1039	.0022	.0146	.0066	
15-03-82	25	.0935	.0061	.0006	.0159	
29-03-82	26	.0605	.0003	.0108	.0118	
12-04-82	27	.0150	.0001	.0237	.0002	
26-04-82	28	.0004	.0019	.0018	.0093	
10-05-82	29	.0031	.0236	.0025	.0738	
24-05-82	30	.0045	.0345	.0224	.0336	
02-06-82	31	.0028	.0213	.0284	.0022	
21-06-82	32	.0006	.0023	.0193	.0128	
05-07-82	33	.0001	.0032	.0282	.0001	
13-07-82	34	.0035	.0016	.0040	.0004	
02-08-82	35	.0481	.0001	.0164	.0001	

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.852	.654	.692	.710
Cl-	.001	.018	.012	.815
S04--	.180	.454	.500	.764
HCO3-	.593	.798	.884	.894
K+	.183	.185	.422	.291
Na+	.082	.459	.462	.625
Mg++	.538	.761	.729	.295
Ca++	.558	.628	.714	.765
SiO2	.311	.336	.346	.525
Q	.285	.539	.794	.294
DpH	.035	.832	.832	.916
PCO2	.226	.735	.726	.834

COMPOSANTES PRINCIPALES

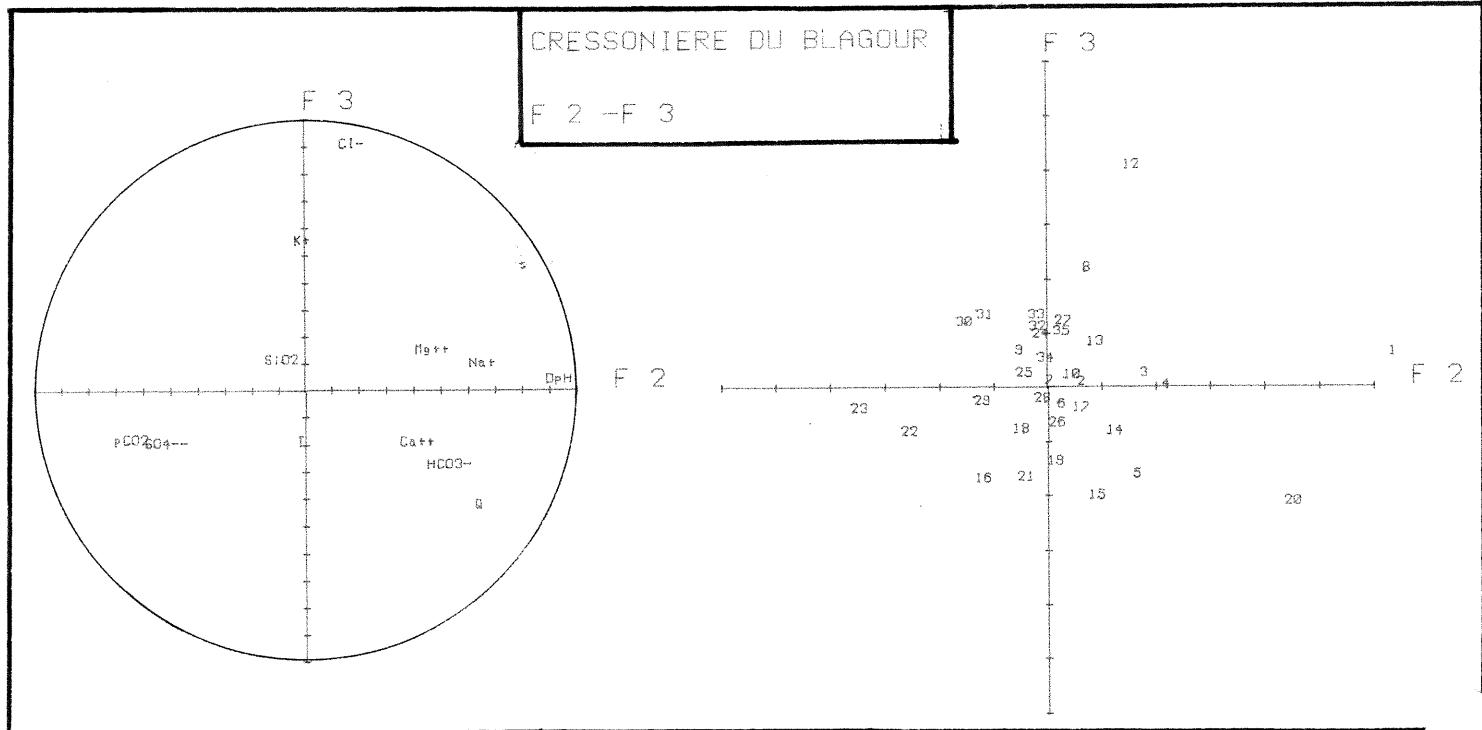
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	-3.219	5.988	.552	-2.518
10-04-81	2	-1.532	.359	-.027	.626
27-04-81	3	-.633	1.526	.173	-.308
19-05-81	4	-.438	1.895	-.061	-.053
01-06-81	5	1.546	1.386	-.1601	.824
15-06-81	6	.437	-.022	-.413	-.386
29-06-81	7	-.287	-.225	.036	-.545
13-07-81	8	-.1055	.480	2.095	-.1933
27-07-81	9	-.022	-.788	.584	-.621
17-08-81	10	2.441	.128	.137	.646
14-09-81	12	3.267	1.210	3.941	2.400
28-09-81	13	3.435	.538	.245	-.823
12-10-81	14	3.356	.891	-.881	-.506
26-10-81	15	2.008	.563	-.2.067	-.482
09-11-81	16	2.352	-1.502	-1.771	-1.115
23-11-81	17	1.646	.273	-.488	.832
02-12-81	18	.820	-.831	-.860	.588
21-12-81	19	.055	-.211	-.1.420	1.321
04-01-82	20	-.1131	4.141	-.21.129	2.416
18-01-82	21	.056	-.763	-.1.727	-.502
01-02-82	22	-.1.136	-2.814	-.910	-.858
15-02-82	23	-1.786	-3.259	-.498	.144
01-03-82	24	-3.640	-.465	.884	1.983
15-03-82	25	-3.357	-.781	.126	.802
29-03-82	26	-2.701	-.183	-.261	.694
12-04-82	27	-1.346	-.071	1.125	.584
26-04-82	28	-.222	-.432	-.313	.612
10-05-82	29	-.611	-.1.533	-.366	-.1.233
24-05-82	30	-.733	-.1.862	1.294	-.1.274
02-06-82	31	-.582	-.1.482	1.232	.292
21-06-82	32	-.221	-.544	1.016	.723
05-07-82	33	-.056	-.564	1.238	.062
19-07-82	34	.654	-.422	.462	-.121
02-08-82	35	2.402	-.104	.937	.066

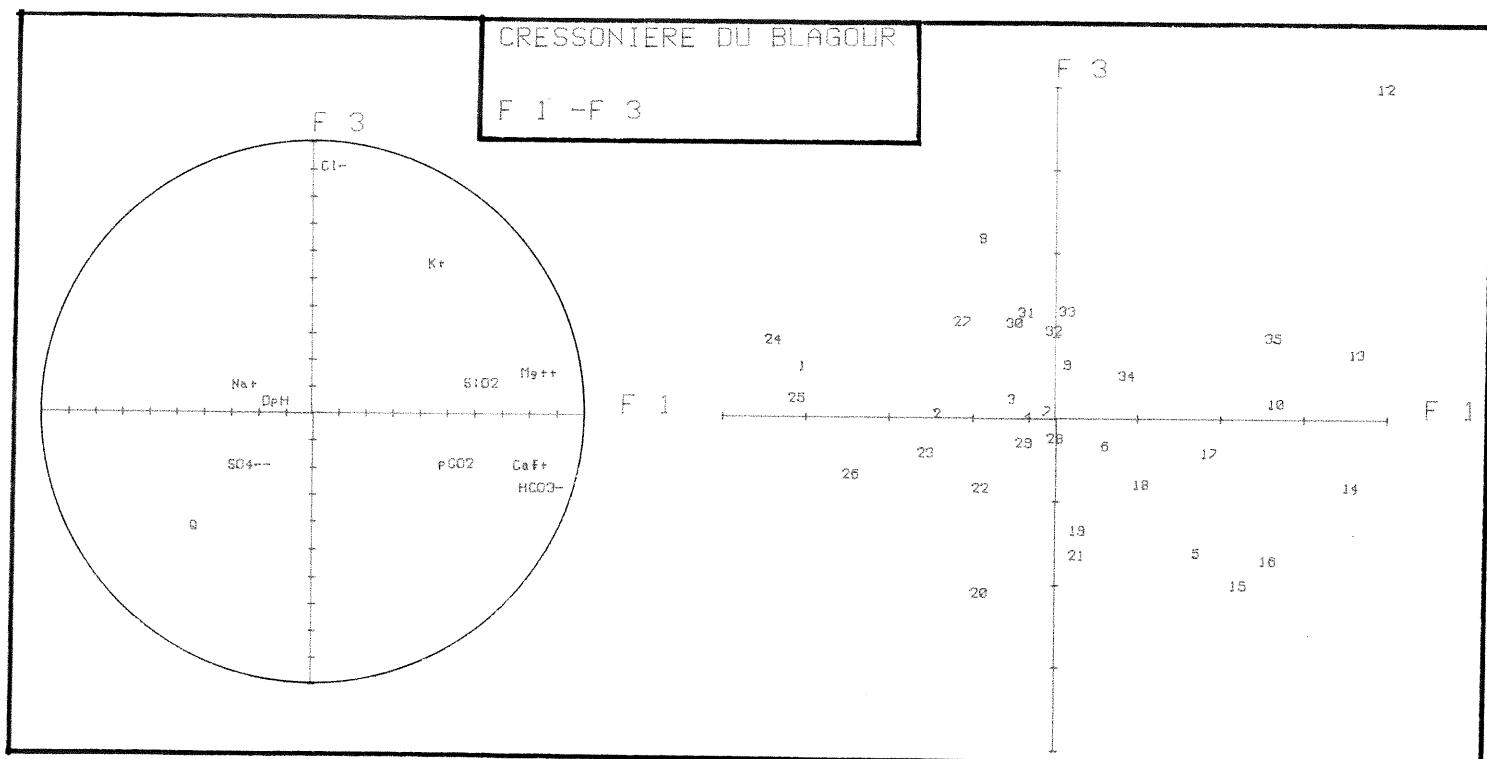
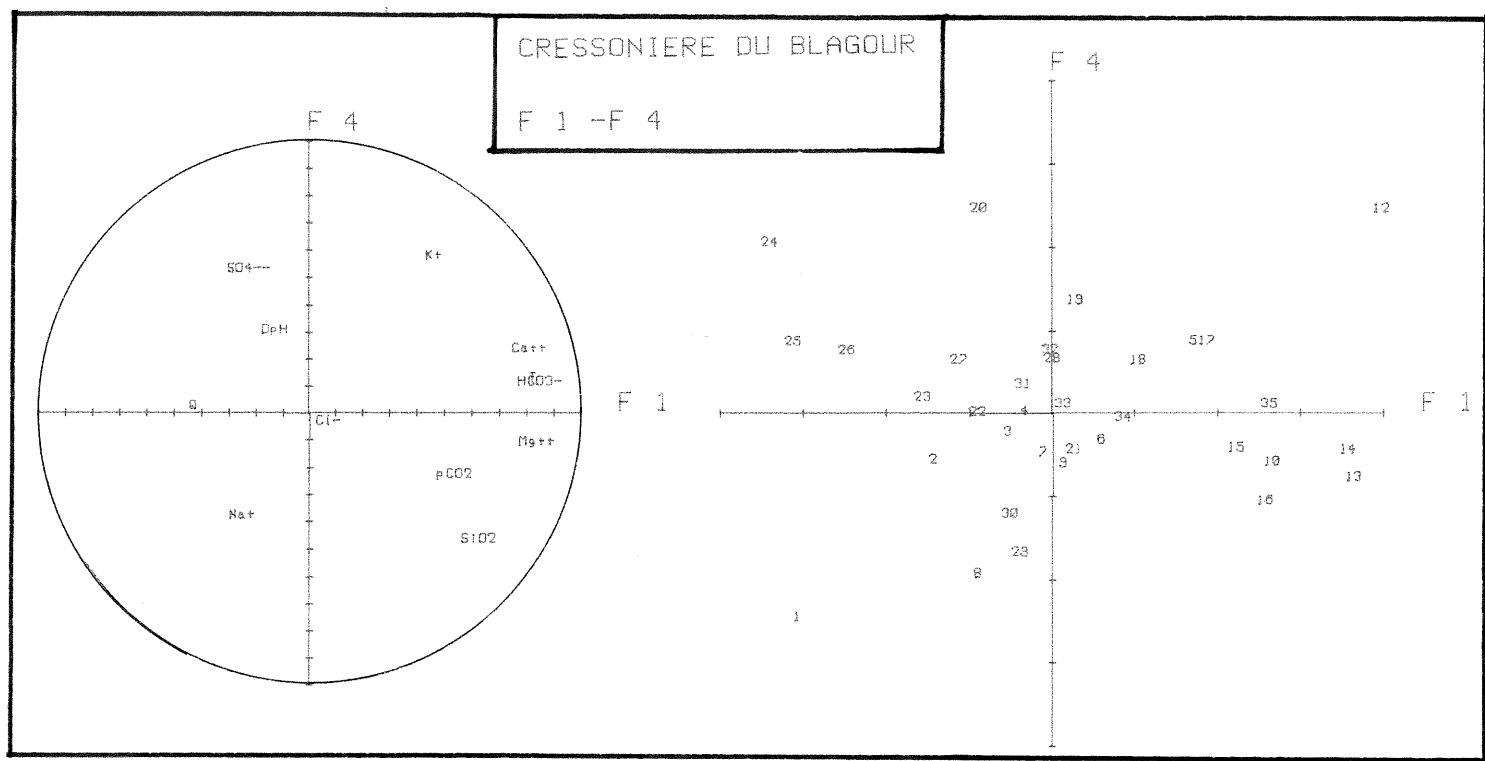
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.174	.225	.280	.887
10-04-81	2	.427	.448	.448	.514
27-04-81	3	.063	.369	.373	.385
19-05-81	4	.034	.532	.532	.533
01-06-81	5	.262	.472	.282	.856
15-06-81	6	.065	.063	.130	.184
29-06-81	7	.042	.068	.069	.221
13-07-81	8	.066	.082	.340	.526
27-07-81	9123	.268	.394
17-08-81	10	.042	.844	.842	.306
14-09-81	12	.343	.378	.754	.893
28-09-81	13	.271	.723	.723	.814
12-10-81	14	.834	.893	.950	.869
26-10-81	15	.329	.489	.810	.892
03-11-81	16	.415	.585	.820	.914
23-11-81	17	.998	.512	.556	.683
02-12-81	18	.158	.321	.496	.522
21-12-81	19006	.273	.503
04-01-82	20	.040	.528	.722	.910
18-01-82	21060	.490	.525
01-02-82	22	.093	.624	.733	.734
15-02-82	23	.156	.846	.858	.853
01-03-82	24	.216	.728	.720	.884
15-03-82	25	.810	.854	.856	.903
29-03-82	26	.813	.843	.809	.865
12-04-82	27	.255	.255	.433	.481
26-04-82	28	.011	.053	.075	.159
10-05-82	29	.026	.191	.200	.411
24-05-82	30	.042	.351	.456	.598
02-06-82	31	.025	.553	.894	.914
21-06-82	32	.024	.122	.463	.636
05-07-82	33	.003	.033	.541	.542
13-07-82	34	.143	.132	.163	.224
02-08-82	35	.752	.754	.868	.868

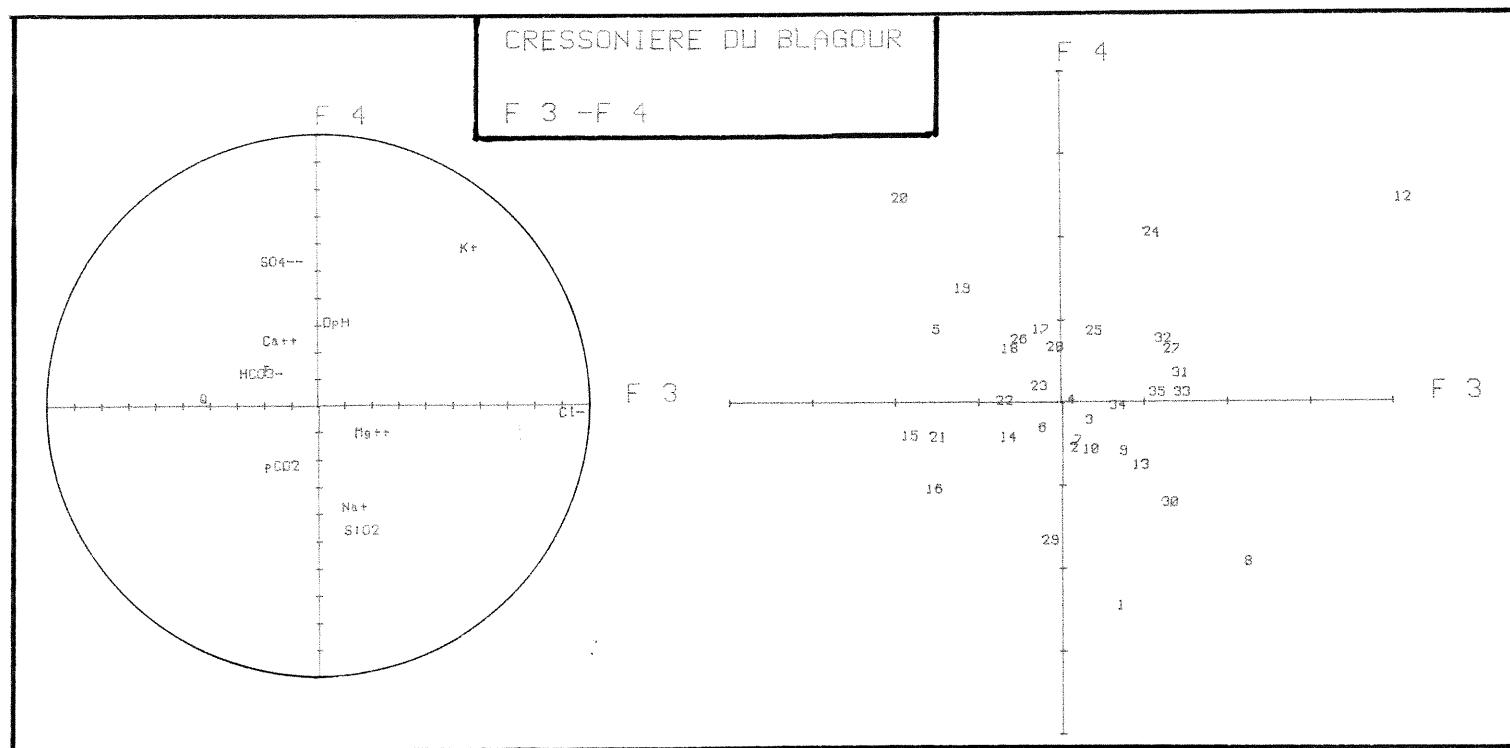
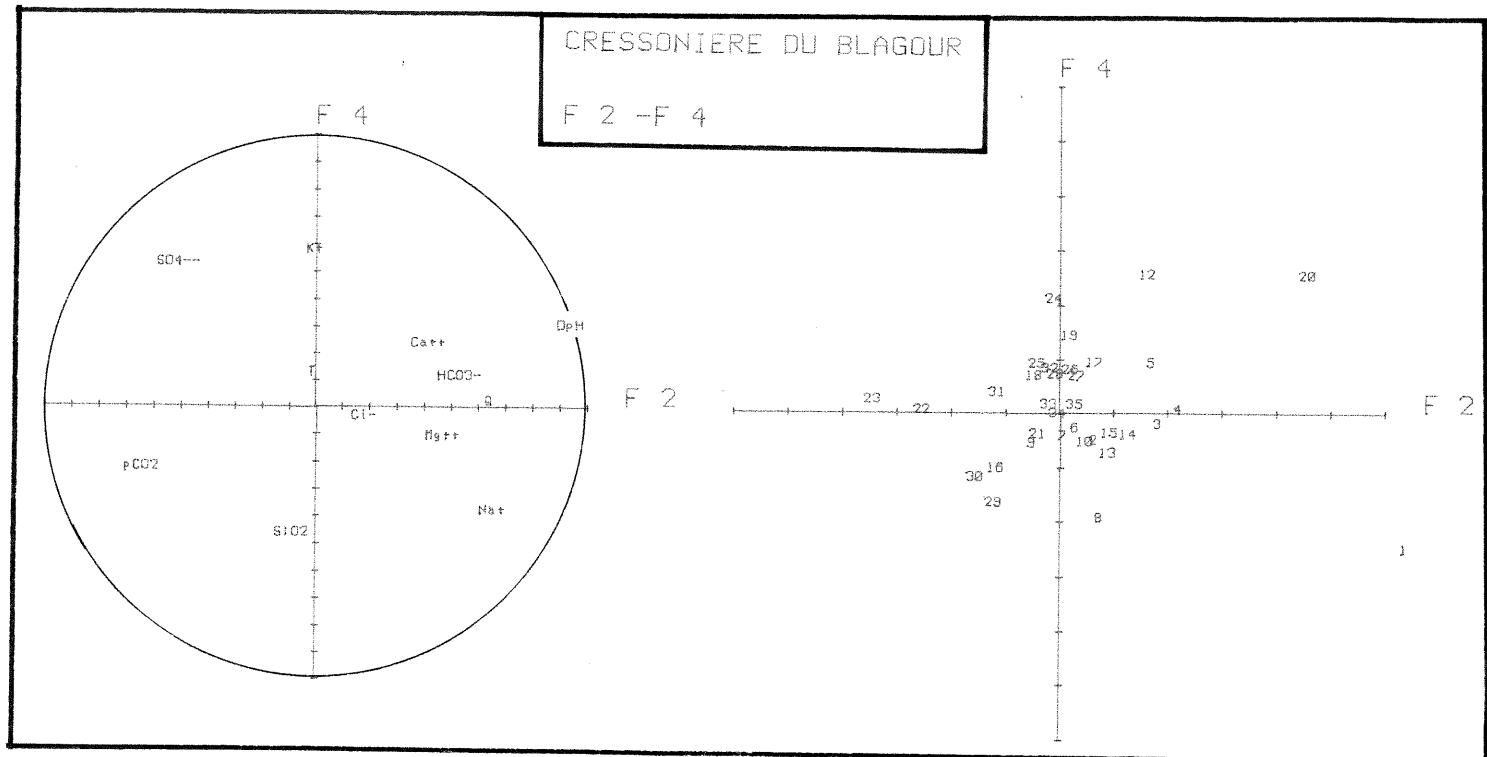
MATRICE DES CORRELATIONS

	T	Cl ⁻	SO4 ⁻⁻	HC03 ⁻⁻	K ⁺	Nat	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Q	DpH	pCO ₂
T	1.000	-.124	-.130	.568	.222	-.253	.571	.559	.318	-.323	-.112	.391
Cl ⁻	-.124	1.000	-.229	-.145	.353	.151	.165	-.038	-.004	-.237	.003	-.163
SO4 ⁻⁻	-.130	-.229	1.000	-.336	.001	-.361	-.511	-.262	-.214	-.156	-.252	.153
HC03 ⁻⁻	.568	-.145	-.336	1.000	.183	-.053	.732	.822	.234	.068	.254	.118
K ⁺	.222	.353	.001	.183	1.000	-.215	.231	.323	.104	-.368	.016	.050
Nat	-.253	.151	-.361	-.053	-.215	1.000	.016	-.035	-.118	.462	.422	-.388
Mg ⁺⁺	.571	.165	-.511	.232	.231	.016	1.000	.522	.398	-.221	.211	.022
Ca ⁺⁺	.559	-.038	-.262	.822	.323	-.205	.522	1.000	.214	.028	.162	.190
SiO ₂	.318	-.004	-.214	.234	.104	-.118	.398	.214	1.000	-.325	-.259	.313
Q	-.323	-.232	-.156	.068	-.368	.462	-.221	.028	-.325	1.000	.520	-.425
DpH	-.112	.063	-.292	.254	.016	.422	.211	.162	-.259	.520	1.000	-.309
pCO ₂	.391	-.163	.153	.118	.053	-.388	.022	.190	.313	-.425	-.903	1.000

CRESSONIERE DU BLAGOUR







CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

	1	.0541	3	.0265	4	.0252	5	.0284	6	.0124
	2	.0269	8	.0437	9	.0045	10	.0029	11	.0189
	12	.0802	13	.0091	14	.0188	15	.0232	16	.0063
	17	.0307	18	.0682	19	.0494	20	.0284	21	.0445
	22	.0212	23	.0111	24	.0363	25	.0104	26	.0083
	27	.0023	28	.0088	29	.0230	30	.0202	31	.0263
	32	.0242	33	.0196	34	.0294	35	.0468	36	.0469
	37	.0569								
VALEUR. PROPRE		6.42	2.04	1.10	.72					
VAR. EXPRIMEE. x		53.52	16.99	9.15	6.40					
VAR. CUMULEE. z		53.52	70.51	79.67	86.06					

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.513	.237	.622	-.189
Cl-	.281	-.142	-.067	.005
SO4--	-.559	.300	.425	.592
HCO3-	-.935	-.035	.072	.172
K+	.307	.037	.496	-.267
Na+	.905	.033	.015	.326
Mg++	.945	-.103	-.051	.144
Ca++	-.933	.067	.083	.051
SiO2	.889	.023	.004	.381
Q	-.806	-.004	-.057	.060
DpH	-.382	-.831	.392	-.017
pCO2	.319	.870	-.322	.025

FONTILLE

ACP 3

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.0158	.1194	.0115	.3474
27-04-81	31306	.0004	.0065
19-05-81	4	.0348	.0186	.0179	.0010
01-06-81	5	.0194	.0617	.0346	.0003
15-06-81	6	.0008	.0148	.0298	.0205
29-06-81	7	.0250	.0058	.0098	.0002
13-07-81	8	.0222	.0542	.0274	.2319
27-07-81	9	.0009	.0133	.0055	.0005
31-08-81	10	.0036	.0010	.0039
14-09-81	11	.0165	.0003	.0273	.0172
28-09-81	12	.0113	.2788	.1659	.0605
12-10-81	13	.0068	.0217	.0238	.0043
26-10-81	14	.00371005	.0002
09-11-81	15	.0023	.0562	.0043	.0001
23-11-81	16	.0007	.0044	.0316	.0004
07-12-81	17	.0335	.0116	.0480	.0016
21-12-81	18	.1069	.0047	.0012	.0213
04-01-82	19	.0714	.0384	.0112	.0122
18-01-82	20	.03150574	.0553
01-02-82	21	.0501	.0148	.1362	.0068
15-02-82	22	.0050	.0028	.1666	.0049
01-03-82	23	.0055	.0279	.0054	.0019
15-03-82	24	.0375	.0425	.0018	.0155
29-03-82	25	.0117	.0084	.0098	.0175
12-04-82	26	.0058	.0063	.0042	.0229
26-04-82	270018	.0051
10-05-82	28	.0143	.0003	.0014
24-05-82	29	.0309	.0171	.0094	.0045
07-06-82	30	.0341	.0015	.0030	.0037
21-06-82	31	.0185	.0025	.0015	.0002
05-07-82	32	.0410	.0061	.0017	.0223
19-07-82	33	.0280	.0002	.0181	.0009
02-08-82	34	.0488	.0026	.0039	.0017
16-08-82	35	.0824	.0045	.0003	.0151
30-08-82	36	.0266	.0166	.0084	.0086
13-09-82	37	.0354	.0001	.0078	.0011

COMPOSANTES PRINCIPALES

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.263	.319	.706	.242
Cl-	.610	.631	.636	.636
SO4--	.312	.402	.583	.934
HCO3-	.824	.626	.882	.913
K+	.094	.501	.747	.819
Na+	.819	.828	.820	.926
Mg++	.892	.903	.906	.926
Ca++	.871	.876	.883	.885
SiO2	.790	.791	.791	.935
Q	.649	.643	.652	.656
DpH	.146	.836	.990	.991
pCO2	.192	.858	.964	.965

CARRES DES M. COS. DES US AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.152	.532	.551	.962
27-04-81	3839	.840	.855
19-05-81	4	.226	.843	.913	.915
01-06-81	5	.365	.725	.846	.842
15-06-81	6	.935	.238	.458	.821
29-06-81	7	.492	.534	.562	.568
13-07-81	8	.272	.483	.540	.880
27-07-81	9	.103	.614	.726	.733
31-08-81	10	.662	.689	.804	.804
14-09-81	11	.463	.471	.604	.664
28-09-81	12	.625	.666	.855	.904
12-10-81	13	.943	.455	.695	.725
26-10-81	14	.222	.277	.267	.768
09-11-81	15	.854	.466	.485	.486
23-11-81	16	.052	.125	.632	.636
07-12-81	17	.584	.648	.781	.794
21-12-81	18	.838	.850	.852	.919
04-01-82	19	.223	.985	.926	.949
18-01-82	20	.595	.595	.780	.905
01-02-82	21	.603	.660	.940	.950
15-02-82	22	.123	.145	.843	.863
01-03-82	23	.256	.691	.736	.747
15-03-82	24	.552	.751	.756	.783
29-03-82	25	.602	.736	.823	.930
12-04-82	26	.324	.583	.558	.726
26-04-82	27	.202	.202	.277	.412
10-05-82	28	.862	.823	.888	.888
24-05-82	29	.717	.843	.888	.893
07-06-82	30	.384	.317	.930	.942
21-06-82	31	.378	.426	.431	.432
05-07-82	32	.308	.950	.952	.963
19-07-82	33	.764	.720	.855	.855
02-08-82	34	.887	.931	.943	.946
16-08-82	35	.942	.955	.958	.979
30-08-82	36	.874	.934	.933	.932
13-09-82	37	.802	.808	.912	.911

MATRICE DES CORRELATIONS

	T	Cl-	SO4--	HC03-	K+	Nat	Mg++	Ca++	Si:02	Q	DpH	pCO2
T	1.000	.332	-.127	-.400	.464	.432	.420	-.388	.401	-.408	-.175	.089
Cl-	.332	1.000	-.446	-.886	.112	.646	.232	-.218	.624	-.566	-.204	.321
SO4--	-.127	-.446	1.000	.611	.103	-.332	-.510	.520	-.308	.429	.116	.295
HC03-	-.400	-.886	.611	1.000	-.362	-.288	-.833	.924	-.756	.733	.417	.290
K+	.464	.112	.183	-.362	1.000	.220	.155	-.243	.196	-.220	-.420	.225
Nat	.432	.646	-.332	-.288	.220	1.000	.878	-.818	.932	-.662	-.362	-.258
Mg++	.428	.732	-.510	-.833	.155	.878	1.000	-.820	.893	-.232	-.289	-.363
Ca++	-.388	-.218	.520	.924	-.243	-.818	-.820	1.000	-.782	.669	.342	.361
Si:02	.401	.624	-.308	-.756	.196	.932	.893	-.782	1.000	-.625	-.356	-.256
Q	-.408	-.566	.429	.733	-.270	-.662	-.732	.669	-.625	1.000	.272	.254
DpH	-.175	-.204	.116	.412	-.420	-.362	-.299	.342	-.356	.272	1.000	-.732
pCO2	-.089	-.321	.285	.290	.225	-.258	-.383	.361	-.256	.254	-.732	1.000

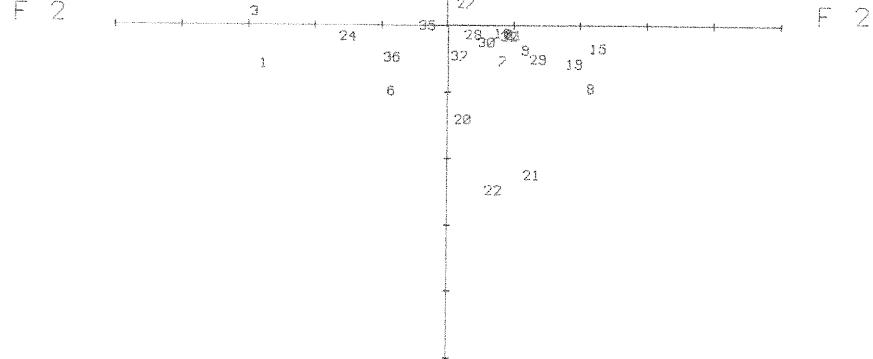
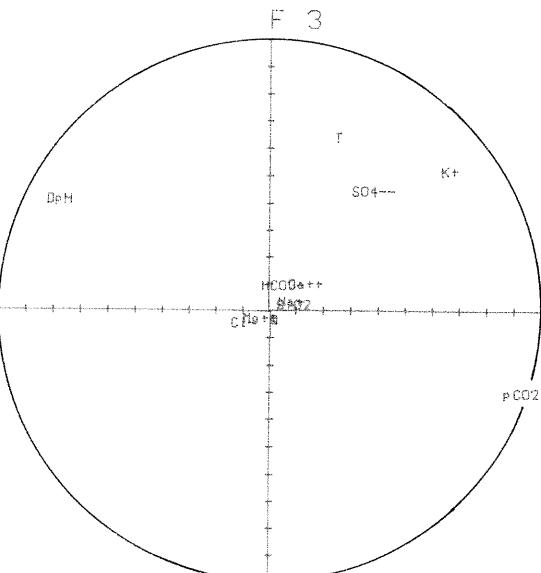
FONTILLE

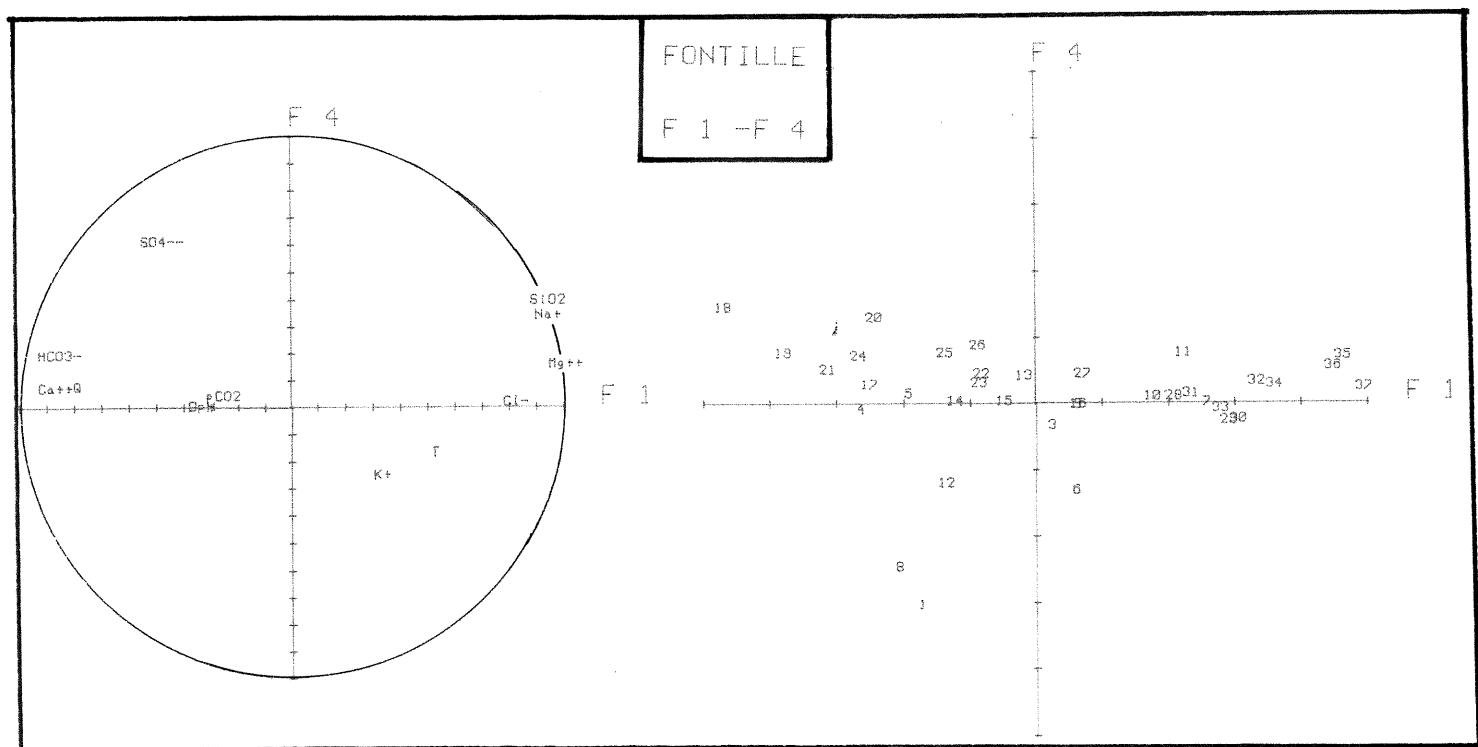
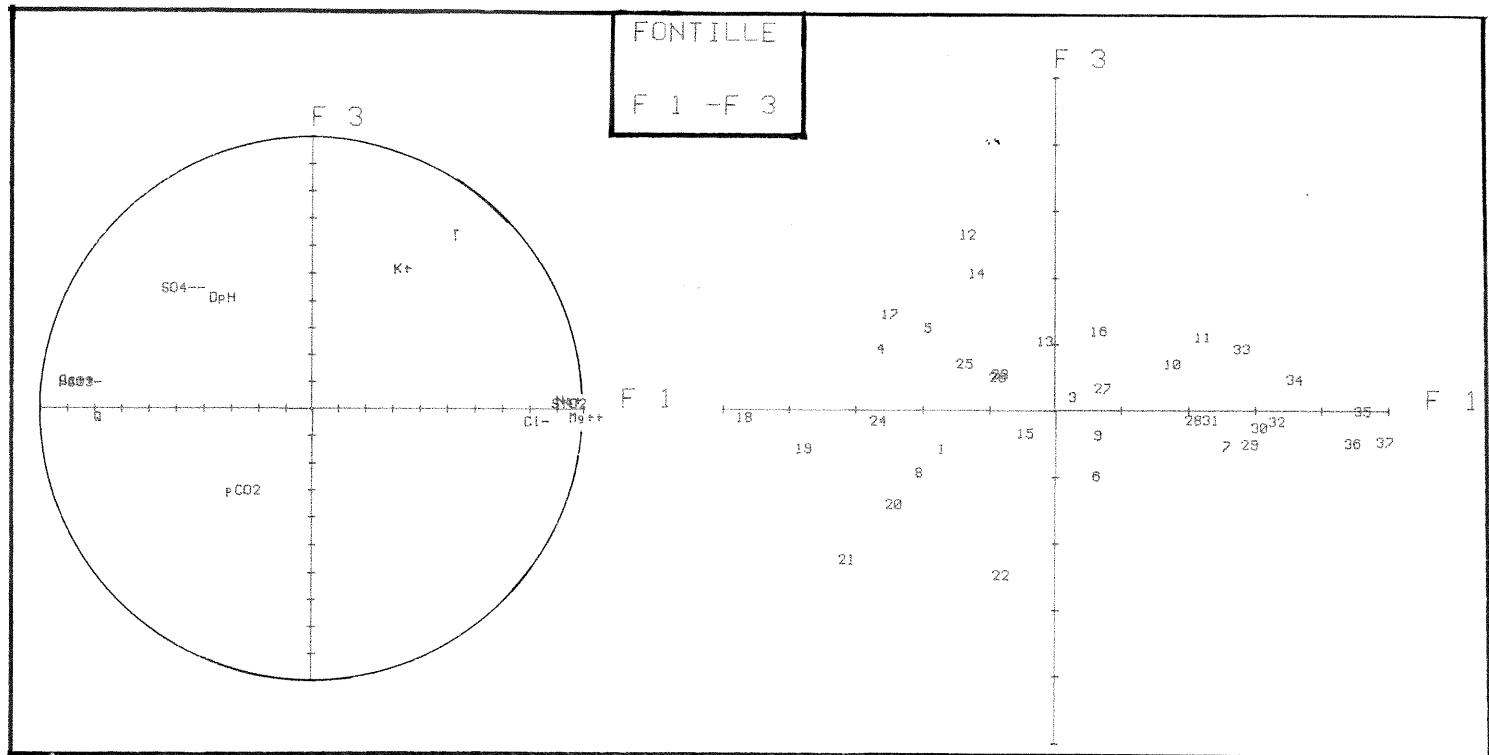
F 2 - F 3

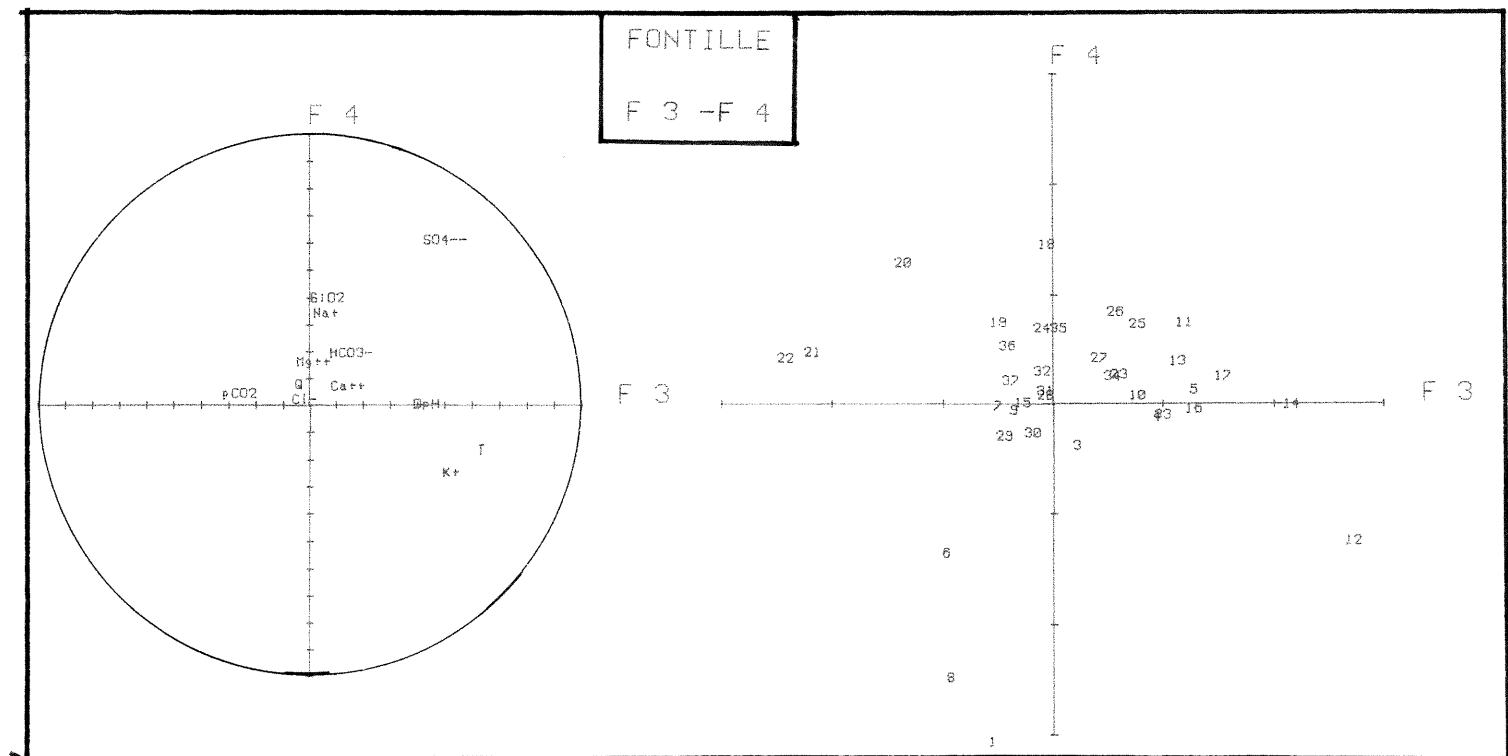
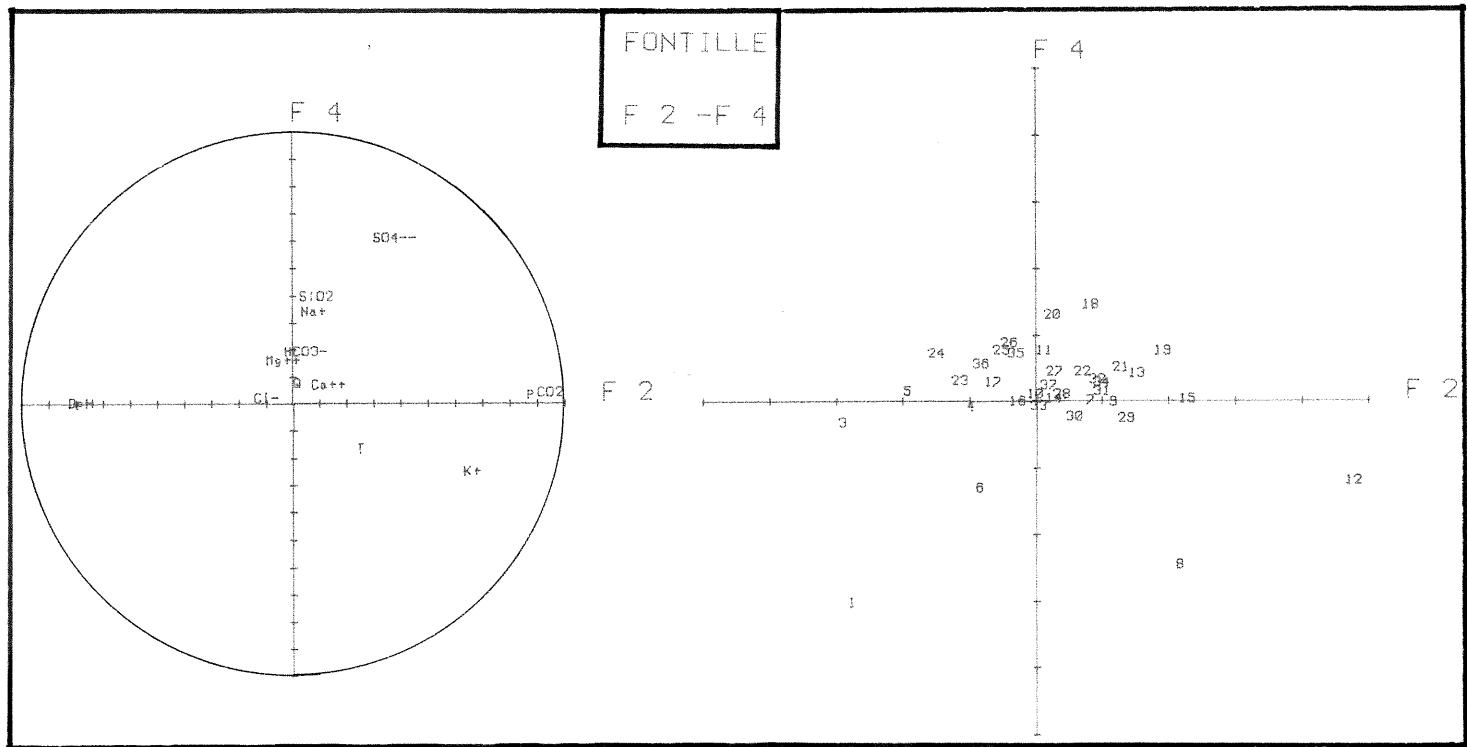
F 2

F 2

F 3







CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR.PROPRE	5.95	1.79	1.44	.95
VAR.EXPRIMEE.*	49.55	14.95	12.02	7.88
VAR.CUMULEE.*	49.55	84.50	76.52	84.40

1	.0192	2	.0057	3	.0184	4	.0227	5	.0159
6	.0083	7	.0238	8	.0438	9	.0061	10	.0152
11	.1663	12	.0585	13	.0369	14	.0191	15	.0147
16	.0157	17	.0083	18	.0204	19	.0145	20	.0149
21	.0151	22	.0226	23	.0096	24	.0066	25	.0051
26	.0062	27	.0065	28	.0090	29	.0109	30	.1466
31	.0405	32	.0104	33	.0229	34	.0207	35	.0205
36	.0206	37	.0207						

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.074	.281	-.189	-.032
Cl-	.265	.275	-.200	-.226
SO4--	-.386	.053	.167	.919
HCO3-	.982	-.009	.093	.049
K+	-.686	.492	-.037	-.240
Nat	.942	.104	-.133	.096
Mg2+	.933	.026	-.092	.230
Ca++	.967	-.027	.135	.046
SiO2	.495	.641	.296	-.116
Q	.129	-.069	.500	-.290
DpH	.729	-.289	-.567	.018
pCO2	.535	.240	.744	.023

EVENT D'ENTRECORDS

ACP 1

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.005	.615	.650	.851
Cl-	.586	.592	.631	.682
SO4--	.150	.153	.188	.859
HCO3-	.964	.984	.973	.975
K+	.471	.713	.714	.772
Nat	.887	.897	.915	.924
Mg2+	.978	.871	.879	.932
Ca++	.934	.935	.953	.955
SiO2	.245	.655	.743	.756
Q	.017	.388	.782	.786
DpH	.531	.615	.936	.937
pCO2	.286	.343	.897	.897

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	1.052	-.910	-.742	-2.387
18-04-81	2	.455	-.353	-.298	.731
27-04-81	3	.532	-2.238	-.923	-.295
19-05-81	4	.614	-2.363	.294	-1.827
01-06-81	5	.669	-1.853	-.042	-1.470
15-06-81	6	.674	-.950	-.434	-.294
29-06-81	7	-4.715	-2.848	-1.024	.759
13-07-81	8	-2.466	-2.555	.998	1.419
27-07-81	9	.188	-.554	-.737	.993
17-08-81	10	.304	1.124	-.544	.731
14-09-81	11	-7.964	2.184	1.107	-.387
28-09-81	12	-4.177	1.674	1.814	-.339
12-10-81	13	-.018	3.052	1.401	-1.136
26-10-81	14	1.450	.408	.023	-1.538
09-11-81	15	1.499	.460	.866	-.042
23-11-81	16	1.873	.429	-.440	-1.245
07-12-81	17	1.247	.883	-.467	-.364
21-12-81	18	.986	-1.362	1.986	-.068
04-01-82	19	1.063	-.054	2.054	-.227
18-01-82	20	1.085	.171	2.107	-.349
01-02-82	21	1.234	.180	2.141	.119
15-02-82	22	1.088	.714	2.747	.887
01-03-82	23	1.111	-.510	.418	.781
15-03-82	24	.920	-.980	-.077	.984
29-03-82	25	.731	-.632	-.092	.968
12-04-82	26	.853	-.512	-.182	1.151
26-04-82	27	1.173	-.016	.294	1.118
10-05-82	28	1.002	-.068	.332	1.133
24-05-82	29	.262	.806	-.344	1.440
07-06-82	30	-7.878	-.025	-.798	-.144
21-06-82	31	-0.251	.163	-.1.371	-1.164
05-07-82	32	.305	.856	-.1.118	-.688
19-07-82	33	1.707	2.040	-.1.240	.408
02-08-82	34	.798	2.095	-.1.454	1.066
16-08-82	35	2.061	1.503	-.1.265	.487
30-08-82	36	1.307	.550	-.1.495	.024
13-09-82	37	1.519	.755	-.2.283	.006

1	.0192	2	.0057	3	.0184	4	.0227	5	.0159
6	.0083	7	.0238	8	.0438	9	.0061	10	.0152
11	.1663	12	.0585	13	.0369	14	.0191	15	.0147
16	.0157	17	.0083	18	.0204	19	.0145	20	.0149
21	.0151	22	.0226	23	.0096	24	.0066	25	.0051
26	.0062	27	.0065	28	.0090	29	.0109	30	.1466
31	.0405	32	.0104	33	.0229	34	.0207	35	.0205
36	.0206	37	.0207						

CONTRIBUTION DES US A
LA DETERMINATION DES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.0051	.0125	.0103	.1628
10-04-81	2	.0003	.0019	.0017	.0153
27-04-81	3	.0013	.0254	.0160	.0025
19-05-81	4	.0017	.0841	.0016	.0354
01-06-81	5	.0034	.05170617
15-06-81	6	.0021	.0136	.0035	.0025
29-01-81	7	.1011	.1222	.0197	.0165
13-02-81	8	.0276	.0983	.0182	.0525
21-02-81	9	.0002	.0046	.0102	.0223
17-08-81	10	.0004	.0190	.0056	.0153
14-09-81	11	.2883	.0718	.0230	.0043
23-09-81	12	.0293	.0422	.0193	.0033
12-10-81	131402	.0368
26-10-81	14	.0096	.00250626
09-11-81	15	.0102	.0032	.0140	.0210
23-11-81	16	.0160	.0028	.0036	.0443
07-12-81	17	.0071	.0001	.0041	.0038
21-12-81	18	.0044	.0279	.0739	.0001
04-01-82	19	.00512790	.0022
16-01-82	20	.0054	.0004	.0832	.0035
01-02-82	21	.0069	.0005	.0853	.0004
15-02-82	22	.0054	.0077	.1414	.0186
01-03-82	23	.0056	.0039	.2033	.0141
15-03-82	24	.0031	.0145	.0001	.0226
29-03-82	25	.0024	.0060	.0002	.0268
12-04-82	26	.0033	.0039	.0002	.0378
26-04-82	27	.00622016	.0357
10-05-82	28	.00460001	.0267
24-05-82	29	.0003	.0055	.0022	.0392
07-06-82	30	.0281	.0001	.0117	.0006
21-06-82	31	.0450	.0004	.0656	.0287
05-07-82	32	.0004	.0065	.0234	.0106
19-07-82	33	.0133	.0627	.0288	.0047
02-08-82	34	.0029	.0661	.0396	.0325
16-08-82	35	.0193	.0343	.0300	.0062
30-08-82	36	.0165	.0046	.0413
13-09-82	37	.0105	.0086	.0972

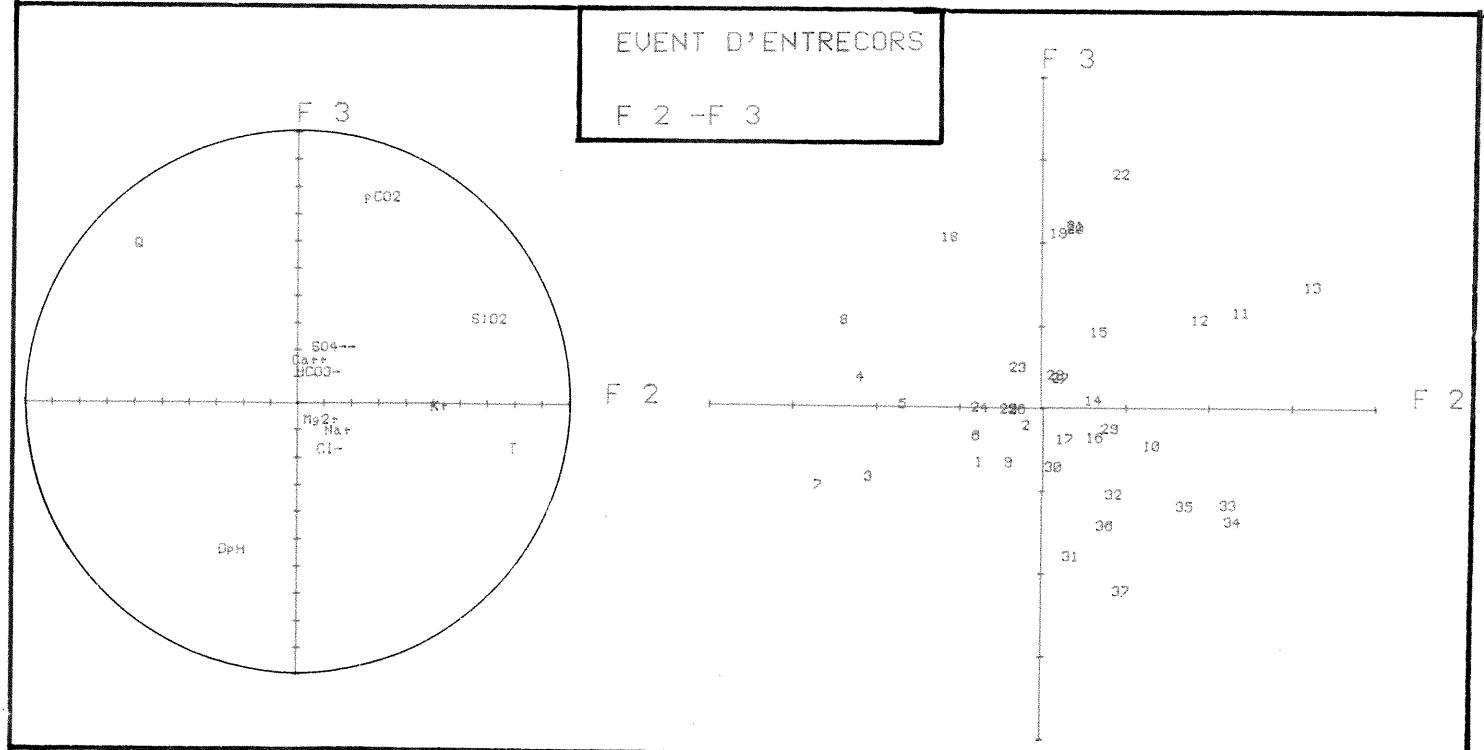
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.131	.228	.293	.961
10-04-81	2	.382	.132	.167	.380
27-04-81	3	.935	.646	.750	.761
19-05-81	4	.037	.531	.600	.931
01-06-81	5	.187	.594	.594	.901
15-06-81	6	.123	.368	.420	.443
29-06-81	7	.679	.926	.958	.976
13-07-81	8	.312	.649	.699	.9302
27-07-81	9	.013	.126	.326	.622
17-08-81	10	.014	.281	.245	.324
14-09-81	11	.059	.924	.940	.942
28-09-81	12	.672	.788	.819	.824
12-10-81	13568	.688	.766
26-10-81	14	.248	.268	.268	.547
09-11-81	15	.344	.326	.491	.652
23-11-81	16	.503	.529	.557	.729
07-12-81	17	.424	.425	.484	.520
21-12-81	18	.102	.312	.247	.242
04-01-82	19	.126	.126	.833	.845
18-01-82	20	.178	.192	.953	.972
01-02-82	21	.227	.292	.916	.918
15-02-82	22	.097	.138	.755	.808
01-03-82	23	.289	.350	.391	.506
15-03-82	24	.231	.561	.563	.596
29-03-82	25	.235	.411	.415	.828
12-04-82	26	.284	.356	.362	.842
26-04-82	27	.365	.385	.388	.720
10-05-82	28	.251	.253	.280	.602</td

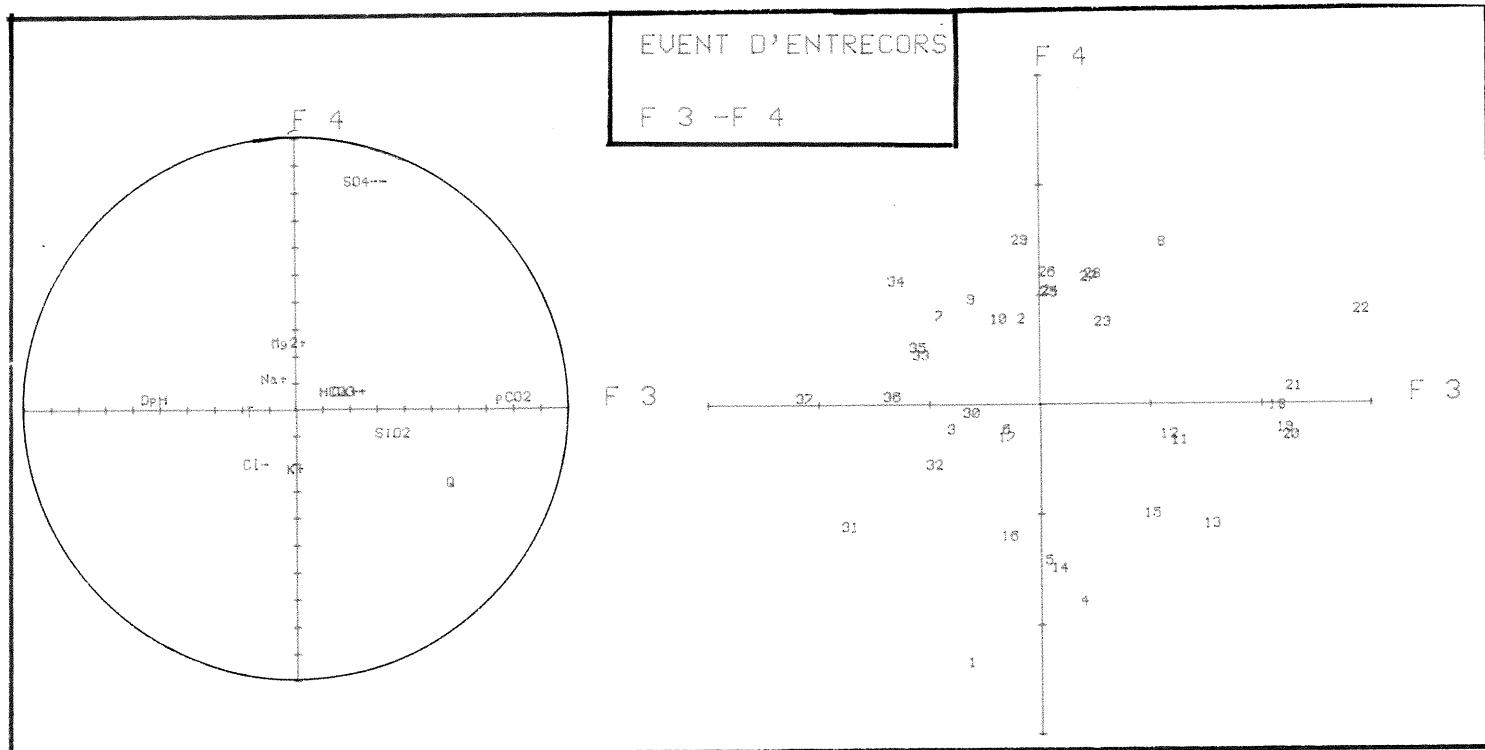
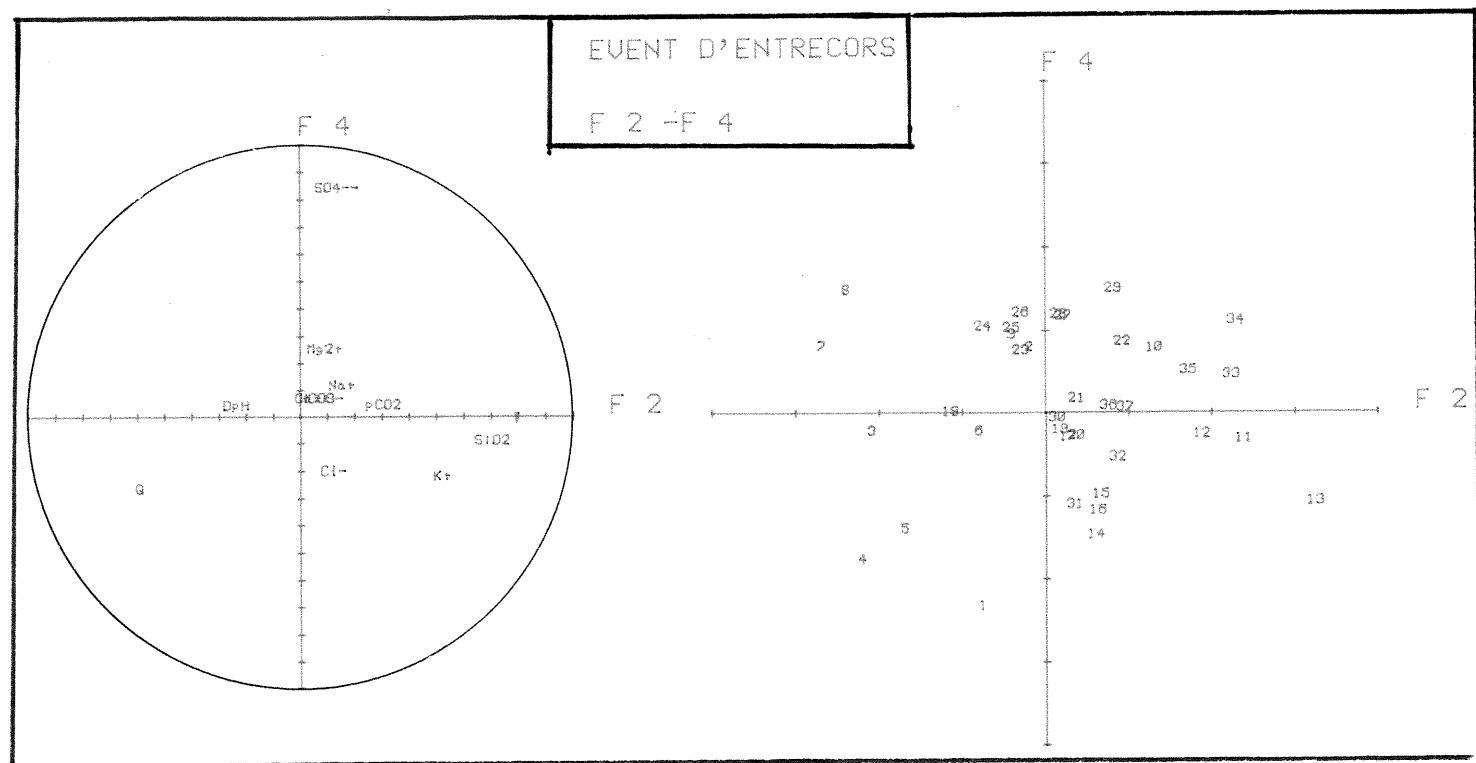
MATRICE DES CORRELATIONS

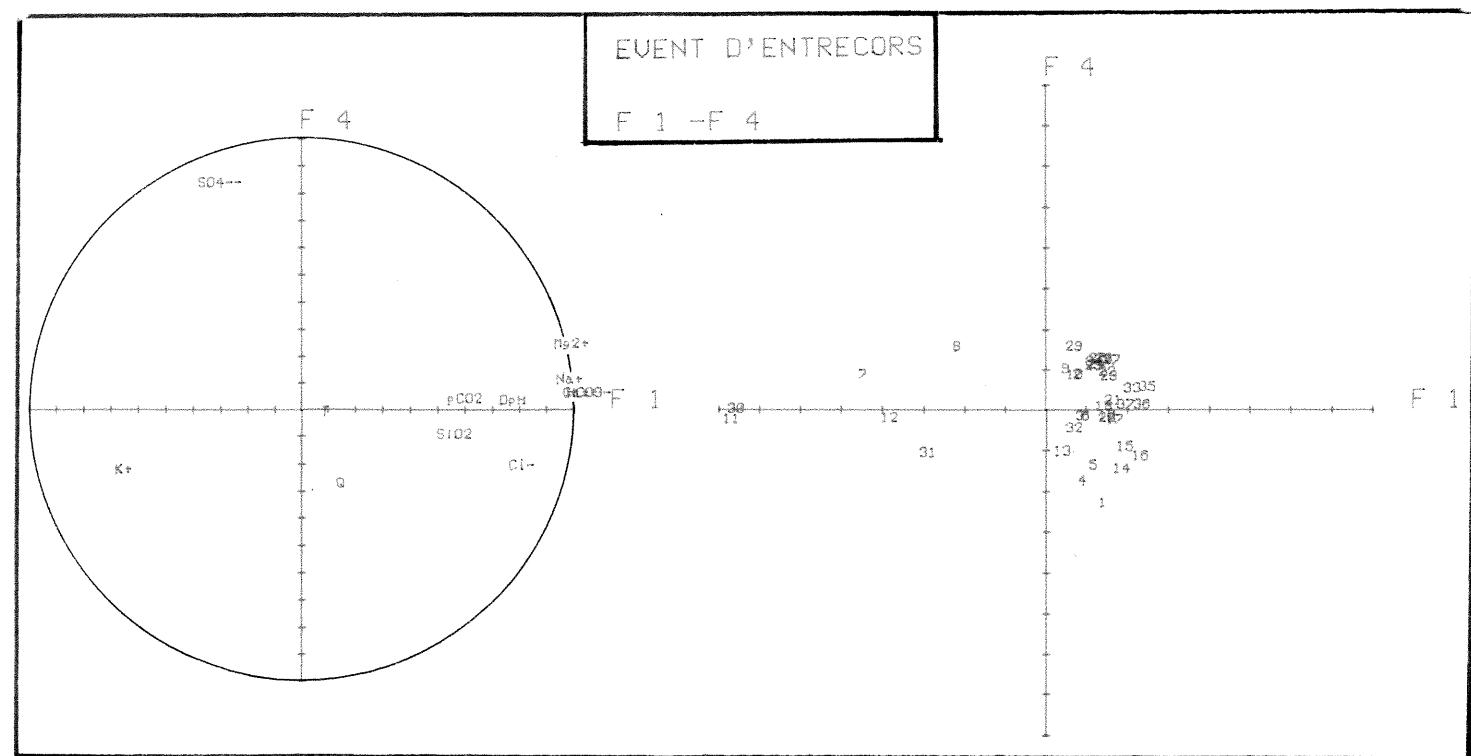
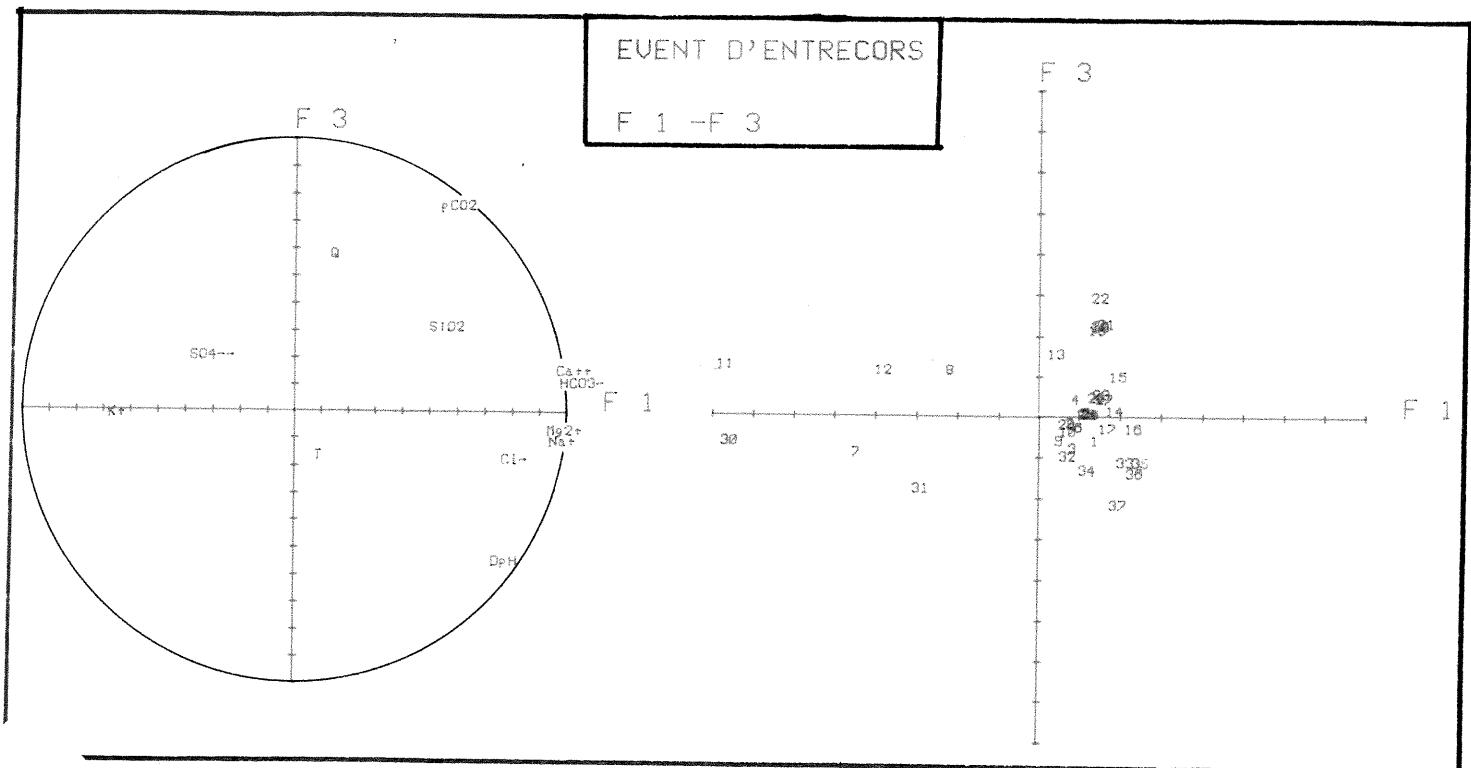
	T	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HC ₀₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Q	D _{pH}	pCO ₂
T	1.000	.284	-.042	.084	.240	.115	.037	.070	.319	-.416	-.012	.106
Cl ⁻	.284	1.000	-.361	.668	-.355	.746	.631	.645	.442	.367	.639	.243
SO ₄ ²⁻	-.042	-.361	1.000	-.033	.189	-.284	-.238	-.325	-.138	-.002	-.034	-.185
HC ₀₃ ⁻	.084	.668	-.033	1.000	-.679	.903	.908	.992	.470	.102	.688	.600
K ⁺	.240	-.355	.189	-.679	1.000	-.526	-.682	-.691	.023	-.283	-.565	-.383
Na ⁺	.115	.746	-.284	.903	-.526	1.000	.931	.926	.495	-.022	.733	.425
Mg ²⁺	.037	.631	-.238	.908	-.682	.931	1.000	.969	.445	-.060	.696	.445
Ca ²⁺	.070	.645	-.325	.992	-.631	.876	.969	1.000	.453	.289	.682	.628
SiO ₂	.319	.442	-.138	.470	.023	.485	.445	.453	1.000	-.102	.021	.504
Q	-.416	.067	-.082	.182	-.268	-.027	-.060	.209	-.102	1.000	.032	.243
D _{pH}	-.012	.639	-.334	.688	-.565	.733	.699	.682	.021	.032	1.000	-.135
pCO ₂	.106	.248	-.105	.600	-.309	.425	.445	.628	.584	.245	-.135	1.000

EVENT D'ENTRECORDS

F 2 -> F 3







CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

-149-

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR. PROPRE	4.88	2.75	1.36	1.02
VAR. EXPRIMEE.%	40.63	22.94	11.31	8.53
VAR. CUMULEE.%	40.63	63.57	74.98	83.41

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	-.764	.473	-.816	.281
Cl-	-.026	.320	.740	-.105
SO4--	.699	.272	-.933	-.285
HC03-	.611	.265	-.170	.248
K+	.348	.668	.463	.121
Na+	.049	.934	.247	-.044
Mg2+	-.920	.128	-.153	.186
Ca+	.897	-.072	-.001	.348
SiO2	-.762	.284	-.247	.012
Q	.830	-.302	-.922	-.286
DpH	-.245	-.718	.514	.288
pCO2	.561	.691	-.393	-.014

 CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.584	.908	.908	.387
Cl-	.001	.108	.658	.662
SO4--	.488	.562	.563	.644
HC03-	.374	.378	.407	.954
K+	.121	.567	.781	.810
Na+	.002	.692	.758	.760
Mg2+	.947	.979	.982	.929
Ca+	.805	.811	.811	.932
SiO2	.589	.620	.731	.731
Q	.689	.780	.781	.823
DpH	.060	.526	.840	.923
pCO2	.315	.793	.947	.947

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.775	-2.189	1.749	-1.533
18-04-81	2	.472	-.301	1.622	-.605
27-04-81	3	-.340	-1.561	1.324	.257
19-05-81	4	1.489	-1.857	2.121	-.640
01-06-81	5	2.196	-1.225	-.546	-.085
15-06-81	6	-.005	.390	-.837	-1.065
29-06-81	7	-.618	1.329	-.044	-.948
13-07-81	8	.637	-.445	.237	-.634
27-07-81	9	-1.422	.629	.430	-.429
17-08-81	10	.090	-1.044	2.367	2.656
31-08-81	11	-2.162	-.604	1.744	.647
14-09-81	12	-1.706	.836	1.031	.525
28-09-81	13	5.236	2.240	2.258	-.632
12-10-81	14	1.133	.987	-.334	1.947
26-10-81	15	3.467	1.900	-.248	.568
29-11-81	16	1.408	1.655	-2.169	1.930
23-11-81	17	-.513	1.106	-1.313	.708
07-12-81	18	1.022	-1.101	-.267	3.454
21-12-81	19	4.310	-2.293	-.305	-1.027
04-01-82	20	3.344	-.590	-1.666	-.908
18-01-82	21	.810	-1.347	.194	.115
01-02-82	22	2.273	-.964	-1.667	-.114
15-02-82	23	.772	.857	-1.923	-.703
01-03-82	24	1.437	-1.701	-.346	-.653
15-03-82	25	1.740	-1.951	-.146	.304
29-03-82	26	.980	-1.093	1.518	-.317
12-04-82	27	.346	-1.894	-1.925	.037
26-04-82	28	-.733	-.223	-.900	.045
10-05-82	29	-.329	.235	.161	-.490
24-05-82	30	-1.126	.872	-.420	-.768
07-06-82	31	-.1313	.984	-.114	-.603
21-06-82	32	-2.128	.648	.112	.003
05-07-82	33	-2.467	.676	.024	-.041
19-07-82	34	-2.935	-.100	-.172	.008
02-08-82	35	-2.955	.622	.041	-.057
16-08-82	36	-3.902	1.338	.146	-.291
30-08-82	37	-4.067	.424	-.647	-.644
13-09-82	38	-4.103	.323	-.1456	-.339

 CONTRIBUTION DES US A
LA DETERMINATION DES FACT.

SORPT

ACP 2

US

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.0032	.0458	.0593	.0604
18-04-81	2	.0012	.0061	.0510	.0054
27-04-81	3	.0038	.0233	.0340	.0017
19-05-81	4	.0120	.0030	.0872	.0105
01-06-81	5	.0260	.0155	.0058	.0002
15-06-81	60015	.0136	.0303
29-06-81	7	.0021	.01690185
13-07-81	8	.0022	.0019	.0011	.0124
27-07-81	9	.0103	.0038	.0036	.0047
17-08-81	100104	.1066	.1816
31-08-81	11	.0252	.0035	.0590	.0108
14-09-81	12	.0157	.0067	.0206	.0071
28-09-81	13	.1480	.5811	.0398	.0103
12-10-81	14	.0069	.0093	.0022	.0075
26-10-81	15	.0049	.0310	.0012	.0063
03-11-81	16	.0102	.0262	.0012	.0057
23-11-81	17	.0014	.0117	.0334	.0129
02-12-81	18	.0056	.0116	.0014	.0066
21-12-81	19	.1003	.0503	.0170	.0271
04-01-82	20	.0004	.0033	.0538	.0212
18-01-82	21	.0035	.0063	.0007	.0003
01-02-82	22	.0279	.0069	.0533	.0003
15-02-82	23	.0032	.0070	.0645	.0122
01-03-82	24	.0111	.0227	.0023	.0110
15-03-82	25	.0163	.0364	.0004	.0024
29-03-82	26	.0042	.0114	.0446	.0026
12-04-82	27	.0006	.0114	.0204
26-04-82	28	.0029	.0005	.0157	.0001
10-05-82	29	.0052	.0005	.0005	.0082
24-05-82	30	.0075	.0073	.0034	.0152
07-06-82	31	.0093	.0062	.0003	.0093
21-06-82	32	.0244	.0040	.0002
05-07-82	33	.0334	.0044
19-07-82	34	.0434	.0001	.0006
22-08-82	35	.0410	.00370001
16-09-82	36	.0822	.0187	.0004	.0022
30-08-82	37	.0833	.0017	.0061	.0107
13-09-82	38	.0909	.0010	.0411

 CARRES DES M. COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

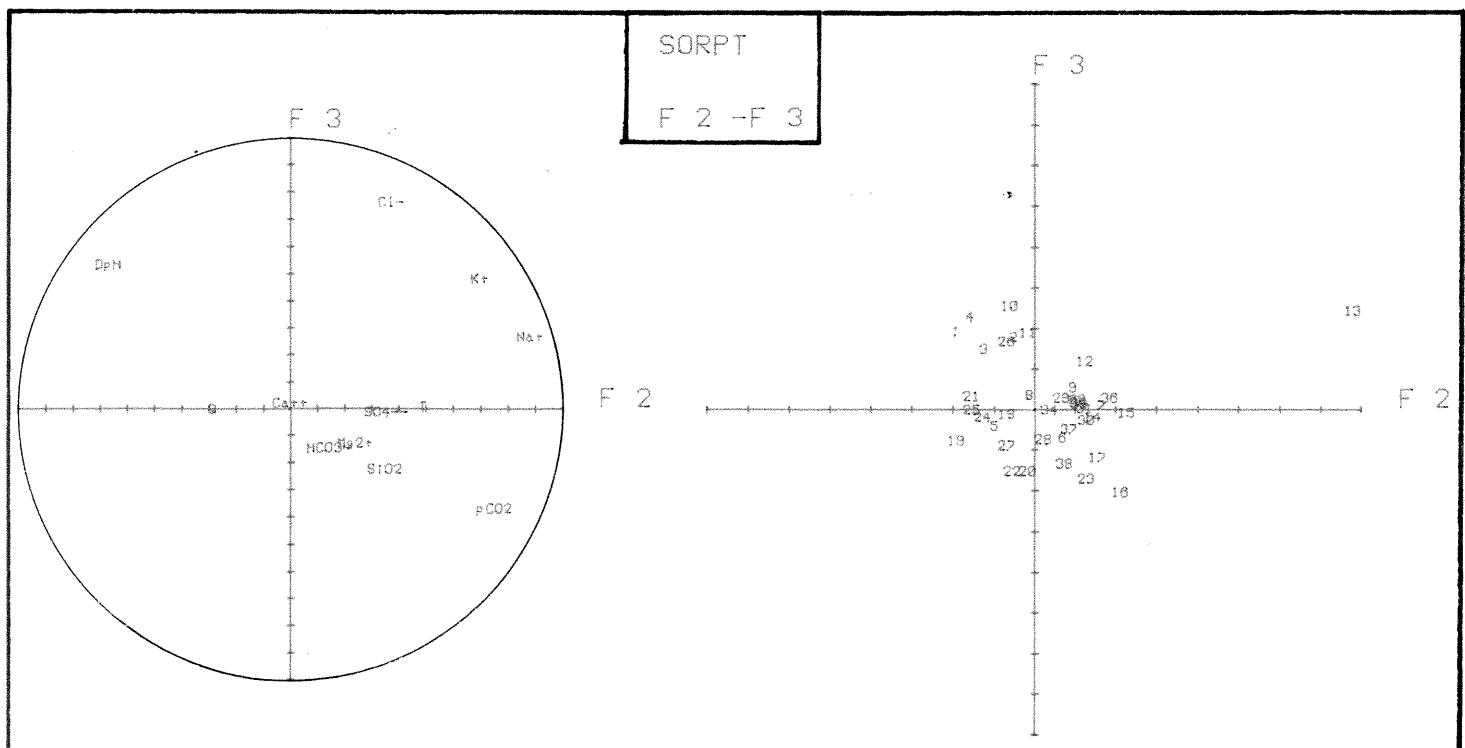
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
31-03-81	1	.042	.380	.598	.761
10-04-81	2	.035	.134	.540	.592
27-04-81	3	.102	.457	.712	.721
19-05-81	4	.191	.488	.826	.911
01-06-81	5	.521	.692	.729	.730
15-06-81	6036	.199	.474
29-06-81	7	.188	.605	.606	.809
13-07-81	8	.264	.095	.104	.179
27-07-81	9	.406	.486	.523	.560
17-08-81	10	.001	.072	.437	.998
31-08-81	11	.412	.444	.712	.749
14-09-81	12	.524	.649	.840	.890
28-09-81	13	.315	.919	.972	.982
12-10-81	14	.181	.319	.335	.671
26-10-81	15	.639	.812	.815	.932
09-11-81	16	.131	.311	.622	.867
23-11-81	17	.047	.268	.578	.668
07-12-81	18	.068	.146	.151	.924
21-12-81	19	.656	.842	.873	.910
04-01-82	20	.666	.689	.955	.984
18-01-82	21	.128	.811	.818	.920
01-02-82	22	.523	.617	.898	.999
15-02-82	23	.097	.216	.757	.937
01-03-82	24	.229	.551	.564	.612
15-03-82	25	.361	.815	.917	.928
29-03-82	26	.269	.173	.376	.385
12-04-82	27	.028	.311	.553	.560
26-04-82	28	.288	.314	.747	.748
10-05-82	29	.285	.301	.309	.380
24-05-82	30	.249	.384	.415	.521
07-06-82	31	.371	.518	.513	.591
21-06-82	32	.728	.950	.952	.952
05-07-82	33	.390	.945	.945	.945
19-07-82	34	.859	.860	.863	.963
02-08-82	35	.856	.937	.997	.998
16-08-82	36	.730	.923	.924	.928
30-08-82	37	.834	.843	.864	.895
13-09-82	38	.850	.856	.963	.963

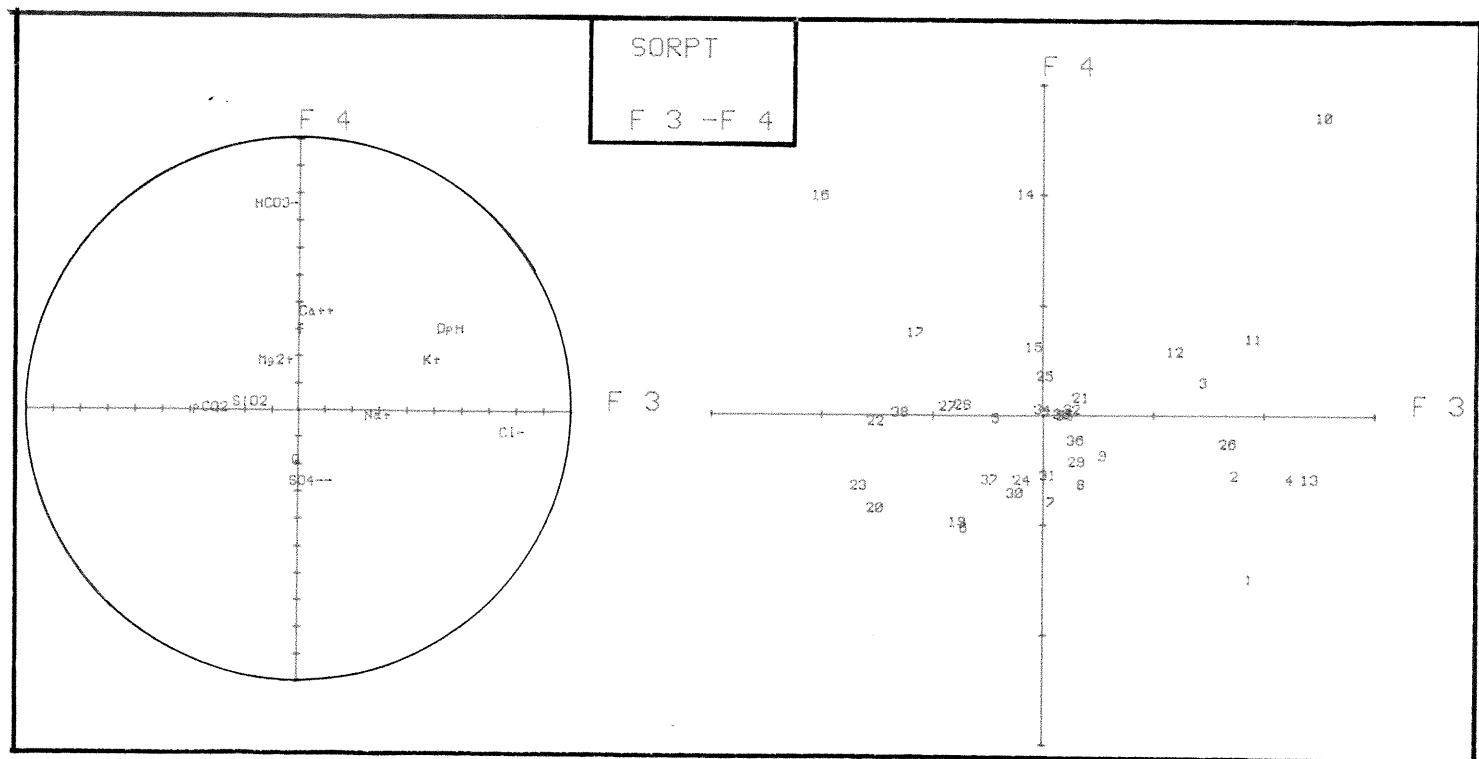
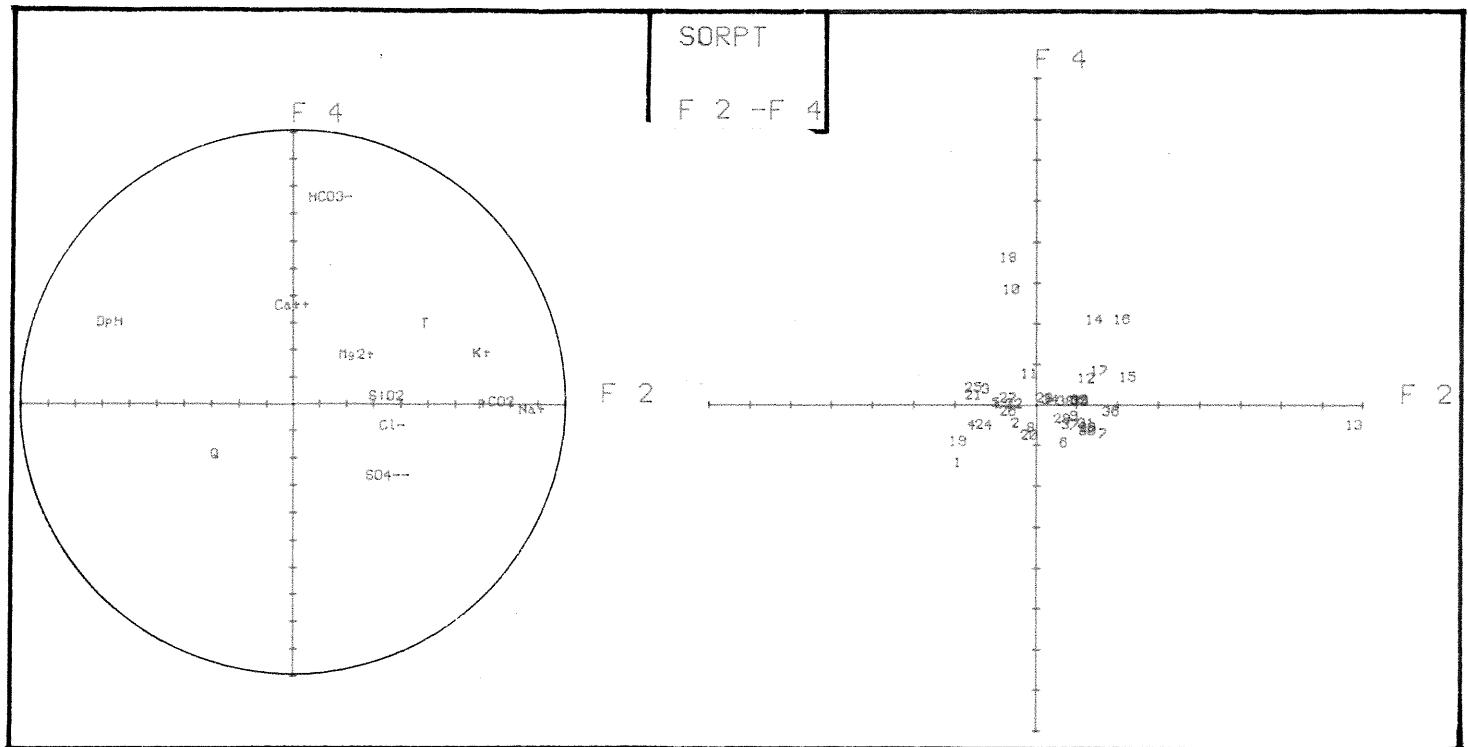
MATRICE DES CORRELATIONS

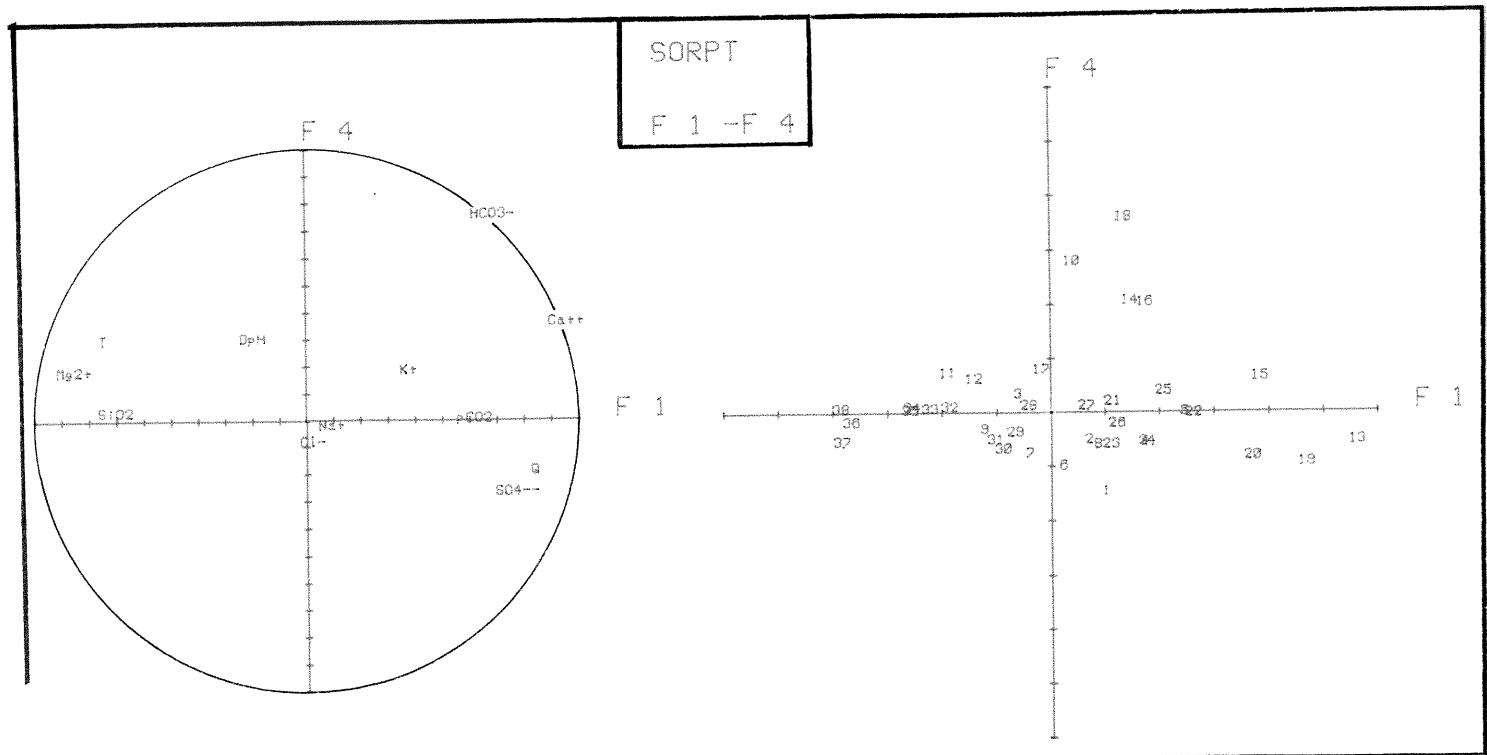
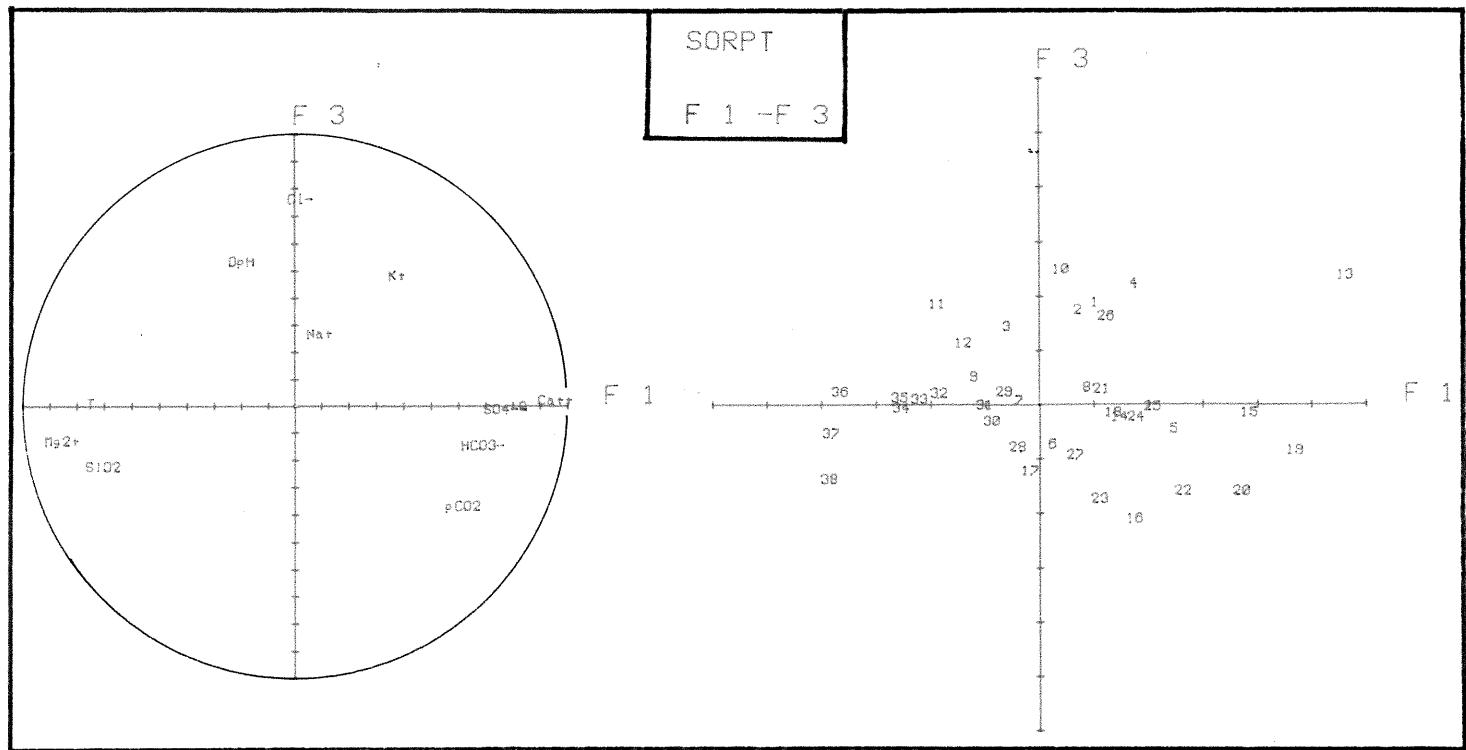
	T	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HC ₀₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂	Q	D _{pH}	pCO ₂
T	1.000	.110	-.452	-.253	.122	.291	.822	-.622	.684	-.783	-.082	-.184
Cl ⁻	.110	1.000	.080	-.121	.352	.293	-.111	-.014	.810	-.136	.030	.009
SO ₄ ²⁻	-.452	.080	1.000	.284	.303	.269	-.556	.561	-.312	.529	-.358	.509
HC ₀₃ ⁻	-.253	-.121	.284	1.000	.243	.003	-.369	.905	-.051	.350	-.072	.445
K ⁺	.122	.352	.303	.243	1.000	.672	-.293	.252	-.248	.363	-.264	.448
Na ⁺	.291	.283	.269	.003	.672	1.000	.862	-.044	.152	-.166	-.408	.441
Mg ²⁺	.822	-.111	-.556	-.369	-.293	.862	1.000	-.278	.828	-.182	.081	-.348
Ca ²⁺	-.622	-.014	.561	.805	.257	-.044	-.278	1.000	-.630	.628	-.059	.454
SiO ₂	.684	.810	-.312	-.351	-.248	.152	.826	-.630	1.000	-.640	-.026	-.126
Q	-.783	-.136	.529	.350	.063	-.166	-.827	.678	-.640	1.000	-.038	.250
D _{pH}	-.082	.030	-.058	-.072	-.126	-.408	.081	-.053	-.075	-.036	1.000	-.937
pCO ₂	-.184	.009	.509	.445	.448	.441	-.349	-.454	-.126	.250	-.937	1.000

SORPT

F 2 - F 3







MATRICE DES CORRELATIONS

SORPT CYCLE 1982
ACP 6 ETIAGE 1982
U.S 28 ----> 38

	T	HCO3-	M _{eff}	C _{eff}	S ₀₂	Q	D _{pH}	pCO ₂
T	1.000	-.216	.862	-.820	.425	-.931	.500	-.730
HCO3-	-.216	1.000	-.250	.686	-.526	.818	-.406	.669
M _{eff}	.862	-.250	1.000	-.924	.533	-.936	.488	-.273
C _{eff}	-.820	.686	-.924	1.000	-.484	.939	-.538	.802
S ₀₂	.425	-.526	.533	-.484	1.000	-.485	.445	-.560
Q	-.931	.818	-.936	.839	-.485	1.000	-.436	.732
D _{pH}	.500	-.406	.488	-.538	.445	-.436	1.000	-.922
pCO ₂	-.730	.669	-.723	.802	-.560	.732	-.922	1.000

	F 1	F 2	F 3
VALEUR PROPRE	5.85	.95	.62
VAR. EXPRIMEE.%	73.13	11.88	8.36
VAR. CUMULEE.%	73.13	85.02	93.32

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

28	.1881	29	.1064	30	.1240	31	.0283	32	.0218
33	.0184	34	.0544	35	.0340	36	.0913	37	.1635
38	.1195								

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3
T	-.987	-.211	-.116
HCO3-	.823	.127	-.260
M _{eff}	-.942	-.215	-.065
C _{eff}	.940	.166	.169
S ₀₂	-.645	.236	.896
Q	.940	.308	.068
D _{pH}	-.627	.202	-.211
pCO ₂	.902	-.398	.146

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3
26-04-82	28	.2113	.2305	.0001
10-05-82	29	.1260	.0003	.0182
24-05-82	30	.1554	.4525	.0236
07-06-82	31	.0300	.0281	.0011
21-06-82	32	.0006	.0500	.0322
05-07-82	33	.0010	.0008	.1155
19-07-82	34	.0254	.0011	.3418
02-08-82	35	.0046	.0333	.2820
16-08-82	36	.1146	.0026	.0303
30-08-82	37	.1988	.0234	.0646
13-09-82	38	.1322	.0264	.1145

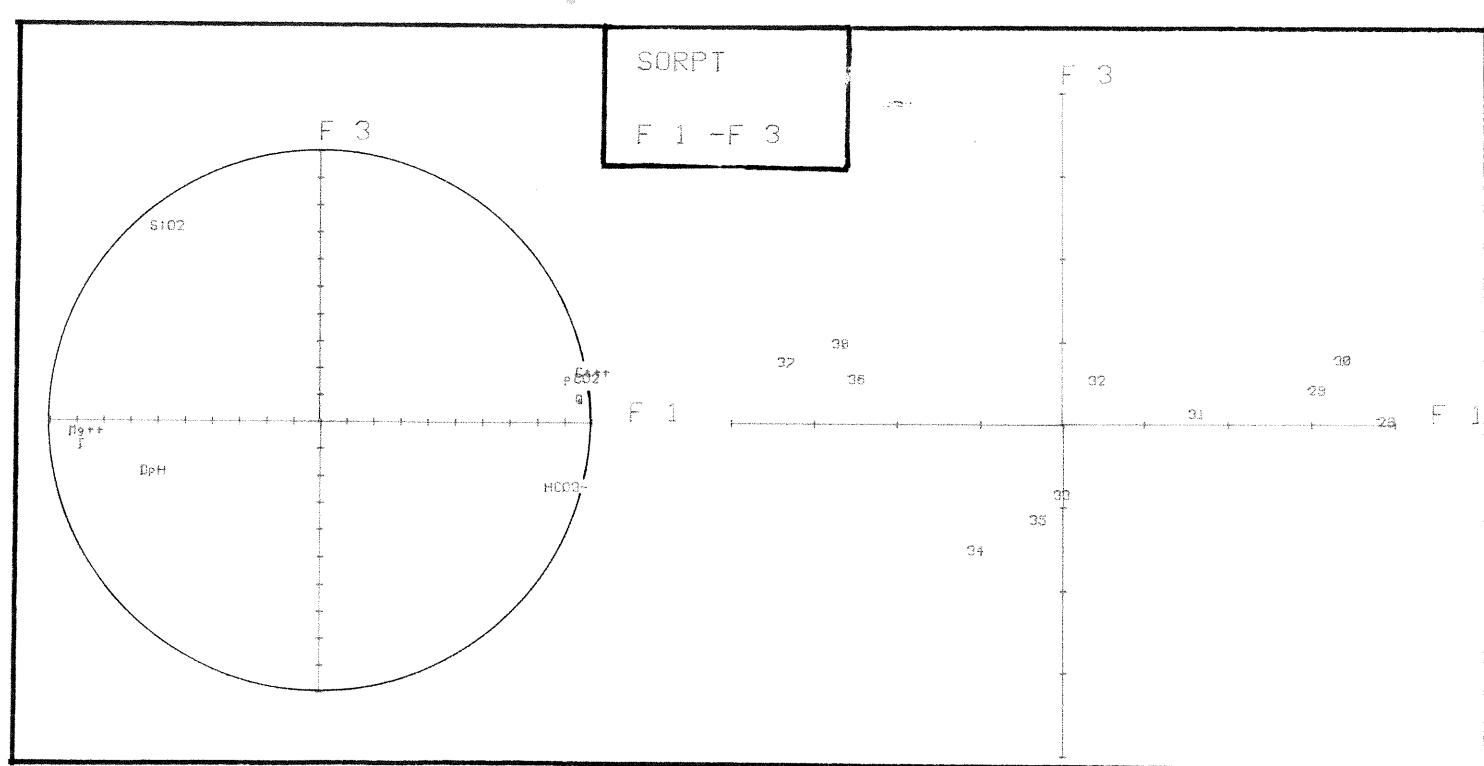
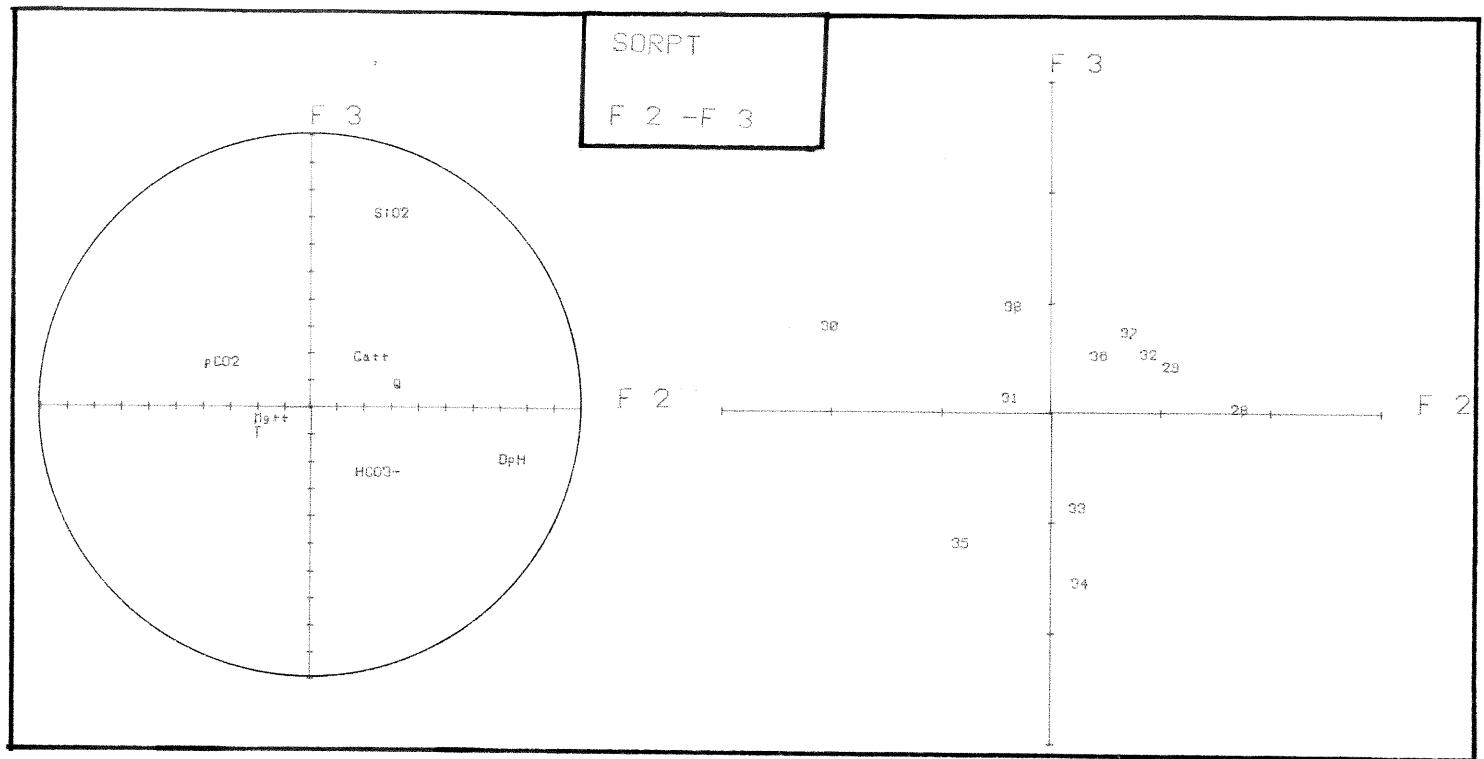
CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3
T	.823	.868	.881
HCO3-	.686	.718	.785
M _{eff}	.887	.933	.938
C _{eff}	.883	.910	.939
S ₀₂	.416	.471	.956
Q	.883	.928	.982
D _{pH}	.458	.851	.985
pCO ₂	.814	.322	.933

CARRES DES M.COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3
26-04-82	28	.663	1.552	-.024
10-05-82	29	2.842	.316	.321
24-05-82	30	3.162	-2.125	.736
07-06-82	31	1.390	-.542	.088
21-06-82	32	.134	.723	.982
05-07-82	33	-.251	.093	-.922
19-07-82	34	-1.229	.109	-1.585
02-08-82	35	-.541	-.988	-1.294
16-08-82	36	-2.216	.281	.472
30-08-82	37	-.527	.554	.689
13-09-82	38	-2.912	-.525	.918

US	N	F 1	F 2	F 3
26-04-82	28	.822	.968	.968
10-05-82	29	.866	.956	.971
24-05-82	30	.653	.962	.992
07-06-82	31	.725	.893	.836
21-06-82	32	.020	.293	.412
05-07-82	33	.033	.044	.563
19-07-82	34	.342	.344	.863
02-08-82	35	.098	.424	.933
16-08-82	36	.318	.928	.956
30-08-82	37	.887	.908	.941
13-09-82	38	.863	.835	.913



DESCRIPTION DES VARIATIONS DE LA CHIMIE DES EAUX LORS DES CRUES

-Source du Blagour

Crues du 10-07-81 ACP 1
22-09-81 ACP 3
02-10-81 ACP 2
07-12-81 ACP 2 et ACP3
01-04-82 ACP 1

-Source du Sorpt

Crues du 22-09-81 ACP 1
07-12-81 ACP 2 et ACP 3
16-03-82 ACP 1

-Source de Fontille

Crues du 01-04-82 ACP1

SOURCE DU BLAGOUR

Description des variations chimiques des eaux de la sources du Blagour lors de la crue du 10.07.81.

Cette crue se produit au début de l'étiage 1981 à la suite d'un très violent orage dans la nuit du 9 au 10 juillet 1981. 63mm d'eau sont tombés entre 1h30 et 10h30 le 10 juillet. Une telle intensité est tout à fait exceptionnelle (cf. annexe III).

Le premier prélèvement a été effectué en montée de crue quelques heures avant la pointe de crue. La minéralisation a déjà baissé. A partir du début de la décrue elle augmente jusqu'à la fin de l'échantillonnage.

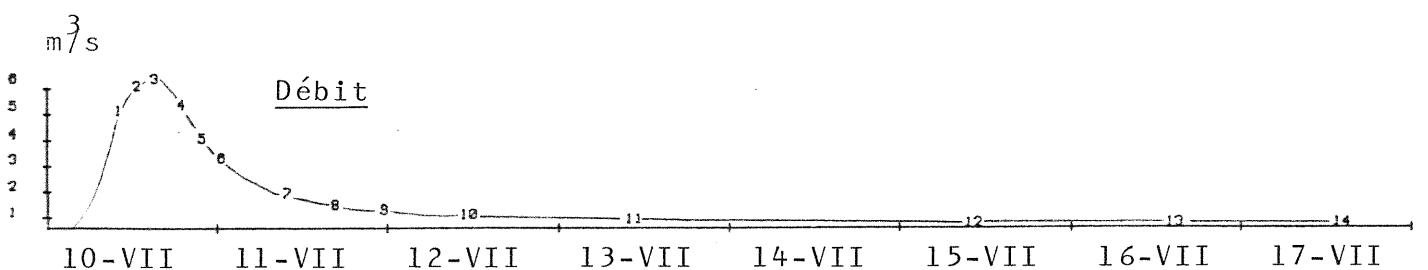
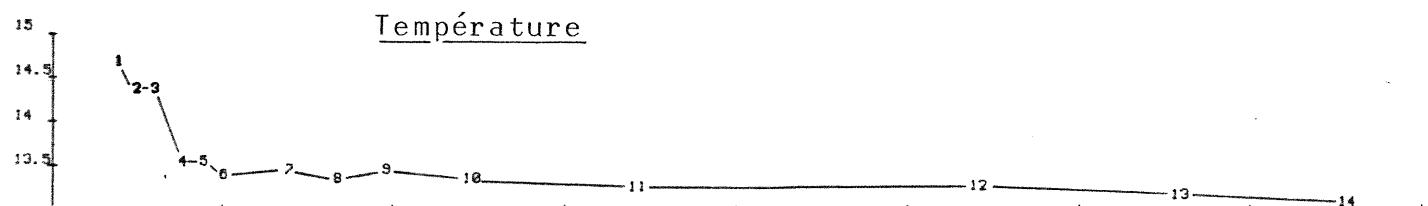
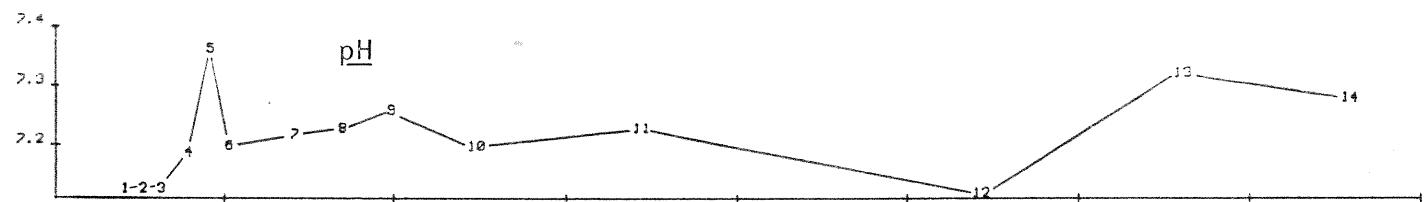
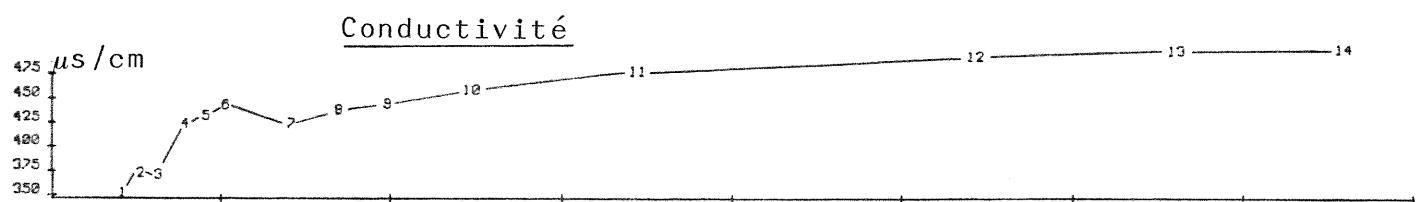
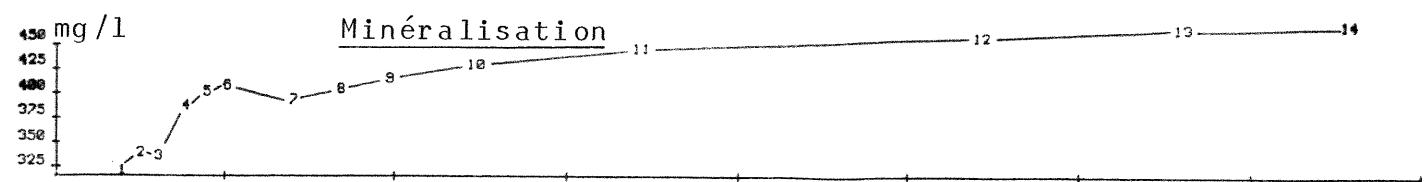
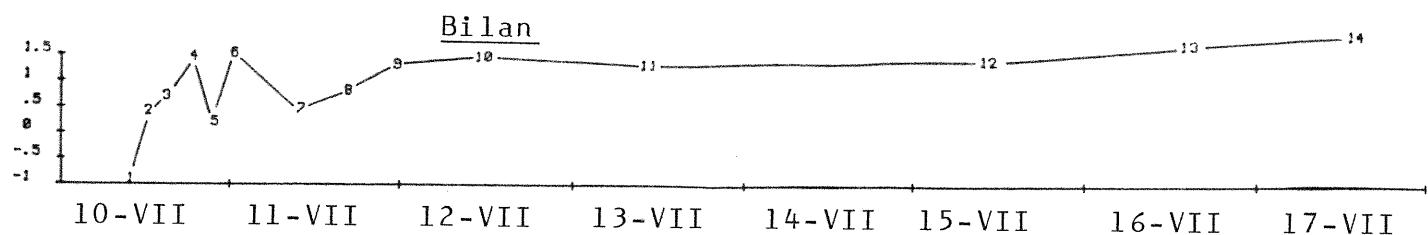
HCO_3^- et Ca^{2+} suivent bien évidemment les mêmes variations que la minéralisation. Mg^{2+} , Na^+ et la silice suivent également les même variations. Toutefois dans le détail celles-ci sont plus compliquées. SO_4^{2-} , K^+ et la température sont liés aux variations du débit et donc opposés aux variations de la minéralisation.

Les eaux prélevées durant cette crue possèdent une pCO_2 peu variable s'étageant entre 1.4×10^{-2} atm. et 2×10^{-2} atm. Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur des valeurs moyennes d'étiage observées au Blagour. Le DpH pour sa part suit les variations de la minéralisation et possède des valeurs fortement négatives en pointe de crue.

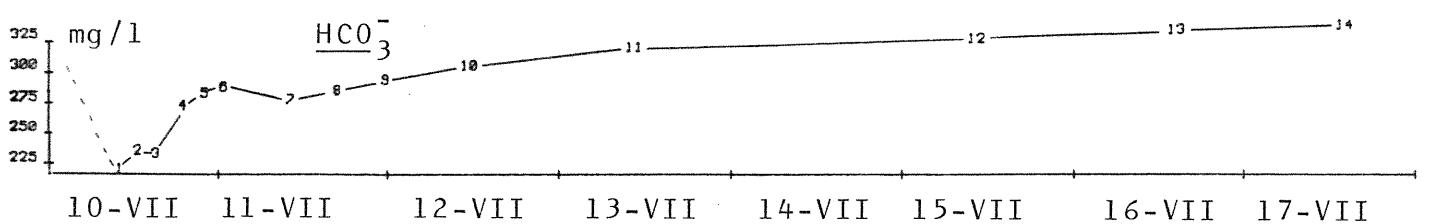
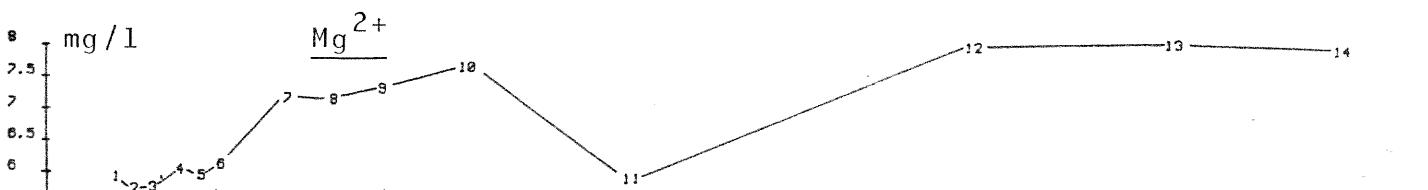
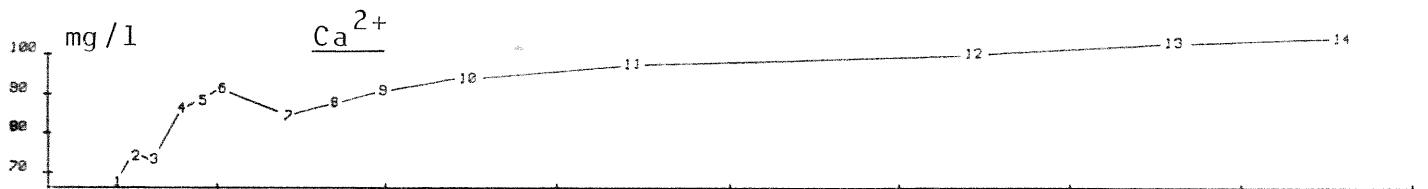
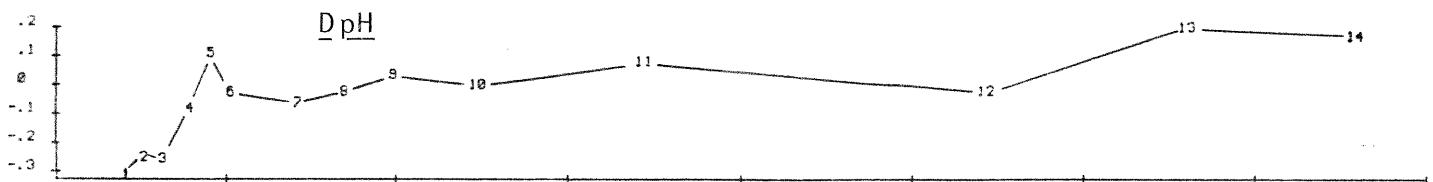
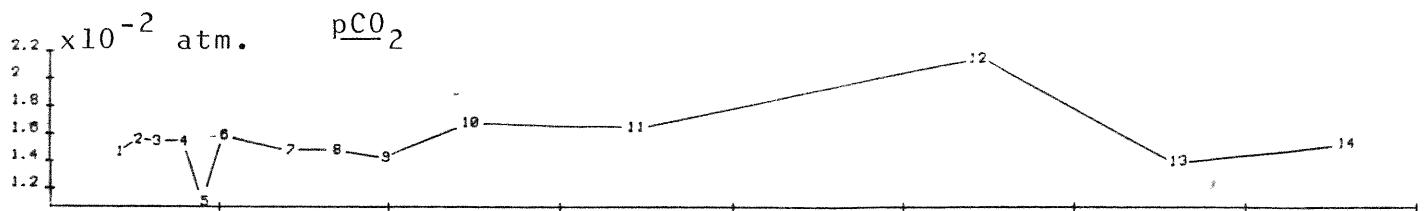
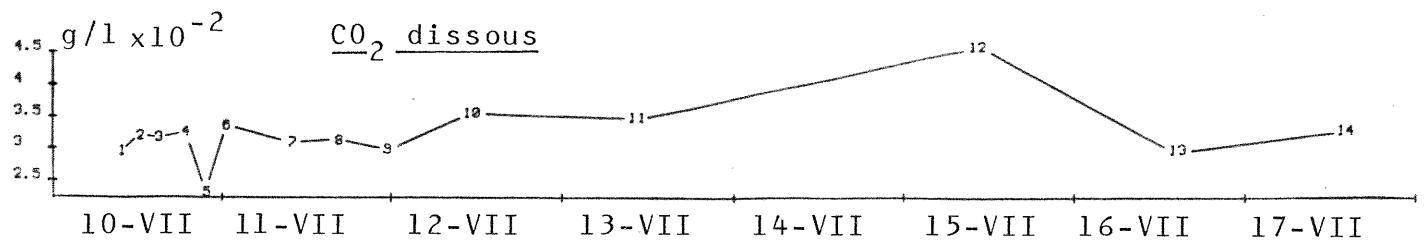
Ainsi, cette crue subite, liée à une averse exceptionnelle, est marquée en pointe de crue par des eaux à transit rapide. En effet, la pCO_2 reste constante alors que le DpH devient fortement négatif. L'équilibre n'est pas atteint à l'exutoire. Les teneurs en SO_4^{2-} et K^+ sont très importantes et ne peuvent être expliquées que par lessivage des sols. L'augmentation de la température liée à des eaux sous-saturées ne peut être associée qu'à la température de l'eau à la surface du Causse, qui au mois de juillet doit être importante.

Comme cela a été observé au cours du cycle 1982 les chlorures possèdent des variations indépendantes des autres ions.

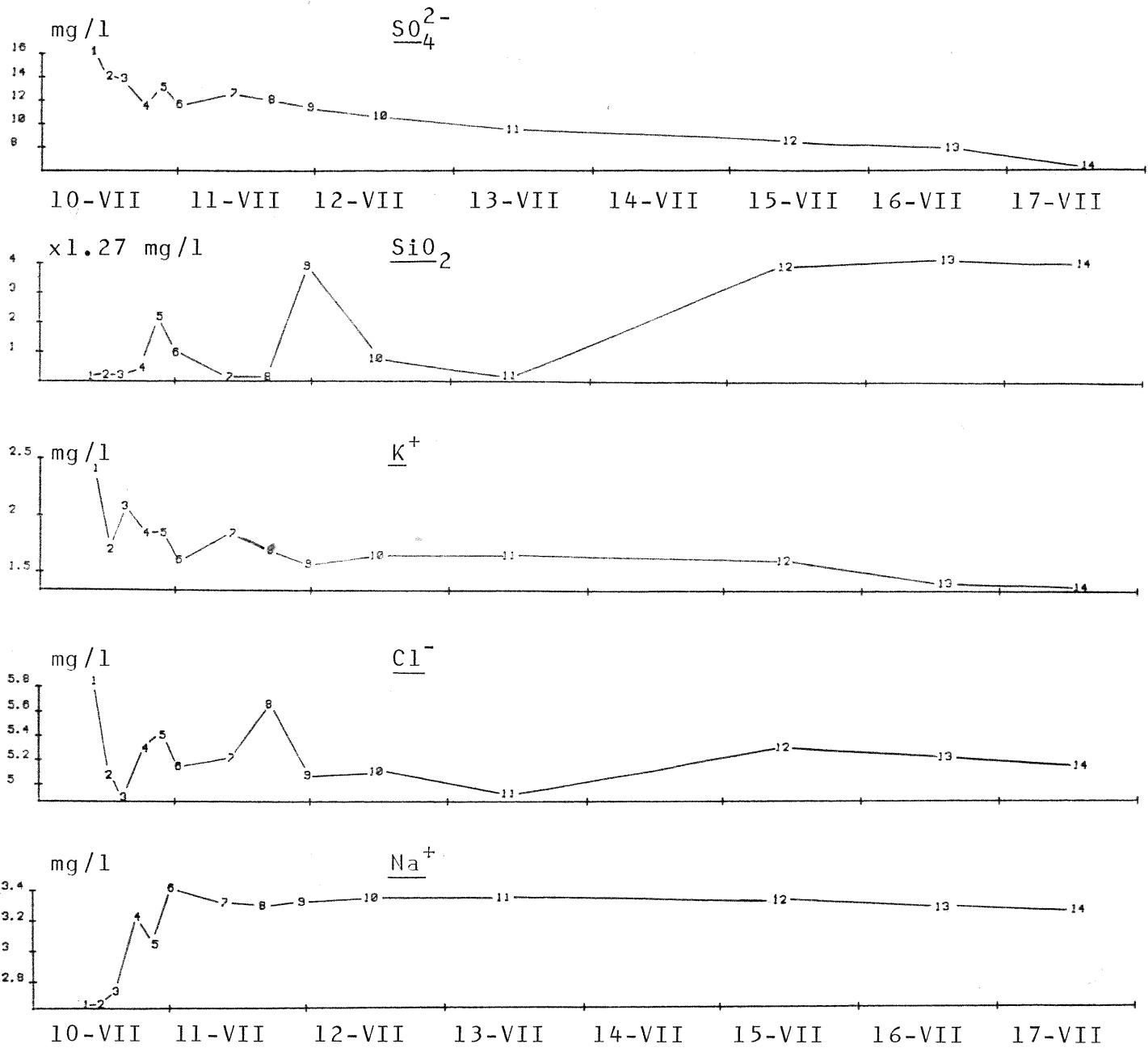
BLA GOUR 10-07-1981



BLAGOUR 10-07-1981



BLAGOUR 10-07-1981



MATRICE DES CORRELATIONS

BLAGOUR

crue du 10-07-81

ACP 1

	T	Cl-	SO4--	HC03-	K+	Nat	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DpH	pCO2
T	1.000	.214	.854	.842	.818	.931	.876	.842	.523	.849	.905	.154
Cl-	.214	1.000	.349	.252	.445	.186	.022	.287	.118	.875	.188	.193
SO4--	.854	.349	1.000	.948	.847	.882	.726	.351	.689	.721	.904	.346
HC03-	.842	.252	.948	1.000	.848	.814	.738	.895	.672	.886	.903	.265
K+	.818	.445	.842	.848	1.000	.872	.827	.863	.613	.896	.783	.126
Nat	.931	.186	.882	.814	.872	1.000	.591	.821	.347	.806	.746	.224
Mg++	.876	.022	.726	.738	.827	.591	1.000	.710	.687	.819	.580	.308
Ca++	.842	.287	.951	.995	.863	.821	.710	1.000	.678	.848	.903	.251
SiO2	.523	.118	.689	.672	.613	.347	.687	.678	1.000	.542	.645	.080
Q	.849	.075	.721	.886	.896	.886	.818	.848	.542	1.000	.762	.285
DpH	.905	.196	.884	.903	.783	.746	.580	.809	.645	.762	1.000	.164
pCO2	.154	.180	.346	.265	.176	.224	.309	.251	.080	.205	.164	1.000

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR. PROPRE	6.88	1.23	1.18	.88
VAR. EXPRIMEE. x	67.35	10.25	9.17	6.67
VAR. CUMULEE. x	67.35	72.88	86.77	93.45

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

SATURATIONS

1	.2319	2	.1091	3	.1255	4	.0188	5	.0424
6	.0136	7	.0141	8	.0293	9	.0297	10	.0239
11	.0464	12	.1050	13	.0970	14	.1082		

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	-.952	-.085	.086	.256
Cl-	-.278	.655	.658	-.118
SO4--	-.341	.148	.013	-.133
HC03-	.957	-.082	.001	-.025
K+	-.862	.116	.234	-.181
Nat	.848	.012	.013	-.468
Mg++	.792	.027	.438	.202
Ca++	.986	-.013	-.049	-.019
SiO2	.782	.165	.076	.639
Q	-.855	-.084	-.235	.153
DpH	.894	.326	-.271	-.022
pCO2	.250	-.782	.546	-.048

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
10-09.30	1	.2947	.0834	.2417	.0109
10-12.05	2	.1258	.0612	.0379	.0016
10-14.35	3	.1515	.1225	.0515	.0495
10-16.30	4	.0116	.0013	.0059	.0079
10-21.20	5	.0055	.2905	.1107	.0049
11-02.10	6	.0018	.2125	.0255	.0250
11-03.35	7	.0006	.0023	.0024	.0023
11-16.15	8	.0003	.0084	.0264	.1403
11-22.55	9	.0227	.0118	.0133	.0591
12-11.20	10	.0193	.0244	.0108	.0402
13-10.10	11	.0220	.0650	.0796	.1567
15-10.00	12	.0780	.1521	.3375	.0568
16-14.00	13	.1222	.0622	.0049	.0996
17-13.15	14	.1454	.0032	.0019	.1058

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

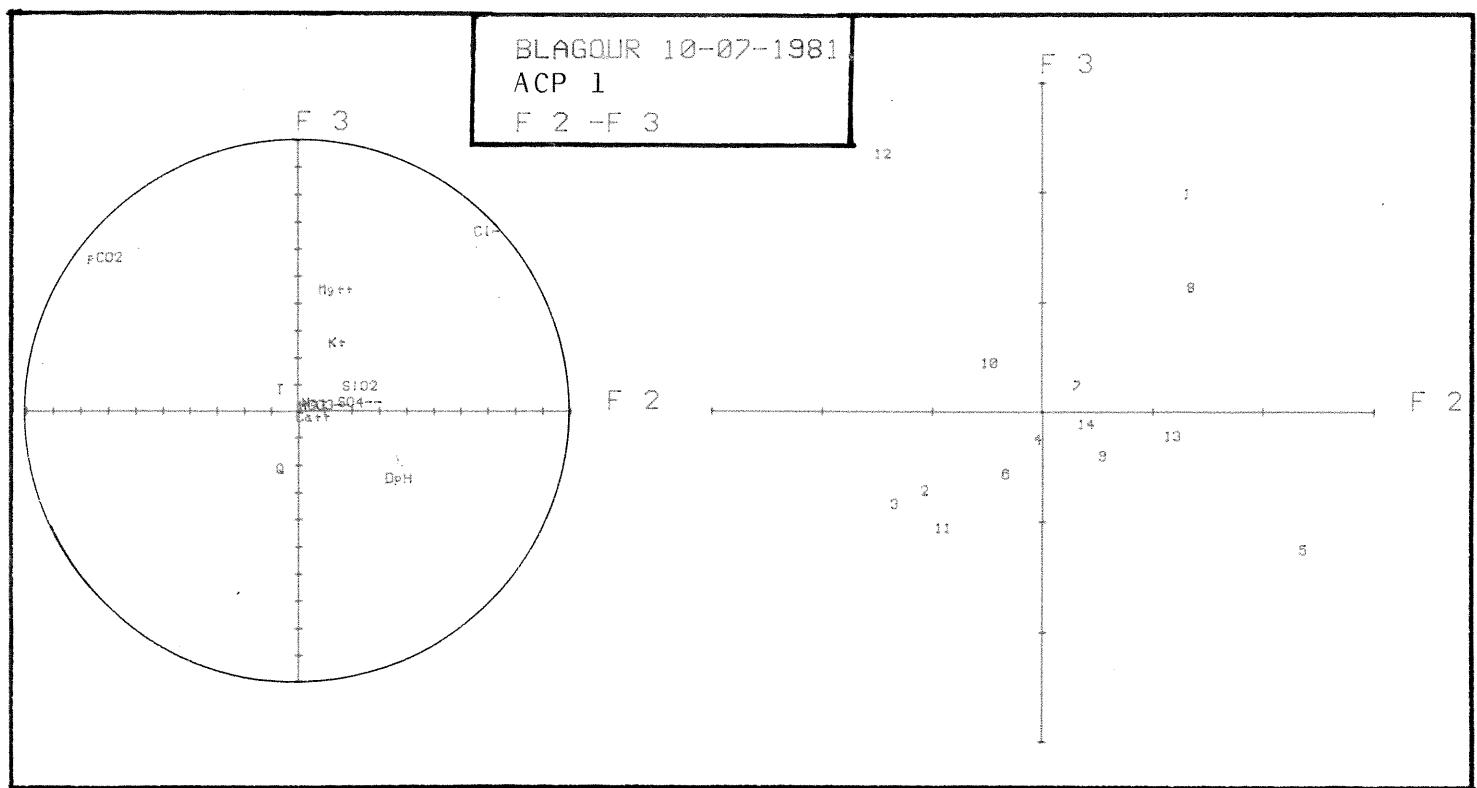
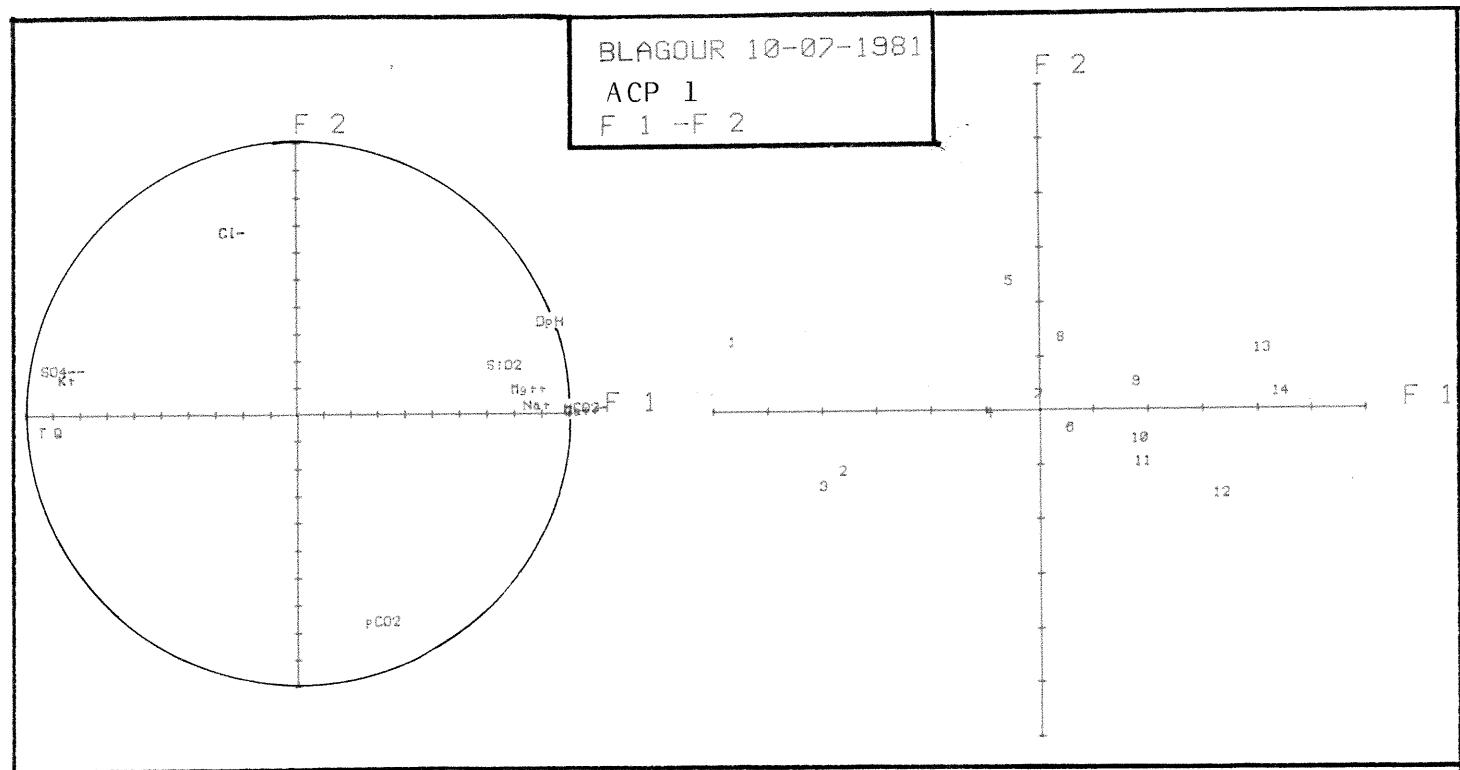
	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.906	.914	.918	.984
Cl-	.077	.587	.923	.941
SO4--	.885	.987	.987	.925
HC03-	.974	.974	.974	.975
K+	.772	.781	.845	.855
Nat	.786	.786	.786	.926
Mg++	.628	.634	.818	.859
Ca++	.972	.972	.975	.975
SiO2	.493	.528	.526	.934
Q	.880	.886	.863	.886
DpH	.799	.906	.929	.980
pCO2	.863	.674	.972	.974

CARRES DES M.COS. DES US AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
10-09.30	1	.856	.893	.988	.992
10-12.05	2	.776	.853	.885	.934
10-14.35	3	.813	.913	.951	.977
10-16.30	4	.415	.423	.451	.586
10-21.20	5	.079	.707	.921	.928
11-00.10	6	.048	.142	.314	.685
11-09.35	7	.029	.046	.062	.538
11-16.15	8	.002	.316	.555	.874
11-22.55	9	.469	.507	.548	.681
12-11.20	10	.561	.666	.707	.819
13-10.10	11	.319	.463	.620	.845
15-10.00	12	.502	.651	.945	.969
16-14.00	13	.852	.916	.923	.991
17-13.15	14	.905	.908	.909	.974

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
10-09.30	1	-5.775	1.198	1.930	.349
10-12.05	2	-3.773	-1.183	-.764	.956
10-14.35	3	-4.148	-1.453	-.851	.745
10-16.30	4	-1.145	-.151	-.382	-.652
10-21.20	5	-.791	2.232	-1.306	.235
11-00.10	6	.333	-.463	-.627	-.922
11-09.35	7	-.264	.200	.191	-.1663
11-16.15	8	.188	1.234	1.085	-.1254
11-22.55	9	1.530	.436	-.453	.814
12-11.20	10	1.581	-.649	.402	-.671
13-10.10	11	1.578	-1.058	-1.186	-1.325
15-10.00	12	2.976	-1.619	2.281	.642
16-14.00	13	3.726	1.035	-.223	1.056
17-13.15	14	4.055	.235	-.120	1.083



SOURCE DU BLAGOUR

Description des variations chimiques

Crue du 22.09.81

Cette crue est la première du cycle. Elle survient après une série d'épisodes pluvieux ayant commencé le 8.09.81 (cf. annexe III). C'est semble t-il l'averse du 22.09.81 (30mm environ) qui a déclenché cette petite crue. Elle a été immédiatement suivie par une autre crue, le 27.09.81, que nous n'avons pas pu suivre. Il est intéressant de remarquer que la crue du 27 pourtant plus importante a été provoquée par une averse plus faible.

Les prélèvements ont commencé dès le début de la crue. Les premiers sont marqués par une augmentation de la minéralisation. Puis à partir de la pointe de crue elle décroît rapidement pour atteindre son point le plus bas à 430mg/l. Ensuite elle remonte lentement pour atteindre une valeur égale à celle du premier prélèvement. La description des variations des différents ions et paramètres est délicate. Pour les synthétiser nous employerons le plan F1-F2 de "l'ACP 3 crue du 22.09.81" (cf. tableau 33-texte). Pour ce traitement nous avons éliminé l'U.S 3 présentant une valeur de pH anormalement basse.

Les premiers prélèvements (1-2) sont marqués par des valeurs élevées et constantes de HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} et DpH ainsi que par des valeurs faibles et constantes ou légèrement croissantes en K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , pCO_2 et SiO_2 . La température très haute pour le prélèvement 1 baisse rapidement dès le prélèvement 2. Tout ceci semble indépendant du débit qui augmente. Les pCO_2 sont de l'ordre de la moyenne en étiage et le DpH est supérieur à 0.2.

Les US. 4.5.6 caractérisent la décrue. Après une chute des teneurs en HCO_3^- , Ca^{2+} , et Mg^{2+} ces trois prélèvements montrent des variations opposées au débit. K^+ , Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} qui avaient fortement augmentés ont des variations relativement indépendantes du débit bien qu'en moyenne opposées. La silice est corrélée au débit.

Les U.S 7 à 15 caractérisent la fin de la crue. Avec la baisse du débit on constate l'augmentation de HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Mais également et indépendamment de ces derniers ions la pCO_2 , SO_4^{2-} , K^+ , Cl^- et Na^+ . Le DpH reste supérieur à zéro et en légère augmentation.

La température est plus forte que les valeurs d'étiage mais en moyenne varie de la même manière que le débit.

Ainsi cette crue montre l'existence de deux facteurs temps de séjour indépendants. Le premier marqué par le facteur F1 caractérise le temps de séjour dans une zone pauvre en SiO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} , K^+ et en CO_2 et riche en Mg^{2+} , HCO_3^- et Ca^{2+} où les eaux sont sursaturées. Le second, représenté par le facteur F2, caractérise le temps de séjour dans les zones à fortes pCO_2 riches en SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- marqués par des températures plus froides et pauvres en SiO_2 . Toutefois ce milieu est carbonaté.

Ces deux modes indépendants d'acquisition de la minéralisation mélangent leurs informations et donne ces variations assez complexes.

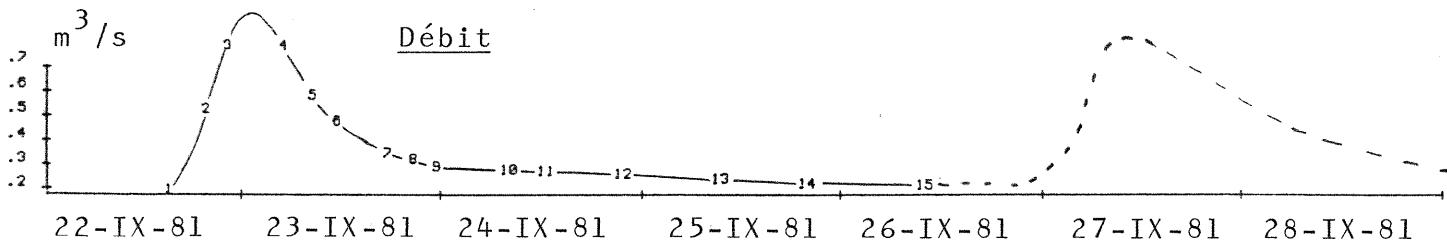
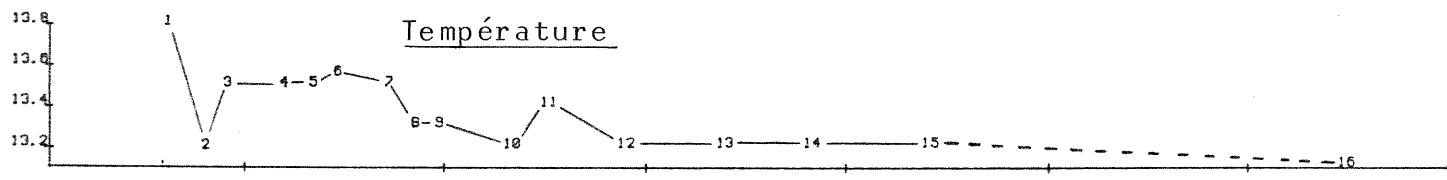
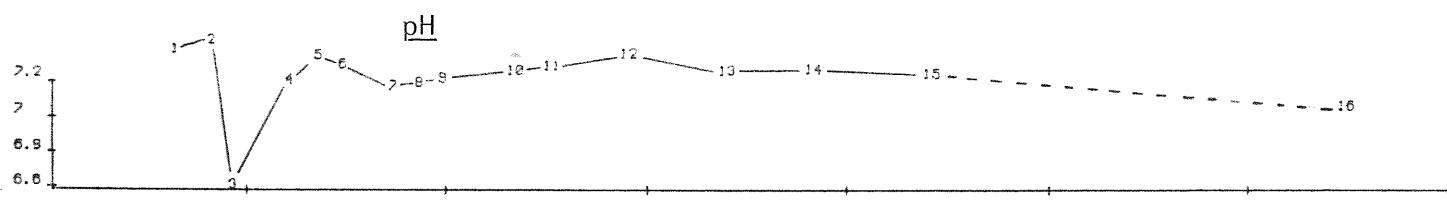
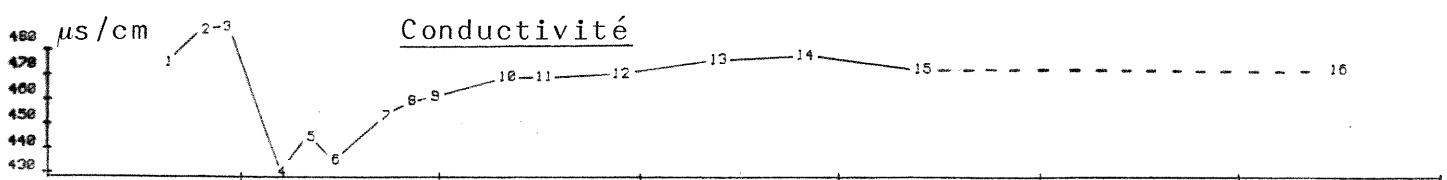
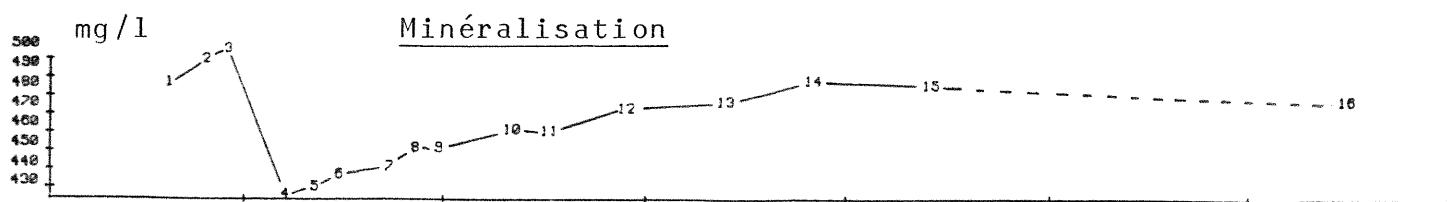
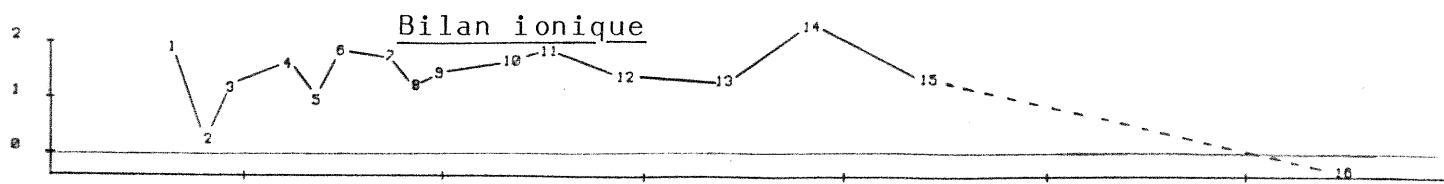
Il faut noter que les facteurs F1 et F2 sont les mêmes que ceux révélés par l'ACP sur le cycle.

Ainsi cette crue n'est caractérisée que par des eaux ayant séjournées longtemps dans l'aquifère mais dans des zones différentes. L'absence d'eau à écoulement rapide marqué par l'absence de DpH inférieurs à zéro est un fait remarquable pour une crue répondant si rapidement à la pluie.

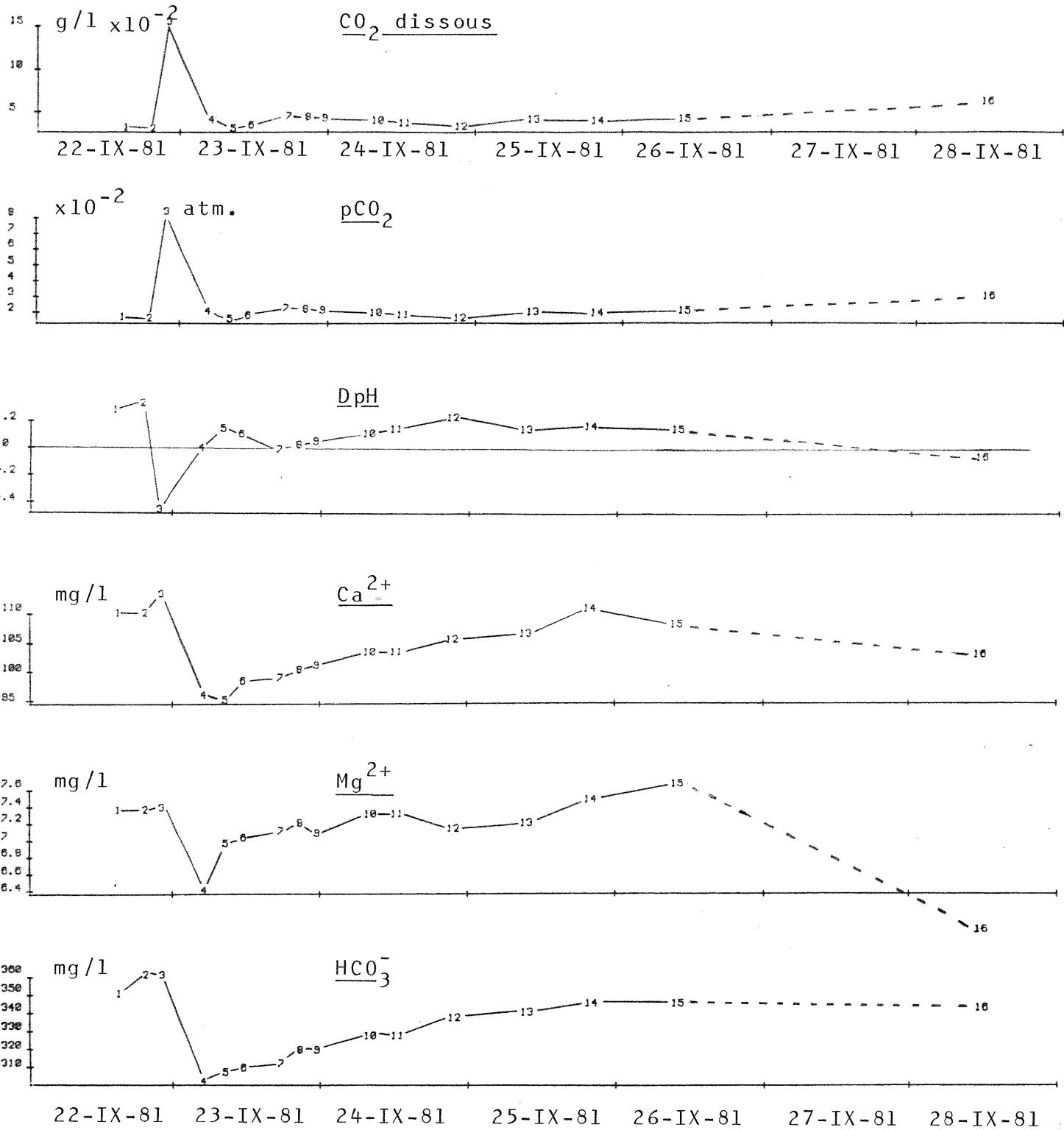
On peut également ajouter que les eaux de la zone caractérisée par F1 se situent plus en aval que celle caractérisée par F2 puisque leurs eaux réapparaissent avec un certain retard. Le facteur F1 caractériserait donc le temps de séjour dans la zone noyée et les U.S 1-2 et 3 un effet de chasse.

Le magnésium se trouvant à la fois sur le facteur F1 et le facteur F2 on peut penser qu'il y a sur F2 l'influence des formations hettangiennes situées au nord de la faille Condat-Meyssac.

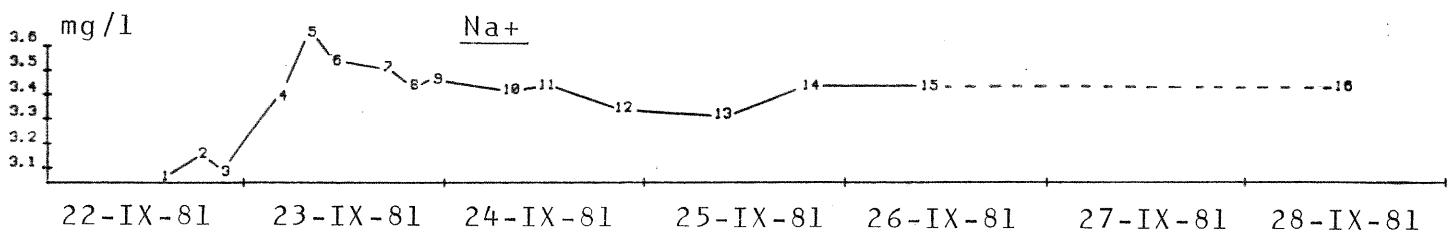
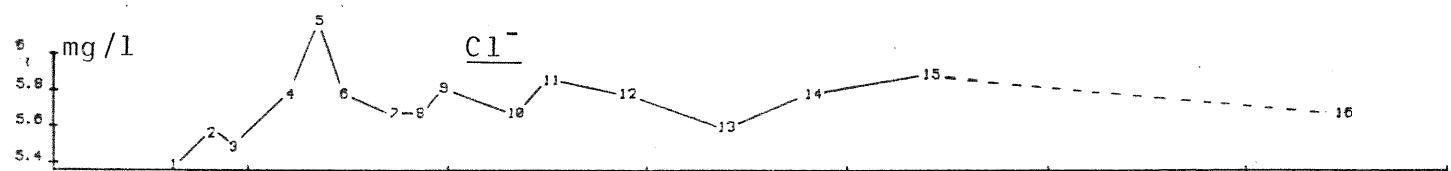
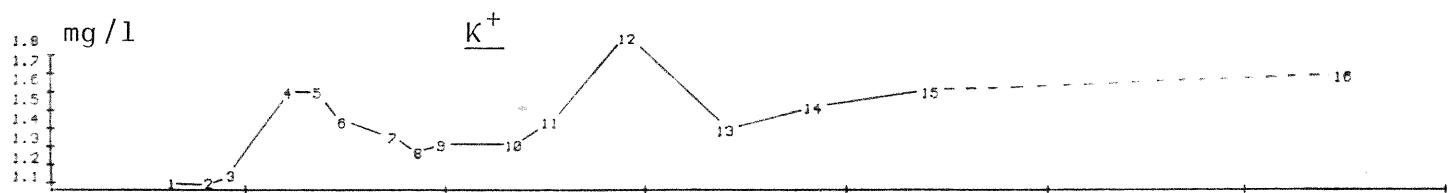
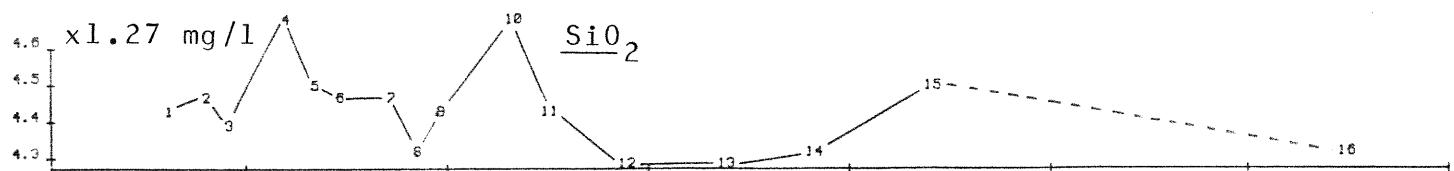
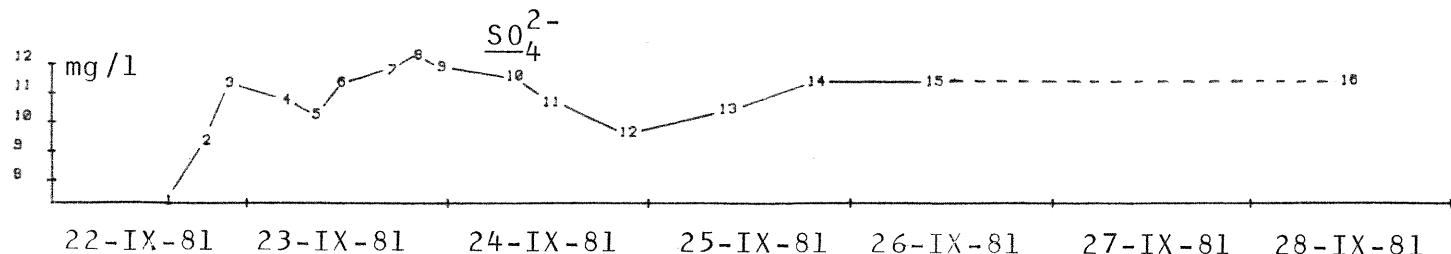
BLAGOUR 22-09-81



BLAGOUR 22-09-1981



BLAGOUR 22-09-81



PRINCIPE DES CORRELATIONS

	T	Cl-	S04--	HCO3-	K+	Nat	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DpH	pCO2
T	1.000	-.143	-.432	-.358	-.242	-.092	-.366	-.341	.238	.258	-.024	-.234
Cl-	-.143	1.000	.404	-.511	.649	.634	-.216	-.542	.150	.312	-.316	-.030
S04--	-.432	.404	1.000	-.511	.162	.732	-.084	-.441	.098	.025	-.006	.746
HCO3-	-.358	-.511	-.511	1.000	-.280	-.240	.263	.324	-.390	-.553	.293	-.381
K+	-.242	.649	.162	-.280	1.000	.480	-.253	-.252	-.083	.122	-.184	-.003
Nat	-.092	.634	.232	-.240	.480	1.000	-.264	-.213	.148	.228	-.624	.328
Mg++	-.366	-.216	-.084	.263	-.253	-.264	1.000	.225	-.325	-.298	.468	-.021
Ca++	-.341	-.542	-.441	.324	-.252	-.213	.225	1.000	-.401	-.632	.705	-.180
SiO2	.238	.150	.098	-.390	-.083	.148	-.375	-.401	1.000	.555	-.254	.026
Q	.258	.312	.025	-.553	.122	.228	-.298	-.032	.555	1.000	-.198	-.228
DpH	-.024	-.316	-.006	.293	-.184	-.074	.468	.705	-.254	-.198	1.000	-.012
pCO2	-.234	-.030	.246	-.301	-.003	.328	-.021	-.180	.026	-.220	-.012	1.000

BLAGOUR

22-09-81

ACP 3

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR PROPRE	5.36	2.61	1.69	.88
VAR. EXPRIMEE.%	44.66	21.28	14.12	7.35
VAR. CUMULEE.%	44.66	66.45	80.52	82.92

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

1	.2042	2	.1324	4	.1558	5	.1178	6	.0351
7	.0485	8	.0412	9	.0232	10	.0365	11	.0063
12	.0702	13	.0316	14	.0445	15	.0523		

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.119	-.296	-.288	-.512
Cl-	.653	.140	.656	.037
S04--	.662	.663	-.185	.172
HCO3-	-.851	.178	.187	.188
K+	.406	.182	.717	-.185
Nat	.838	.325	.275	-.093
Mg++	-.693	.547	.071	.043
Ca++	-.928	.261	.036	.130
SiO2	.417	-.422	-.226	.622
Q	.568	-.042	.087	.345
DpH	-.841	-.328	.400	.081
pCO2	.404	.649	-.567	-.013

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.814	.513	.596	.859
Cl-	.427	.447	.872	.879
S04--	.438	.878	.912	.942
HCO3-	.985	.936	.948	.983
K+	.165	.198	.713	.724
Nat	.792	.898	.883	.892
Mg++	.480	.779	.784	.786
Ca++	.861	.929	.931	.948
SiO2	.174	.352	.403	.798
Q	.322	.734	.742	.861
DpH	.787	.814	.874	.982
pCO2	.163	.584	.906	.986

CONTRIBUTION DES US A
LA DETERMINATION DES FACT.

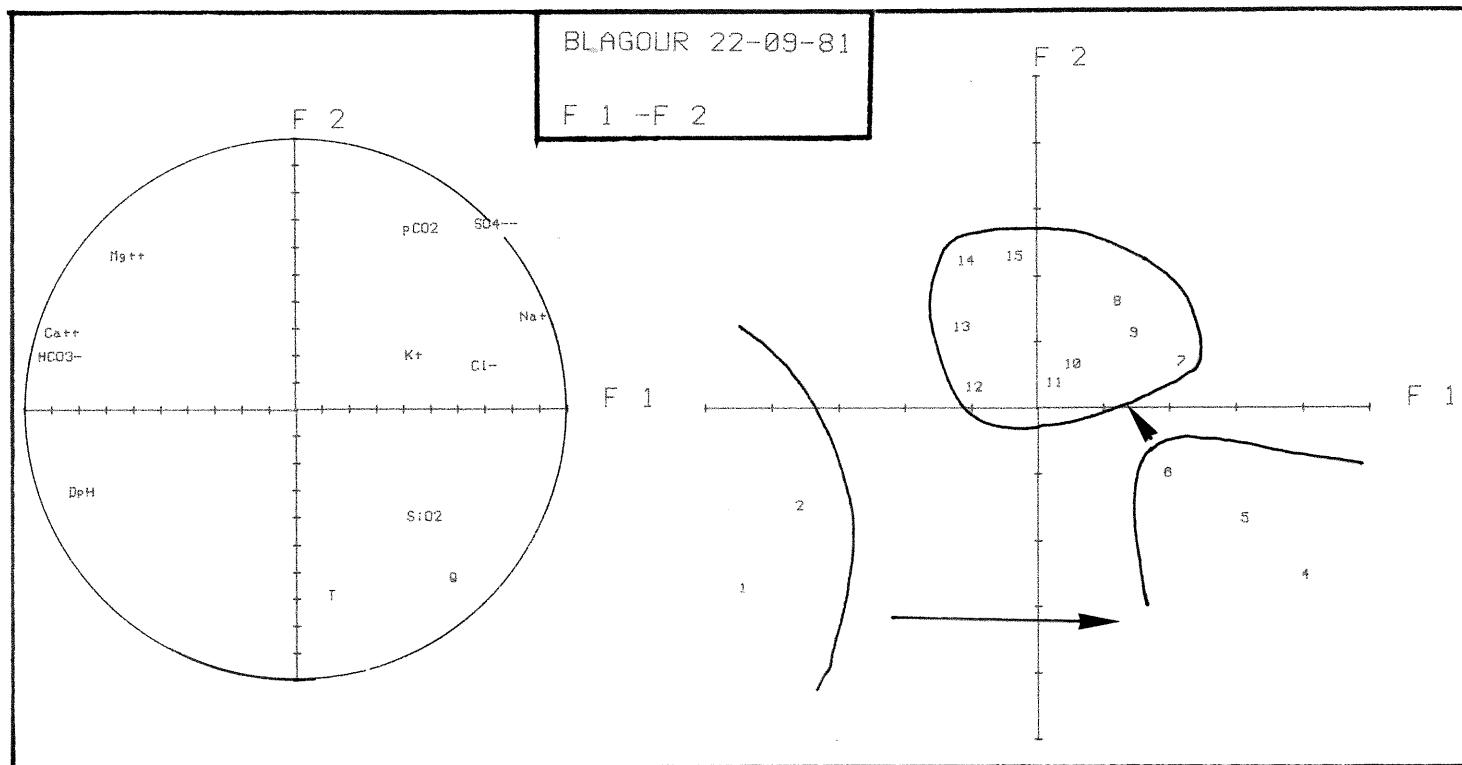
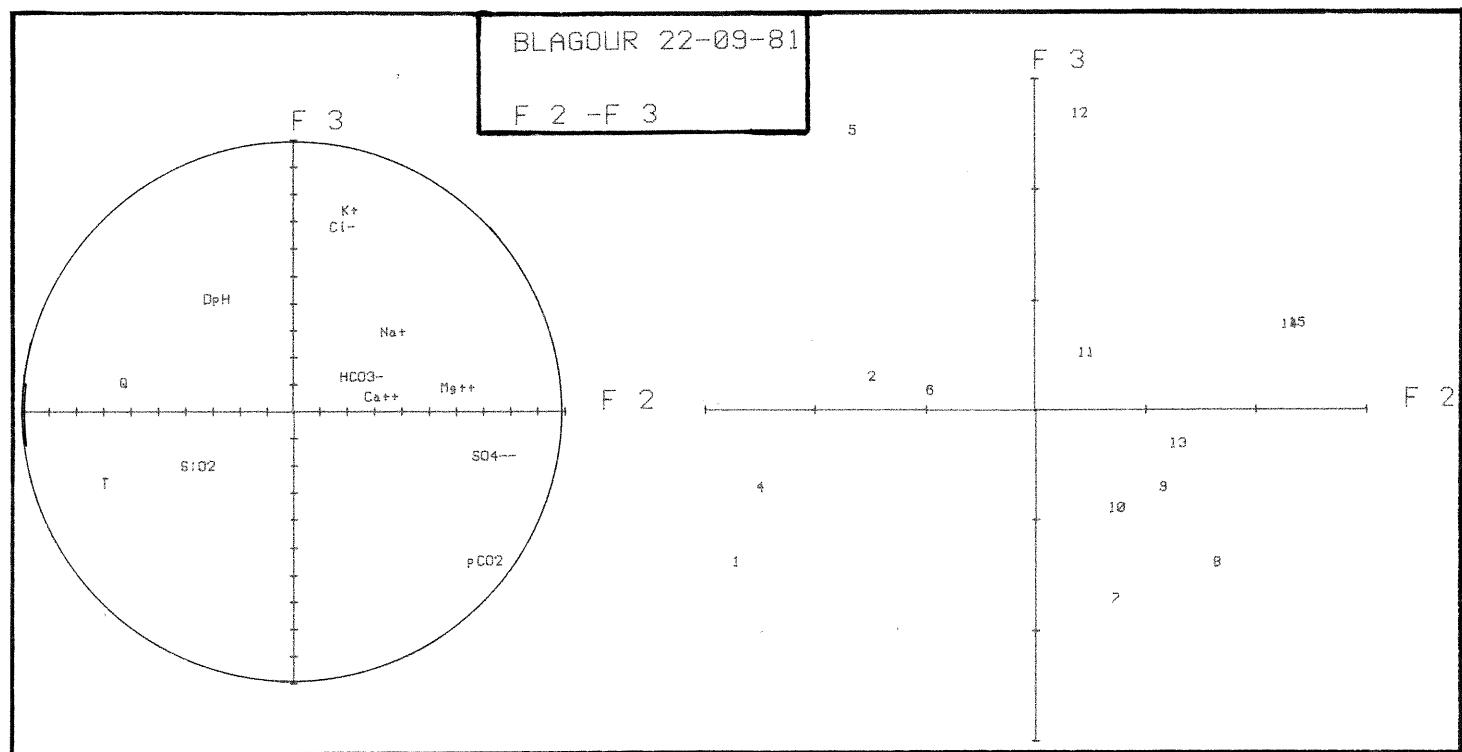
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
22-14.30	1	.2876	.2166	.0859	.1432
22-19.05	2	.1916	.0663	.0227	.2830
23-04.50	4	.1978	.1937	.0237	.0763
23-08.15	5	.1151	.0856	.2584	.0181
23-11.10	6	.0428	.0314	.0008	.0302
23-17.15	7	.0529	.0103	.1287	.0429
23-20.20	8	.0133	.0644	.0863	.0322
23-23.00	9	.0215	.0301	.0246	.0015
24-08.10	10	.0009	.0093	.0382	.2454
24-12.35	110025	.0055	.0138
24-21.50	12	.0201	.0017	.2895	.0428
25-09.40	13	.0270	.0358	.0056	.0172
25-20.05	14	.0241	.1254	.0221	.0001
26-10.00	15	.0054	.1342	.0237	.0593

CARRES DES M.COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
22-14.30	1	.623	.860	.919	.972
22-19.05	2	.642	.768	.763	.920
23-04.50	4	.562	.824	.845	.881
23-08.15	5	.436	.595	.985	.911
23-11.10	6	.544	.739	.742	.885
23-17.15	7	.488	.594	.985	.975
23-20.20	8	.143	.480	.773	.829
23-23.00	9	.414	.696	.846	.850
24-08.10	10	.011	.066	.214	.789
24-12.35	11	.001	.088	.300	.460
24-21.50	12	.128	.133	.717	.762
25-09.40	13	.381	.627	.652	.692
25-20.05	14	.241	.855	.925	.926
26-10.00	15	.046	.605	.668	.752

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
22-14.30	1	-4.845	-2.816	-1.428	-1.339
22-19.05	2	-3.792	-1.588	.254	1.869
23-04.50	4	3.852	-2.593	-.750	.971
23-08.15	5	2.938	-1.271	2.476	-.354
23-11.10	6	1.791	-1.073	.136	-.689
23-17.15	7	1.993	.615	-.148	-.728
23-20.20	8	1.080	1.536	-1.431	-.630
23-23.00	9	1.278	1.049	-.764	-.138
24-08.10	10	.256	.583	-.952	1.741
24-12.35	11	-.036	.383	.474	-.413
24-21.50	12	-1.229	.250	2.623	-.727
25-09.40	13	-1.422	1.145	-.363	-.461
25-20.05	14	-1.343	2.143	.724	-.832
26-10.00	15	-.634	2.217	.749	.856



SOURCE DU BLAGOUR

Description des variations chimiques
crue du 2.10.81

Cette crue est complexe et formée de deux impulsions. La première est très peu marquée, elle correspond au point 6. La seconde est beaucoup plus marquée et correspond au point 13. Le débit maximal est de l'ordre de $4m^3/s$.

La minéralisation présente deux point bas. Le premier est situé en fin de crue après la première impulsion (il correspond à la minéralisation la plus faible). Le second correspond à la pointe de la seconde impulsion.

Avant le premier point bas la minéralisation reste constante. Après le prélèvement 9 elle remonte jusqu'à 12. A partir de 14 la minéralisation croît jusqu'à la fin des prélèvements sans toutefois retrouver la valeur précédant la crue.

La description sera effectuée à partir de "l'ACP 2 Blagour crue du 2.10.81". Pour ce traitement nous avons éliminé la pCO_2 et le DpH car ces deux variables possèdent des valeurs inexplicables à partir du prélèvement 19, probablement à cause de mesures érronées du pH.

Jusqu'au point 8 les prélèvements se regroupent. Les variations sont très faibles. K^+ , Na^+ et Cl^- ont tendance à diminuer. HCO_3^- , Mg^{2+} et Ca^{2+} restent constants. Seul SO_4^{2-} augmente faiblement.

A partir du point 9, Ca^{2+} et HCO_3^- chutent. K^+ et T augmentent fortement. Mg^{2+} , Cl^- , Na^+ augmentent faiblement. SO_4^{2-} et SiO_2 restent constants.

De 9 à 12 la situation semble revenir vers le point 8.

Le point 13 se raccroche au même type de variations. Entre 13 et 14, la concentration de tous les éléments et la température chutent brutalement. A partir du point 14 HCO_3^- et Ca^{2+} réaugmentent rapidement, Mg^{2+} et T plus lentement. Les autres ions ont des variations plus compliquées mais les concentrations tendent à revenir aux alentours des teneurs existant avant la crue. Toutefois elles sont souvent plus faibles.

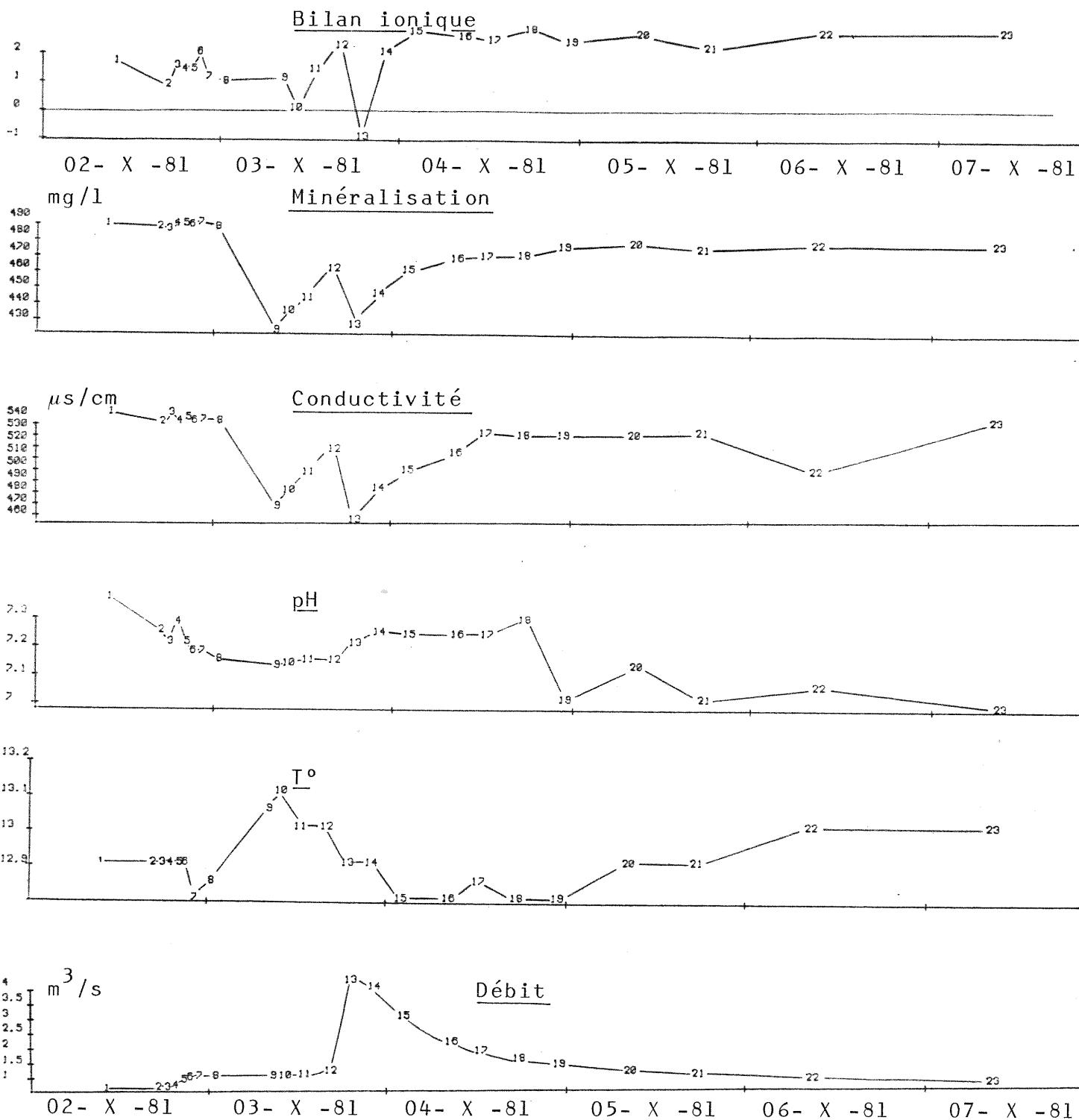
Les facteurs F1 et F2 sont identiques, à une inversion près, à ceux de la crue précédente. Le magnésium est mieux représenté par le facteur F1. Le débit disparaît pratiquement du facteur F1.

Ainsi les variations chimiques de Mg^{2+} , SiO_2 , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ et la température ne sont pas corrélées au débit. En revanche HCO_3^- et Ca^{2+} lui sont inversement corrélées.

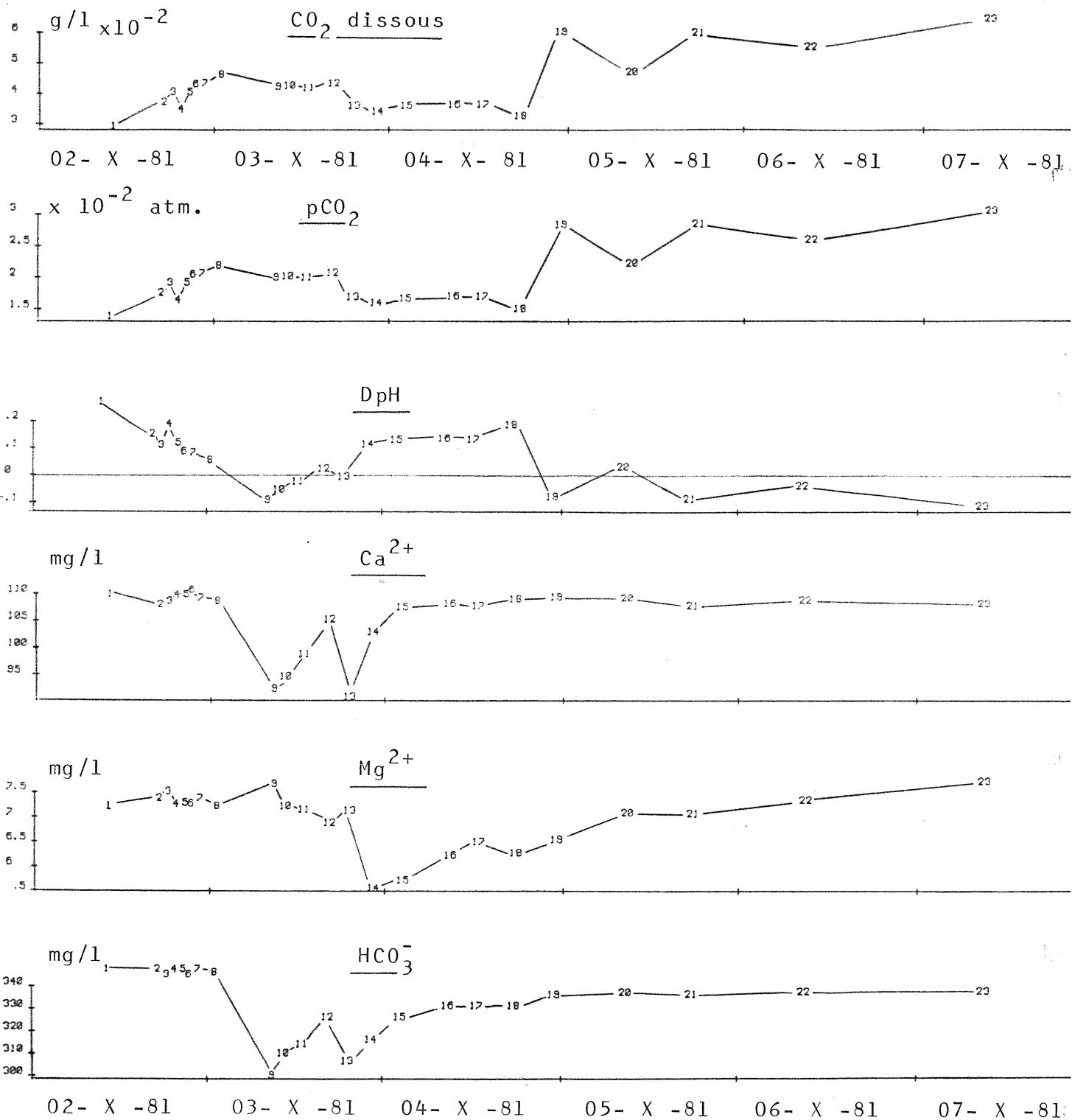
Le début de la première crue traduit certainement un effet de chasse. Il est différent de celui observé sur la crue du 2-10-81 puisque les teneurs en K^+ , Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} y sont importantes.

La présence du magnésium sur le facteur F1 montre que les dolomies hettangiennes jouent un rôle dans ces écoulements.

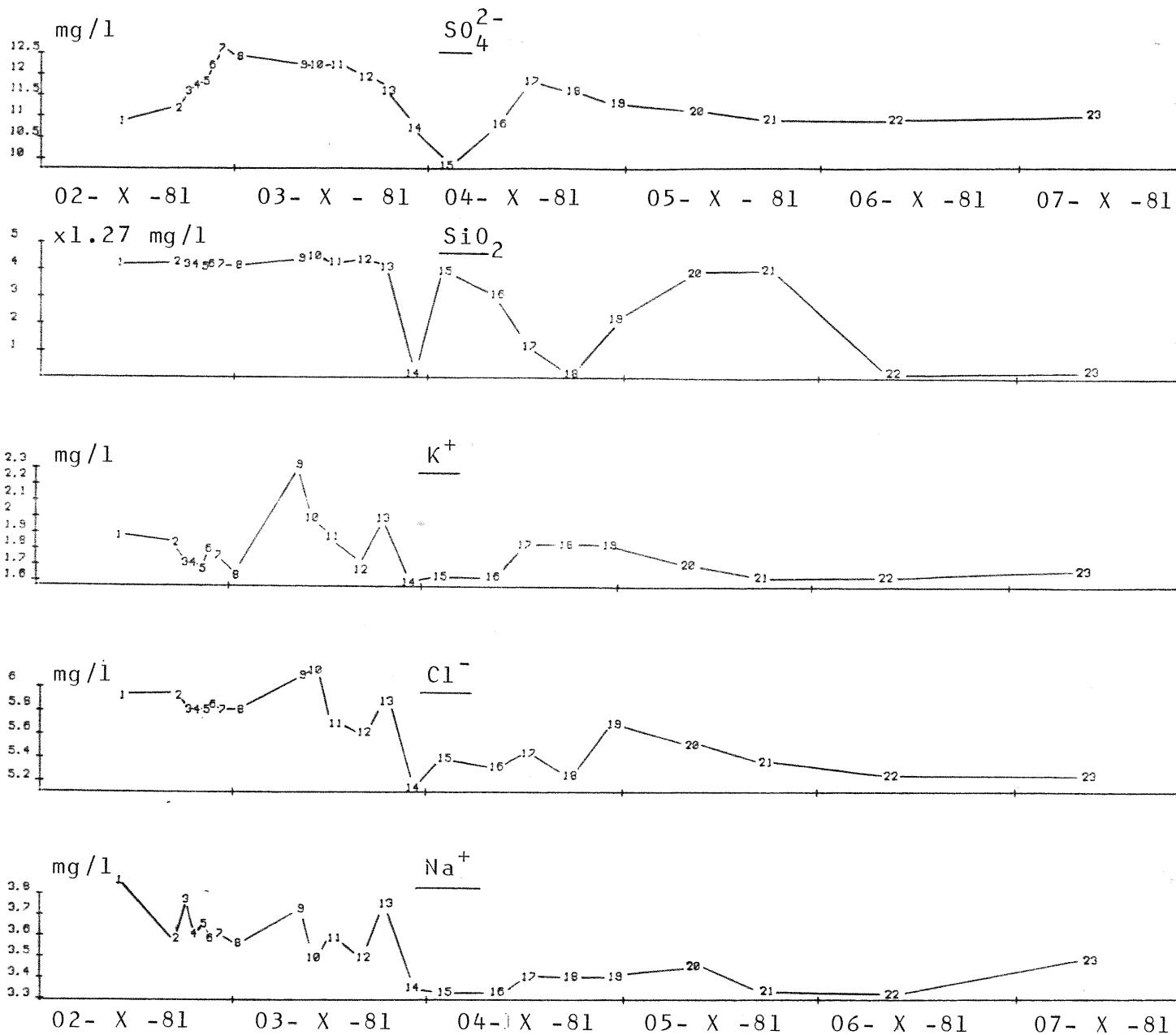
BLAGOUR 02-10-81



BLAGOUR 2-10-81



BLAGOUR 02-10-81



MATRICE DES CORRELATIONS

BLA GOUR
Crue du 02-10-81
ACP 2

	T	CI-	SO4--	HC03-	K+	Nat	Mg++	Ca++	SiO2	8
T	1.000	.310	.260	-.462	.402	.200	.516	-.566	.125	-.278
CI-	.310	1.000	.502	-.049	.548	.272	.582	-.389	.220	-.333
SO4--	.260	.502	1.000	-.043	.430	.454	.526	-.261	.350	-.367
HC03-	-.462	-.049	-.043	1.000	-.521	.084	.228	.501	.036	-.508
K+	.402	.548	.430	-.521	1.000	.502	.344	-.206	.276	-.048
Nat	.200	.272	.454	.084	.502	1.000	.613	-.255	.568	-.248
Mg++	.516	.582	.526	.228	.344	.613	1.000	-.184	.391	-.693
Ca++	-.566	-.389	-.261	.901	-.206	-.255	-.184	1.000	-.217	-.484
SiO2	.125	.220	.350	.038	.226	.569	.391	-.217	1.000	-.250
8	-.278	-.333	-.362	-.538	-.049	-.248	-.093	-.404	-.250	1.000

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR.PROPRE	4.31	2.69	1.19	.64
VAR.EXPRIMEE.%	43.09	26.89	11.87	6.40
VAR.CUMULEE.%	43.09	69.98	61.85	66.25

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

1	.0425	2	.0185	3	.0255	4	.0156	5	.0180
6	.0179	7	.0328	8	.0233	9	.1420	10	.0622
11	.0302	12	.0138	13	.1012	14	.1117	15	.0832
16	.0386	17	.0205	18	.0437	19	.0175	20	.0075
21	.0206	22	.0496	23	.0442				

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.584	-.273	-.654	-.293
CI-	.983	.139	.393	-.035
SO4--	.694	.168	-.033	.583
HC03-	-.250	.346	.034	.006
K+	.756	-.413	.036	.212
Nat	.771	.223	.325	-.044
Mg++	.741	.447	-.346	-.063
Ca++	-.569	.803	.011	.046
SiO2	.652	.216	.480	-.386
8	-.388	-.747	.432	.003

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
02-10.00	1	.0126	.0456	.0322	.0603
02-16.50	2	.0081	.0336	.0036	.0226
02-16.10	3	.0133	.0535	.0059	.0126
02-19.10	4	.0035	.0494	.0026	.0018
02-20.20	5	.0039	.0512	.0053	.0003
02-21.10	6	.0032	.0385	.0042	.0185
02-22.20	7	.0066	.0570	.0066	.1170
03-00.40	8	.0020	.0481	.0138	.0346
03-08.30	9	.2439	.1073	.0126	.0240
03-10.30	10	.1168	.0631	.0033	.0081
03-13.00	11	.0403	.0232	.0141	.0023
03-16.30	12	.0024	.0004	.0119	.0147
03-18.15	13	.0445	.2024	.1246	.0003
03-22.30	14	.1407	.1619	.0004	.0003
04-02.25	15	.1123	.0338	.1119	.1573
04-06.45	16	.0747	.0040	.0226	.0039
04-12.30	17	.0192	.0056	.0012	.1542
04-17.30	18	.0539	.0050	.0020	.2312
04-23.00	19	.0151	.0004	.0125	.0426
05-08.45	20	.0051	.0066	.0003	.0002
05-17.45	21	.0193	.0038	.0112	.0678
06-03.00	22	.0357	.0003	.2684	.0058
07-08.50	23	.0110	.0047	.2563	.0045

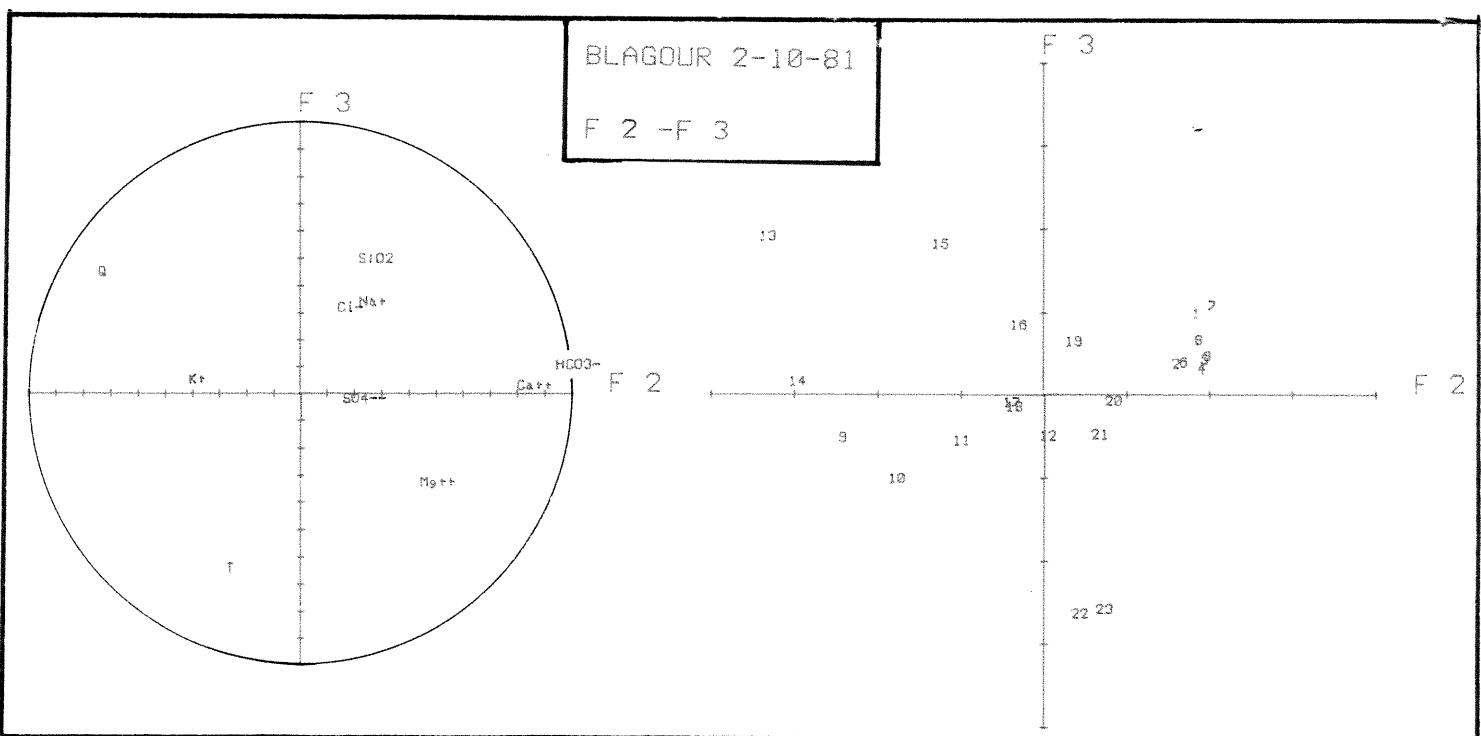
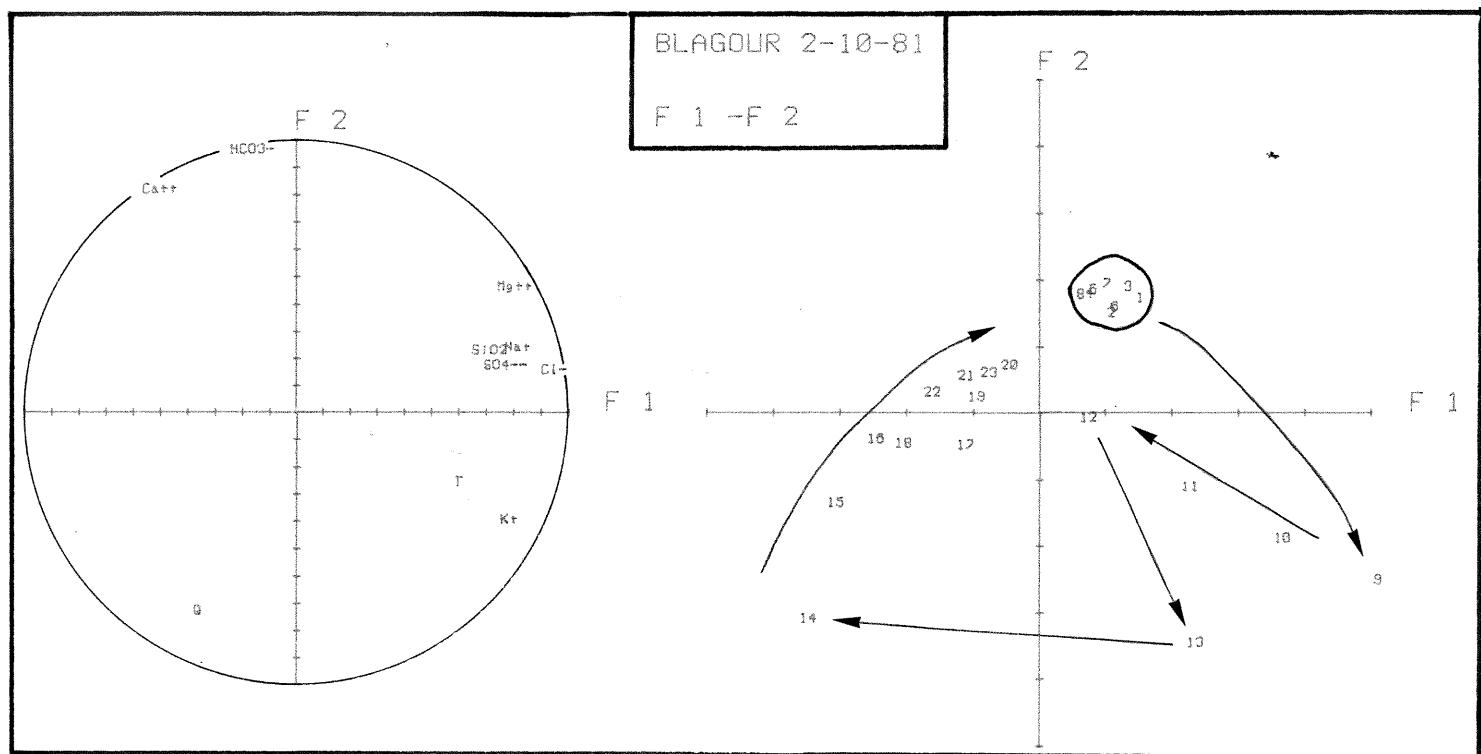
CARRES DES CORRELATIONS MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.341	.415	.856	.946
CI-	.815	.894	.926	.927
SO4--	.481	.587	.583	.856
HC03-	-.062	.962	.971	.971
K+	.572	.742	.744	.789
Nat	.595	.645	.758	.752
Mg++	.549	.749	.868	.872
Ca++	.324	.969	.969	.971
SiO2	.425	.472	.782	.851
8	.145	.703	.869	.883

CARRES DES M. COS. DES US AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
02-10.00	1	1.321	1.673	.934	-.942
02-16.50	2	.899	1.445	.313	-.637
02-16.10	3	1.148	1.619	.482	-.431
02-19.10	4	.587	1.747	.267	-.163
02-20.20	5	.624	1.788	.380	-.116
02-21.10	6	.953	1.542	.332	.522
02-22.20	7	.821	1.678	1.026	1.312
03-00.40	8	.446	1.725	.615	.714
03-08.30	9	4.316	-2.577	-.588	.266
03-10.30	10	3.493	-1.975	-1.067	-.344
03-13.00	11	2.014	-1.185	-.621	.066
03-16.30	12	.469	-.161	-.570	-.465
03-19.15	13	2.181	-3.538	1.846	-.061
03-22.30	14	-3.734	-3.164	.108	.112
04-02.25	15	-3.337	-1.446	1.748	-.1521
04-08.45	16	-2.722	-.497	.785	-.239
04-12.30	17	-1.379	-.587	-.179	1.502
04-17.30	18	-2.311	-.555	-.235	1.644
04-23.00	19	-1.222	.166	.584	.792
05-08.45	20	-.769	.640	-.158	-.667
05-17.45	21	-1.382	.483	-.532	-.993
06-03.00	22	-1.882	.232	-2.782	-.292
07-08.30	23	-1.845	.536	-2.645	-.258

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
02-10.00	1	.173	.467	.556	.647
02-16.50	2	.198	.680	.703	.798
02-16.10	3	.224	.788	.815	.847
02-19.10	4	.096	.948	.968	.926
02-20.20	5	.094	.865	.900	.903
02-21.10	6	.221	.800	.827	.893
02-22.20	7	.089	.558	.697	.726
03-00.40	8	.037	.592	.662	.757
03-08.30	9	.748	.943	.954	.956
03-10.30	10	.612	.819	.881	.887
03-13.00	11	.585	.767	.843	.844
03-16.30	12	.060	.089	.197	.269
03-19.15	13	.190	.222	.874	.874
03-22.30	14	.343	.933	.933	.933
04-02.25	15	.582	.691	.850	.971
04-08.45	16	.834	.862	.931	.938
04-12.30	17	.403	.475	.482	.963
04-17.30	18	.531	.562	.562	.906
04-23.00	19	.371	.378	.463	.616
05-08.45	20	.291	.526	.542	.800
05-17.45	21	.403	.452	.516	.727
06-03.00	22	.310	.315	.952	.965
07-08.30	23	.107	.136	.624	.630



SOURCE DU BLAGOUR

Description des variations chimiques.
crue du 07.12.81

Les prélèvements ont été réalisés durant une série de crues survenant au mois de décembre 1981. Les épisodes pluvieux étaient séparés par des périodes froides. Quelques chutes de neige ont été enregistrées. Huit pointes de crue peuvent être dénombrées dont deux atteignent $12\text{m}^3/\text{s}$. Cet ensemble de crues intervient après une période non influencée d'une quinzaine de jours.

La minéralisation chute brusquement pour la première pointe de crue pourtant relativement faible ($2\text{m}^3/\text{s}$). Ensuite, elle remonte sans toutefois atteindre les valeurs précédant la crue. La seconde pointe de crue est marquée par une baisse plus faible de la minéralisation bien que la crue atteigne $4\text{m}^3/\text{s}$. La montée de crue suivante est relativement lente et la minéralisation baisse également lentement. Ensuite surviennent les deux grandes pointes de crue qui sont marquées par des points bas de la minéralisation. Pendant la fin de l'observation la minéralisation remonte et se stabilise autour de $350\text{--}400\text{mg/l}$.

Cet ensemble de crues est surtout caractérisé par une baisse de la pCO_2 équilibrante lors de la première pointe de crue atteignant $12\text{m}^3/\text{s}$. Avant cette date la pCO_2 variait entre $1,5$ et $2,5 \times 10^{-2}\text{ atm}$. Après cette date elle se stabilise autour de $1 \times 10^{-2}\text{ atm}$. Le DpH est soit fortement inférieur à zéro pendant les pointes de crue, soit constant et proche de zéro.

Pour décrire d'ensemble de ces variations nous allons employer l'ACP2 (Blagour crue du 7.12.81) et l'ACP3 (Blagour crue du 07.12.81).

L'ACP2 permet d'analyser les US 1 à 25 et l'ACP 3 les US 27 à 40.

Le facteur F1 de l'ACP2 oppose les forts débits associés à des augmentations en sulfates, en potassium et en pCO_2 à des diminutions de Ca^{2+} et HCO_3^- mais également Mg^{2+} , Na^+ et SiO_2 . Ce facteur peut être interprété comme le temps de séjour. Cet axe oppose les prélèvements de basses eaux relatives à ceux des pointes de crue.

Le facteur F2 sépare T, Ca^{2+} , HCO_3^- et Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ , SiO_2 et K^+ et cela indépendamment du débit. La première pointe de crue détermine fortement ce facteur. Elle apporte des eaux froides peu minéralisées et marquées par les éléments caractéristiques du Lias et du Trias. Les décrues suivantes déterminent l'autre extrémité de l'axe avec des eaux plus chaudes et chargées en Ca^{2+} et HCO_3^- . Tout se passe comme si la première pointe de crue ne mobilisait qu'une majorité d'eau liée à la surface. Ensuite c'est le mode de fonctionnement associé au facteur F1 qui prédomine, avec une forte dilution des différents minéraux. En décrue se sont des eaux peu marquées par la surface, mais ayant séjourné dans l'aquifère, qui apparaissent à l'exutoire.

Grâce à cette analyse on peut donc mettre en évidence un bon drainage entre la surface et l'exutoire et paradoxalement des temps de séjour long au sein de l'aquifère. De plus, selon l'intensité de la pluie et la position de celle-ci dans le cycle ce ne sont pas les mêmes zones qui alimentent de façon prioritaire l'exutoire.

Comme nous l'avons vu précédemment, la fin de cet épisode de crue est marqué par un appauvrissement de la pCO_2 équilibrante.

Le facteur F1 de l'ACP3 est assez proche de celui de l'ACP2. Il oppose le débit associé à K^+ et SO_4^{2-} à HCO_3^- , DpH, Ca^{2+} , Na^+ et à la température. S'il exprime bien le même phénomène lié au temps de séjour il faut remarquer que les éléments caractéristiques de la surface n'y sont plus liés. De plus, la pCO_2 présentant peu de variations elle est mal représentée par ce facteur.

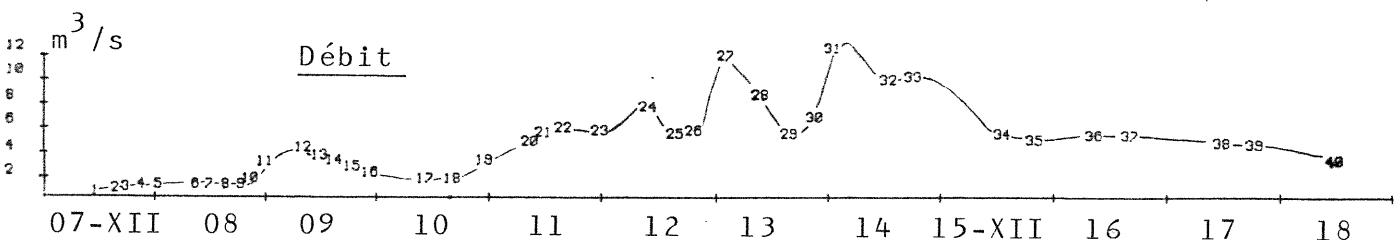
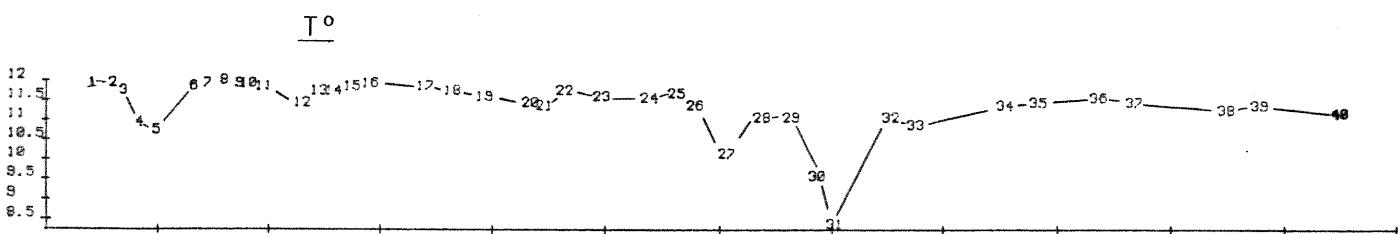
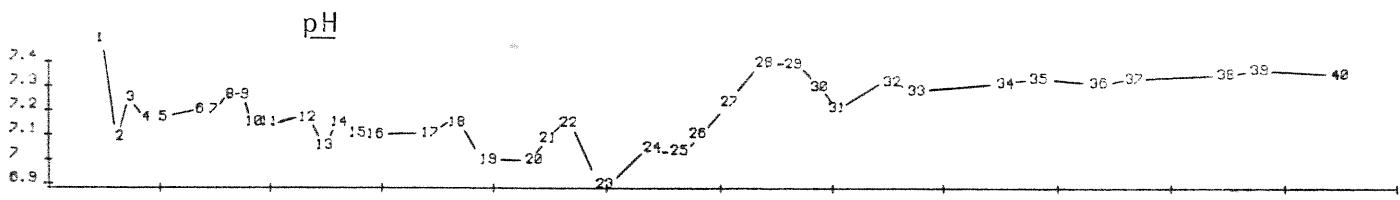
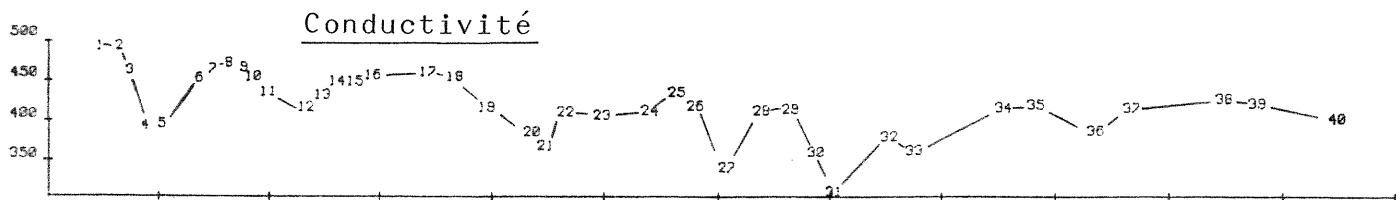
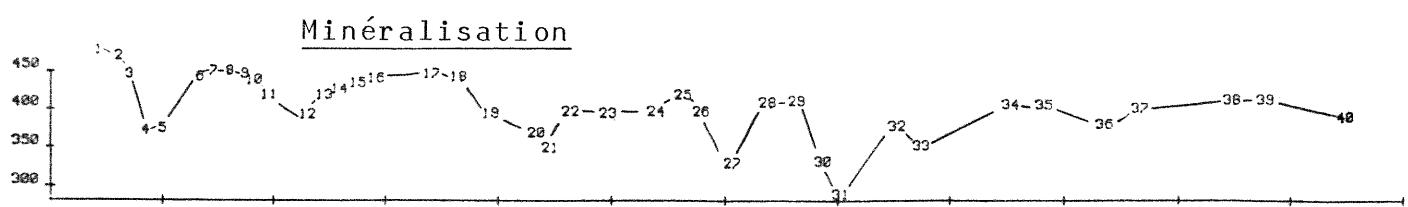
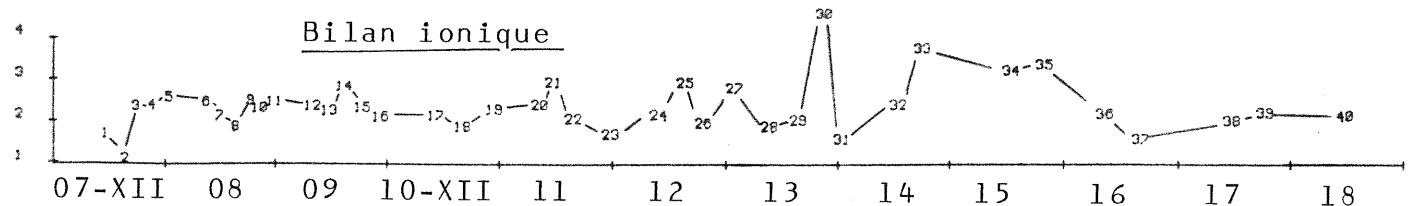
Le facteur F2 associe Mg^{2+} et SiO_2 et l'oppose faiblement au débit. En fait, Mg^{2+} et SiO_2 présentent peu de variations dans cette partie de la crue. Leurs variations paraissent indépendantes des autres variations. Il en est de même de Cl^- qui, comme nous l'avons déjà remarqué, détermine à lui seul un facteur (ici F3).

Ainsi en fin de crue l'information liée à la surface disparaît et seule celle liée au karst par lui même persiste.

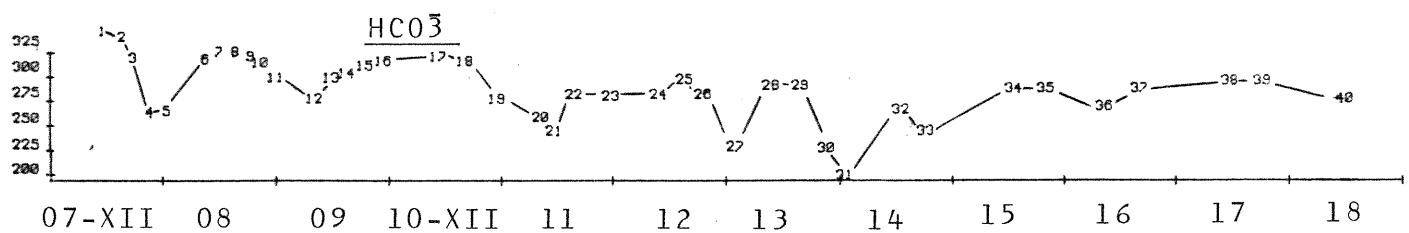
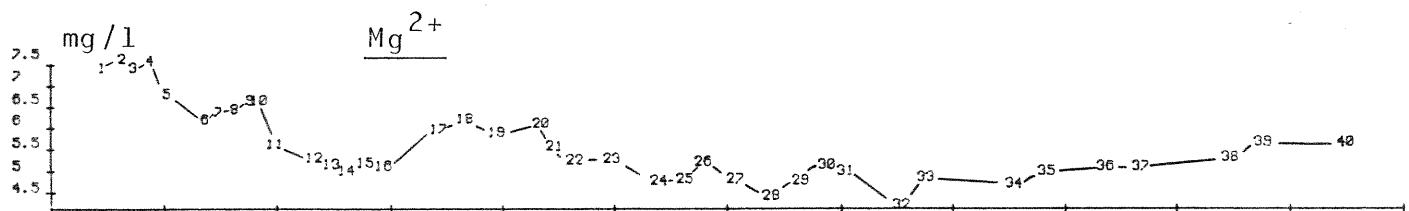
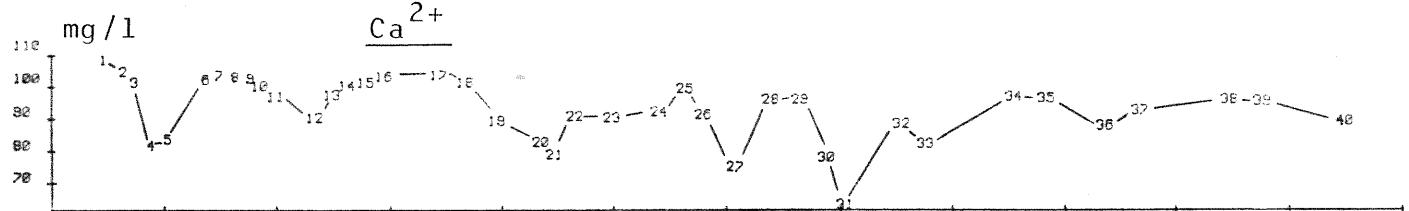
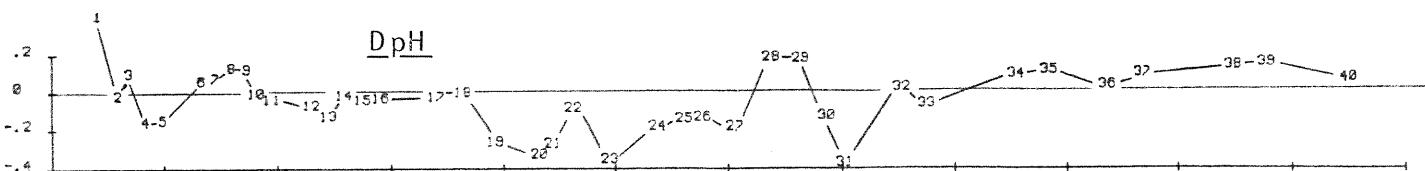
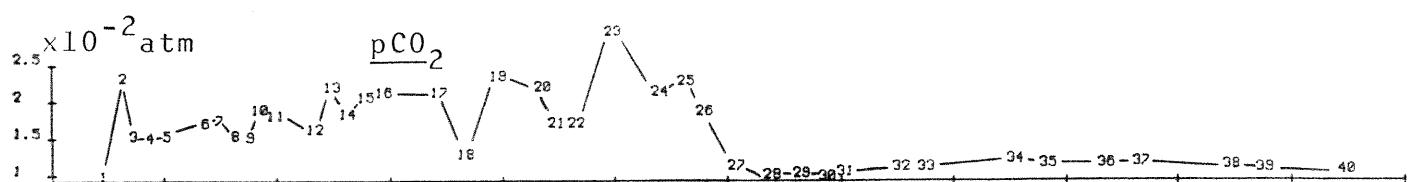
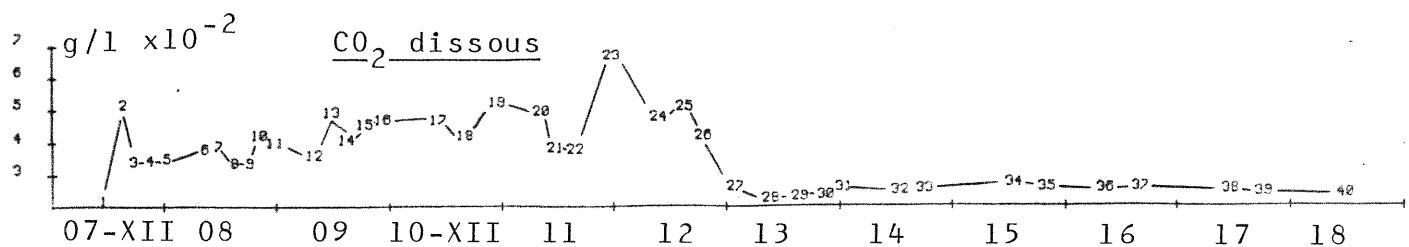
Tout se passe comme si du fait de la forte mise en charge due à la crue le réservoir de CO_2 s'était vidangé en

partie avec l'ensemble des éléments qui lui étaient liés. Toutefois K^+ et SO_4^{2-} semblent continuer à être léssivés à chaque impulsion. La présence de Cl^- sur un autre facteur doit être lié aux variations de ces teneurs dans l'eau de pluie (ce qui ne semble pas être le cas de SO_4^{2-}). Na^+ semble avoir un mode d'aquisition plus complexe. De plus la pCO_2 équilibrante présente à la fin de la crue est malgré tout importante. Elle peut fort bien représenter la pCO_2 présente dans l'aquifère lui même (cf. pCO_2 dans le réseau spéléologique annexe VIII).

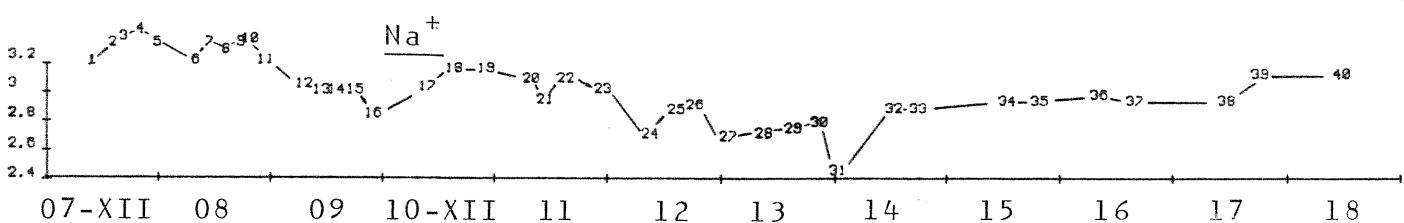
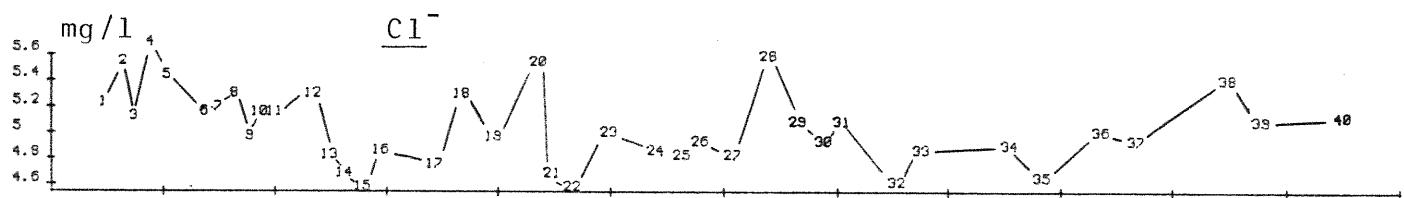
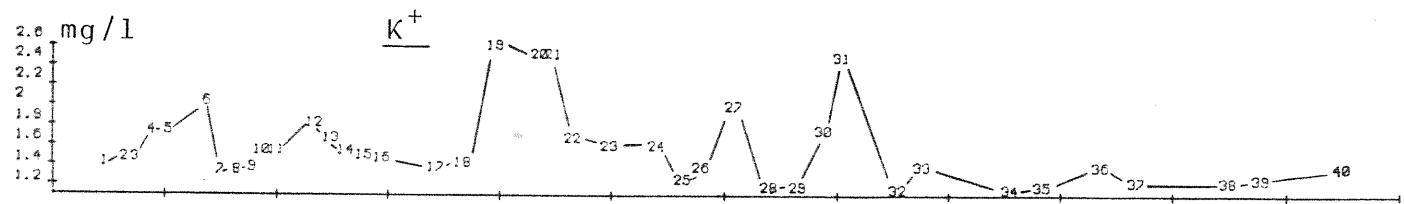
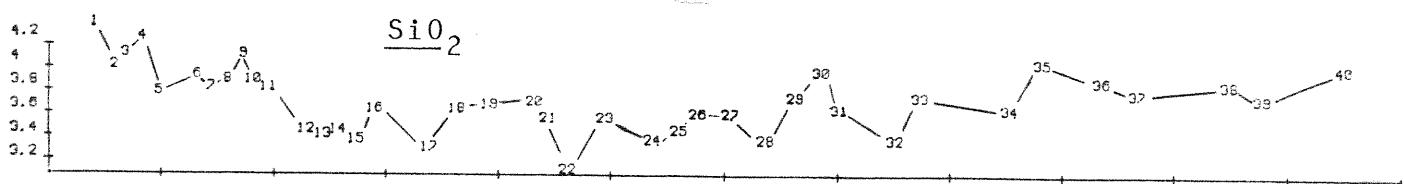
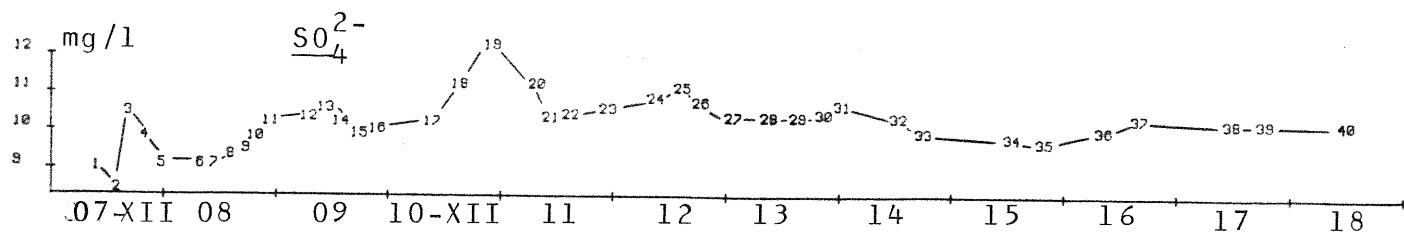
BLAGOUR 7-12-81



BLAGOURE 7-12-81



BLAGOUR 07-12-81



MATRICE DES CORRELATIONS

BLAGOUR 07-12-81

ACP 2

U.S 1 ----> 25

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR.PROPRE	5.86	3.21	.98	.88
VAR.EXPRIMEE.%	48.80	26.75	7.46	5.63
VAR.CUMULEE.%	48.80	75.54	83.00	86.63

	T	CL-	SO4--	HC03-	K+	Nat	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DpH	pCO2
T	1.000	-.320	-.174	.804	-.446	-.021	-.065	.852	.827	-.224	.525	.844
CL-	-.320	1.000	-.299	.013	.075	.638	.712	-.153	.626	-.468	.028	-.254
SO4--	-.174	-.299	1.000	-.498	.418	-.503	-.520	-.393	-.492	.610	-.586	.362
HC03-	.804	.013	-.498	1.000	-.680	.296	.339	.970	.355	-.636	.832	-.220
K+	-.446	.075	.418	-.680	1.000	-.112	-.081	-.714	-.086	.322	-.587	.159
Nat	-.021	.638	-.503	.296	-.112	1.000	.868	.126	.750	-.282	.414	-.458
Mg++	-.065	.712	-.520	.339	-.081	.868	1.000	.131	.859	-.271	.443	-.428
Ca++	.852	-.153	-.383	.970	-.714	.126	.131	1.000	.195	-.510	.789	-.154
SiO2	.027	.626	-.492	.355	-.096	.750	.859	.185	1.000	-.710	.505	-.462
Q	-.224	-.468	.610	-.636	.322	-.282	-.271	-.510	-.710	1.000	-.624	.436
DpH	.525	.020	-.586	.832	-.587	.414	.443	.789	.505	-.674	1.000	-.680
pCO2	.044	-.254	.362	-.220	.159	-.458	-.420	-.154	-.462	.496	-.680	1.000

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.429	-.266	.225	.316
CL-	.430	.218	.276	-.090
SO4--	-.219	-.052	.054	.496
HC03-	.884	-.552	.166	.861
K+	-.596	.543	.033	.497
Nat	.793	.523	.120	.047
Mg++	.759	.563	.136	.066
Ca++	.682	-.783	.118	.074
SiO2	.755	.482	.117	.152
Q	-.893	-.181	-.021	-.058
DpH	.872	-.317	-.324	.104
pCO2	-.526	-.237	.252	-.148

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

1	.1016	2	.0638	3	.0332	4	.0879	5	.0689
6	.0192	7	.0261	8	.0295	9	.0316	10	.0148
11	.0036	12	.0121	13	.0147	14	.0157	15	.0217
16	.0222	17	.0205	18	.0203	19	.0591	20	.0673
21	.0062	22	.0361	23	.0530	24	.0594	25	.0369

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
07-10.25	1	.1281	.0014	.0781	.0318
07-14.45	2	.0274	.0014	.2530	.0473
07-16.55	3	.0494	.00470438
07-20.20	4	.0055	.2958	.0011	.0322
07-23.55	51912	.0417	.2010
08-06.10	6	.0216	.0003	.0001	.0184
08-11.00	7	.0462	.0040	.0037	.0112
08-14.20	8	.0564	.0027	.0004	.0003
08-17.45	9	.0568	.0016	.0046	.0055
08-20.30	10	.02230250	.0049
08-23.50	11	.0007	.0003	.0002	.0011
08-27.45	12	.0145	.0068	.0411	.0053
08-11.25	13	.0163	.0268	.0033	.0001
08-14.40	14	.0039	.0392	.0279	.0002
08-18.26	15	.0024	.0021	.0031	.0022
08-22.28	16	.0003	.0024	.0036	.0016
10-18.00	17	.0001	.0524	.0032	.0041
10-15.50	18	.0062	.0007	.0211	.0389
10-22.20	19	.0549	.0208	.0067	.3501
11-08.15	20	.0610	.0350	.0455	.0629
11-18.50	21	.0003	.0368	.0050	.0165
11-15.10	22	.0356	.0182	.0560	.0013
11-22.50	23	.0656	.0008	.1910	.0643
12-08.50	24	.0890	.0229	.0102	.0244
12-14.20	25	.0944	.0495	.0019	.0187

CARRES DES CORRELATIONS MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

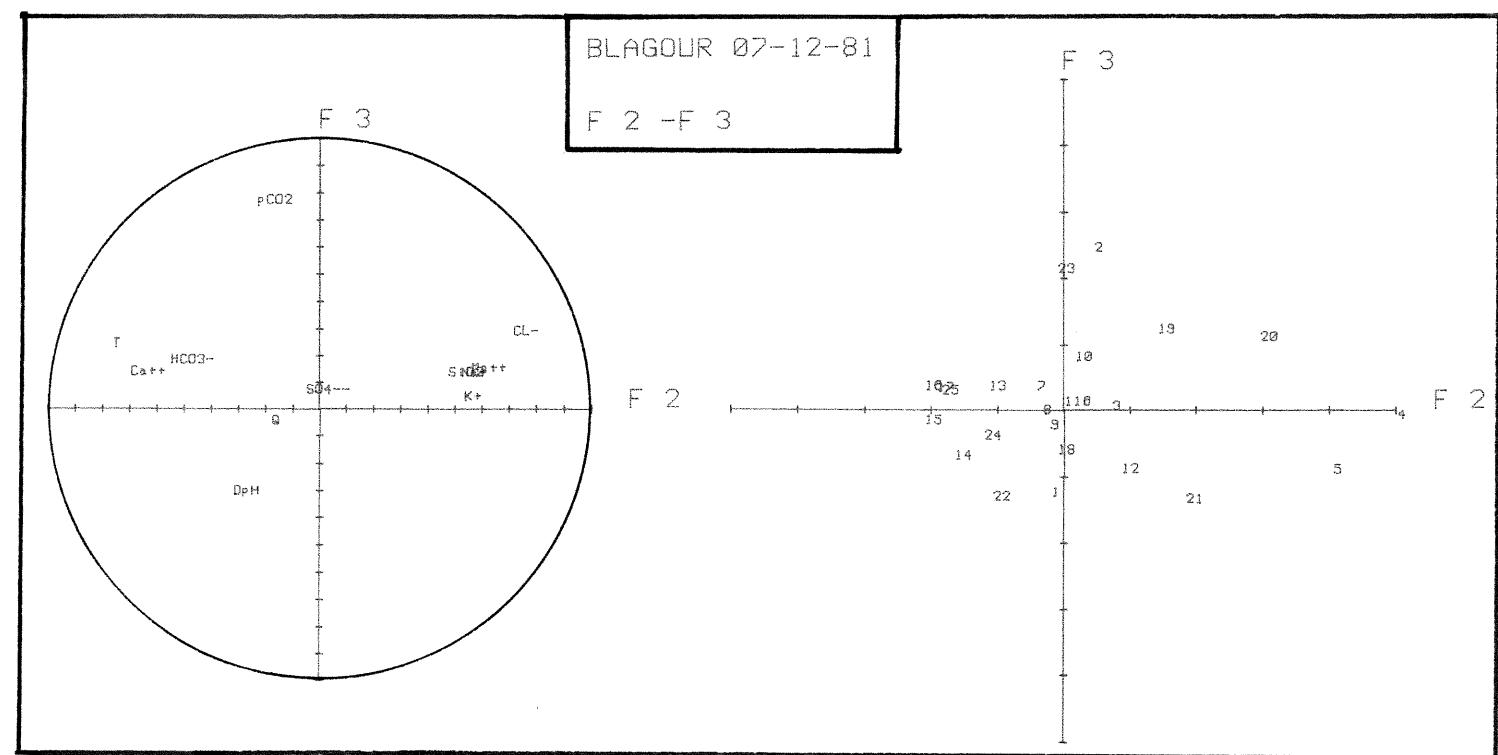
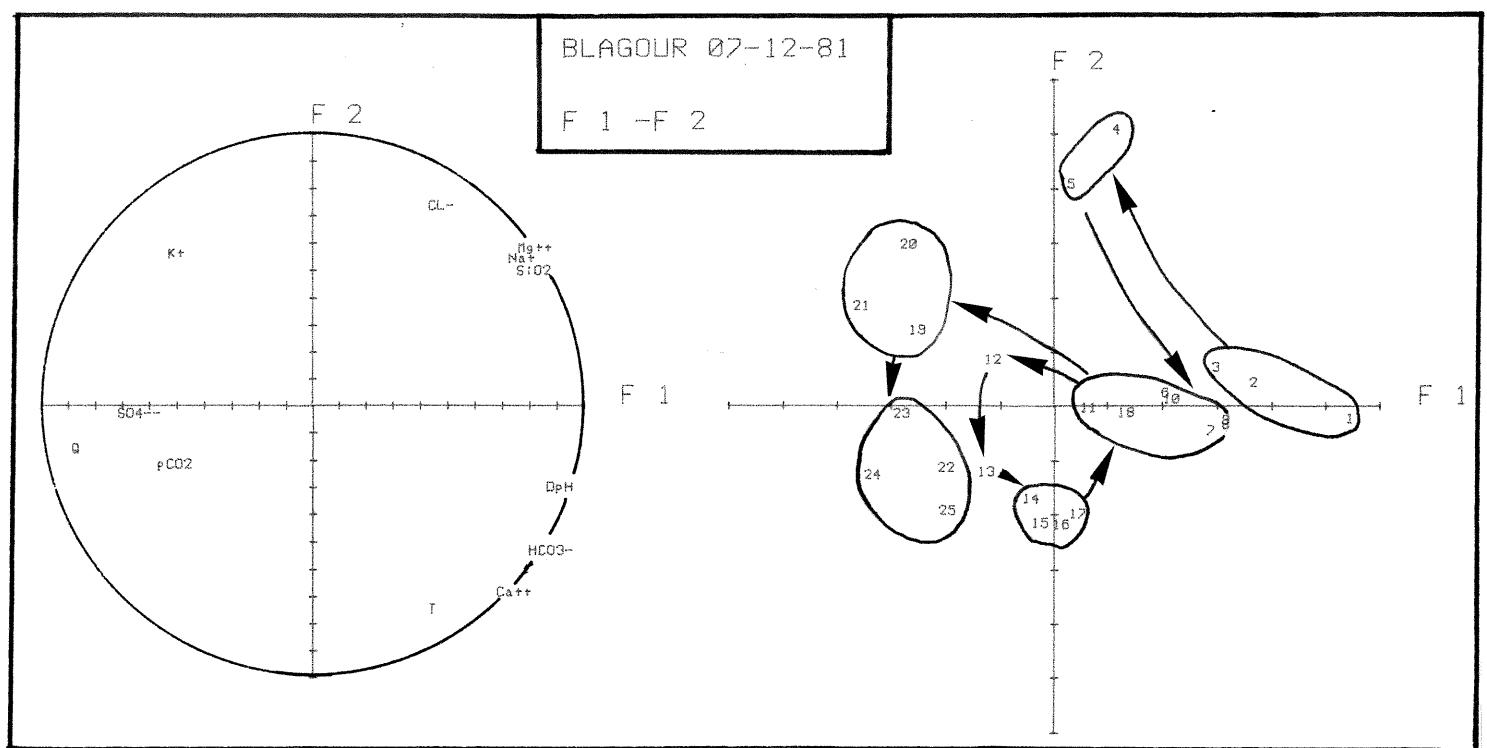
	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.184	.771	.821	.921
CL-	.185	.700	.726	.784
SO4--	.516	.519	.522	.768
HC03-	.646	.951	.978	.982
K+	.287	.582	.583	.830
Nat	.537	.811	.825	.828
Mg++	.572	.893	.912	.916
Ca++	.465	.959	.973	.979
SiO2	.528	.802	.816	.839
Q	.797	.830	.835	.838
DpH	.760	.900	.965	.976
pCO2	.332	.388	.394	.396

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
07-18.25	1	5.196	-.338	-1.322	.733
07-14.45	2	3.366	.331	2.379	-.893
07-16.55	3	2.685	.612	-.024	.860
07-20.20	4	.839	4.985	-.152	-.798
07-23.55	5	.058	3.817	-.966	-1.842
08-06.10	6	1.785	.151	.056	.557
08-11.00	7	2.680	-.564	.288	-.445
08-14.20	8	2.872	-.462	-.035	-.025
08-17.45	9	2.863	-.361	-.326	.304
08-20.30	10	1.887	.035	.748	.287
08-23.50	11	.315	-.152	.065	.136
08-07.45	12	-1.459	.741	-.959	-.293
09-11.25	13	-1.574	-1.290	.273	-.043
09-14.40	14	-.759	-1.785	-.798	-.188
09-18.20	15	-.590	-2.231	-.262	-.343
09-22.20	16	-.218	-2.237	.293	-.165
10-18.00	17	.118	-2.050	.278	-.262
10-15.50	18	.987	-.237	-.687	.811
10-22.20	19	-.2834	1.290	1.166	2.432
11-08.15	20	-2.389	2.818	1.052	1.031
11-10.50	21	-3.832	1.719	-1.411	.528
11-15.10	22	-2.282	-1.206	-1.367	-.146
11-22.50	23	-3.098	-.257	2.067	-1.042
12-08.50	24	-3.589	-1.354	-.479	-.642
12-14.20	25	-2.243	-1.592	.208	-.561

CARRES DES M.COS. DES US AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
07-18.25	1	.855	.859	.916	.934
07-14.45	2	.592	.598	.894	.936
07-16.55	3	.725	.763	.763	.937
07-20.20	4	.031	.943	.944	.968
07-23.55	5743	.788	.952
08-08.10	6	.539	.543	.543	.536
08-11.00	7	.864	.905	.916	.941
08-14.20	8	.913	.943	.944	.944
08-17.45	9	.076	.890	.901	.911
08-20.30	10	.732	.732	.863	.882
08-23.50	11	.893	.115	.119	.136
08-07.45	12	.416	.523	.703	.720
09-11.25	13	.563	.942	.959	.959
09-14.40	14	.122	.796	.928	.931
09-18.20	15	.054	.828	.831	.849
09-22.20	16	.007	.758	.771	.775
10-18.00	17	.002	.686	.698	.709
10-15.50	18	.160	.169	.247	.354
10-22.20	19	.453	.547	.624	.657
11-08.15	20	.443	.836	.891	.944
11-10.50	21	.643	.772	.859	.871
11-15.10	22	.481	.616	.794	.796
11-22.50	23	.816	.828	.894	.964
12-08.50	24	.731	.834	.846	.870
12-14.20	25	.454	.812	.816	.845



MATRICE DES CORRELATIONS

BLAGOUR 07-12-81
ACP 3
U.S 27 ----> 40

	T	Cl-	SO4--	HC03-	k+	Na+	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DpH	pCO2
T	1.000	.001	-.062	.901	-.523	.786	.051	.906	.125	-.683	.892	.302
Cl-	.001	1.000	.344	.252	-.048	-.102	.203	.193	-.122	-.163	.279	-.420
SO4--	-.062	.344	1.000	-.420	.529	-.549	-.003	-.546	-.341	.424	-.451	-.640
HC03-	.901	.252	-.420	1.000	-.912	.666	.105	.986	.986	-.769	.983	.295
k+	-.523	-.048	.529	-.912	1.000	-.683	.115	-.948	-.820	.653	-.936	-.292
Na+	.786	-.102	-.549	.666	-.683	1.000	.504	.656	.436	-.777	.652	.412
Mg++	.051	.203	-.003	.105	.115	.504	1.000	.026	.749	-.569	.059	.022
Ca++	.906	.193	-.546	.986	-.948	.656	.026	1.000	.081	-.249	.986	.290
SiO2	.125	-.122	-.341	.886	-.828	.436	.749	.081	1.000	-.628	.826	.113
Q	-.683	-.163	.424	-.269	.633	-.227	-.569	-.749	-.628	1.000	-.753	-.205
DpH	.892	.279	-.451	.983	-.936	.652	.059	.986	.026	-.253	1.000	.168
pCO2	.302	-.420	-.640	.255	-.292	.412	.022	.290	.113	-.205	.168	1.000

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR PROPRE	6.59	2.15	1.88	.54
VAR. EXPRIMEE, x	54.89	17.88	15.66	4.58
VAR. CUMULEE, x	54.89	72.77	88.43	92.93

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.953	-.120	-.115	.960
Cl-	.066	-.112	.865	.383
SO4--	-.665	-.053	.573	.027
HC03-	.941	-.212	.204	.054
k+	-.917	.331	-.001	.162
Na+	.856	.326	-.050	.014
Mg++	.229	.884	.290	.198
Ca++	.947	-.252	.138	-.036
SiO2	.385	.879	-.033	-.207
Q	-.847	-.337	-.232	.095
DpH	.927	-.248	.261	-.073
pCO2	.433	.050	-.717	.512

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

22	.0819	28	.1010	29	.0329	30	.0251	31	.2906
32	.0701	33	.0254	34	.0534	35	.0254	36	.0195
37	.0227	38	.0432	39	.0529	40	.0556		

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.968	.937	.951	.954
Cl-	.004	.017	.764	.911
SO4--	.443	.446	.774	.775
HC03-	.885	.938	.971	.974
k+	.841	.350	.950	.972
Na+	.859	.885	.813	.813
Mg++	.852	.834	.918	.957
Ca++	.897	.960	.979	.981
SiO2	.893	.867	.868	.910
Q	.718	.876	.929	.938
DpH	.853	.928	.988	.993
pCO2	.167	.190	.704	.966

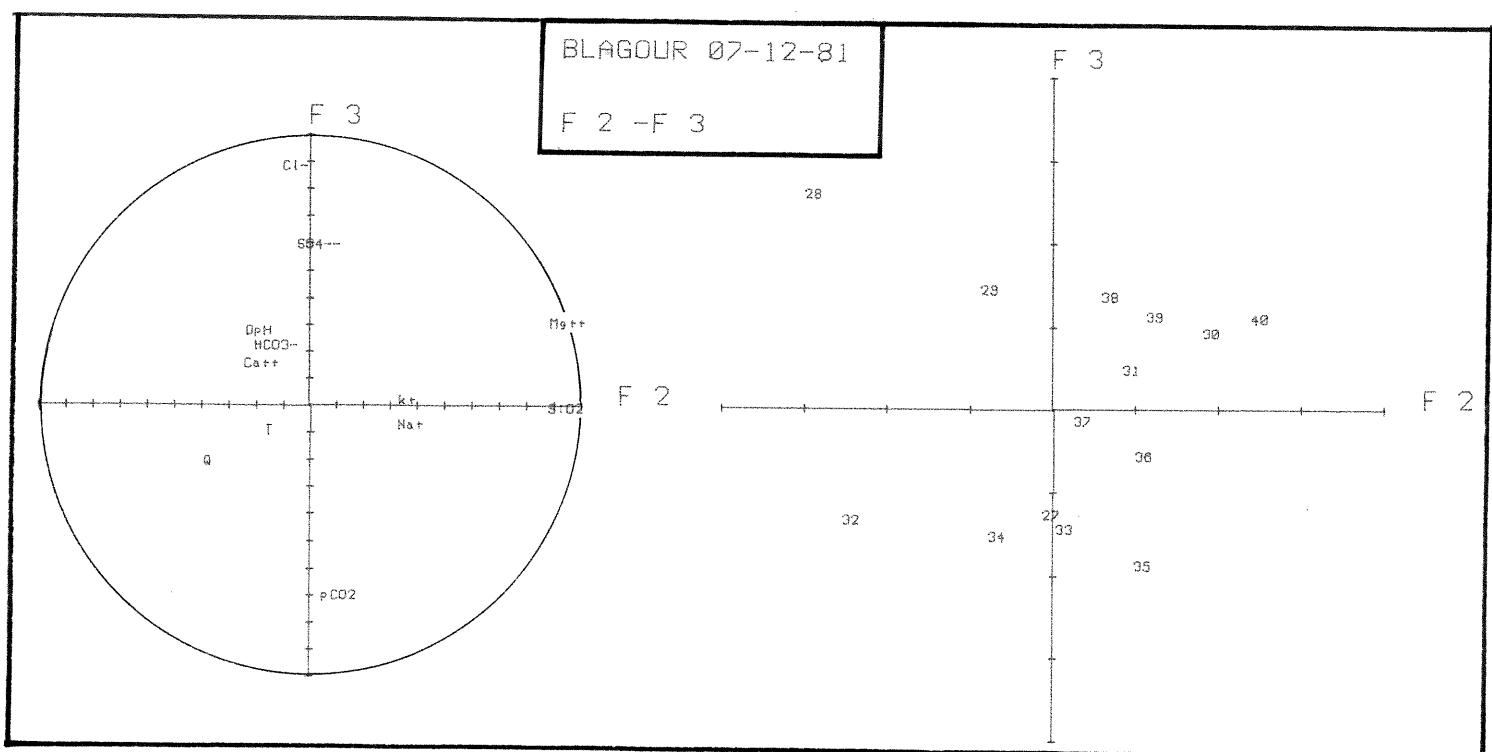
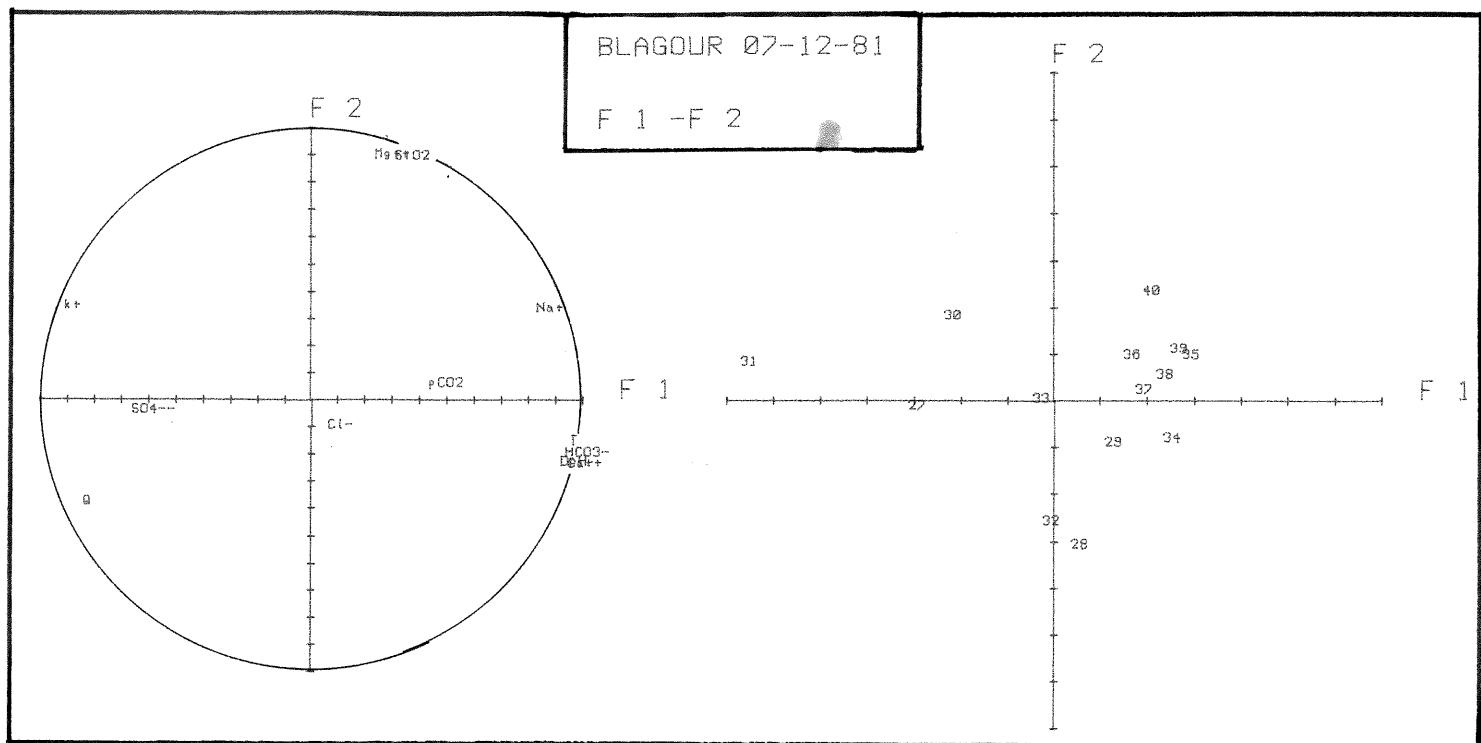
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
13-00.50	27	.1205	.0020	.0701	.0675
13-00.30	28	.0002	.3275	.2416	.0048
13-14.30	29	.0027	.0338	.0738	.1546
13-20.00	30	.0722	.0847	.0296	.2902
13-23.55	31	.5154	.0170	.0069	.0461
14-11.50	32	.0026	.2344	.0725	.0786
14-16.45	33	.0055	.0002	.0877	.0013
15-11.45	34	.0425	.0274	.0334	.0563
15-18.45	35	.0667	.0258	.1432	.0882
16-07.10	36	.0165	.0260	.0146	.0163
16-14.30	37	.0238	.0002	.0016	.0319
12-09.45	38	.0404	.0069	.0643	.1531
12-16.45	39	.0524	.0340	.0443	.0104
18-09.30	40	.0287	.1696	.0423	.0009

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
13-00.50	27	-.333	-.243	-.1358	.715
13-00.30	28	.132	-.3132	2.521	.174
13-14.30	29	.840	-.1008	1.393	-.1082
13-20.00	30	-.2388	1.887	.883	-.1482
13-23.55	31	-.6854	.714	.425	.591
14-11.50	32	-.493	-.2654	-.1428	-.771
14-16.45	33	-.713	-.084	-.1.519	-.099
15-11.45	34	2.093	-.907	-.1.617	.656
15-18.45	35	2.480	.881	-.1.941	-.817
16-07.10	36	1.232	.884	-.620	.351
16-14.30	37	1.481	.141	-.286	.451
17-09.45	38	1.931	.457	1.325	1.076
17-16.45	39	2.197	1.010	1.079	.281
18-09.30	40	1.626	2.257	1.062	-.084

CARRES DES M. COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
13-00.50	27	.807	.812	.946	.983
13-00.30	28	.001	.581	.955	.957
13-14.30	29	.128	.311	.602	.873
13-20.00	30	.527	.753	.814	.988
13-23.55	31	.974	.984	.968	.995
14-11.50	32	.021	.619	.792	.842
14-16.45	33	.119	.121	.661	.663
15-11.45	34	.488	.580	.821	.919
15-18.45	35	.486	.547	.844	.892
16-07.10	36	.483	.701	.818	.856
16-14.30	37	.574	.579	.598	.653
17-09.45	38	.513	.542	.784	.943
17-16.45	39	.543	.658	.789	.798
18-09.30	40	.283	.829	.949	.958



SOURCE DU BLAGOUR

Description des variations chimiques des eaux
crue du 01.04.82

Cette crue est la dernière des hautes eaux. La pointe de crue ne dépasse pas $2\text{m}^3/\text{s}$.

Dès le début de la crue la minéralisation baisse puis, après la pointe de crue, remonte pour atteindre une valeur proche de celle existant avant le début de la crue.

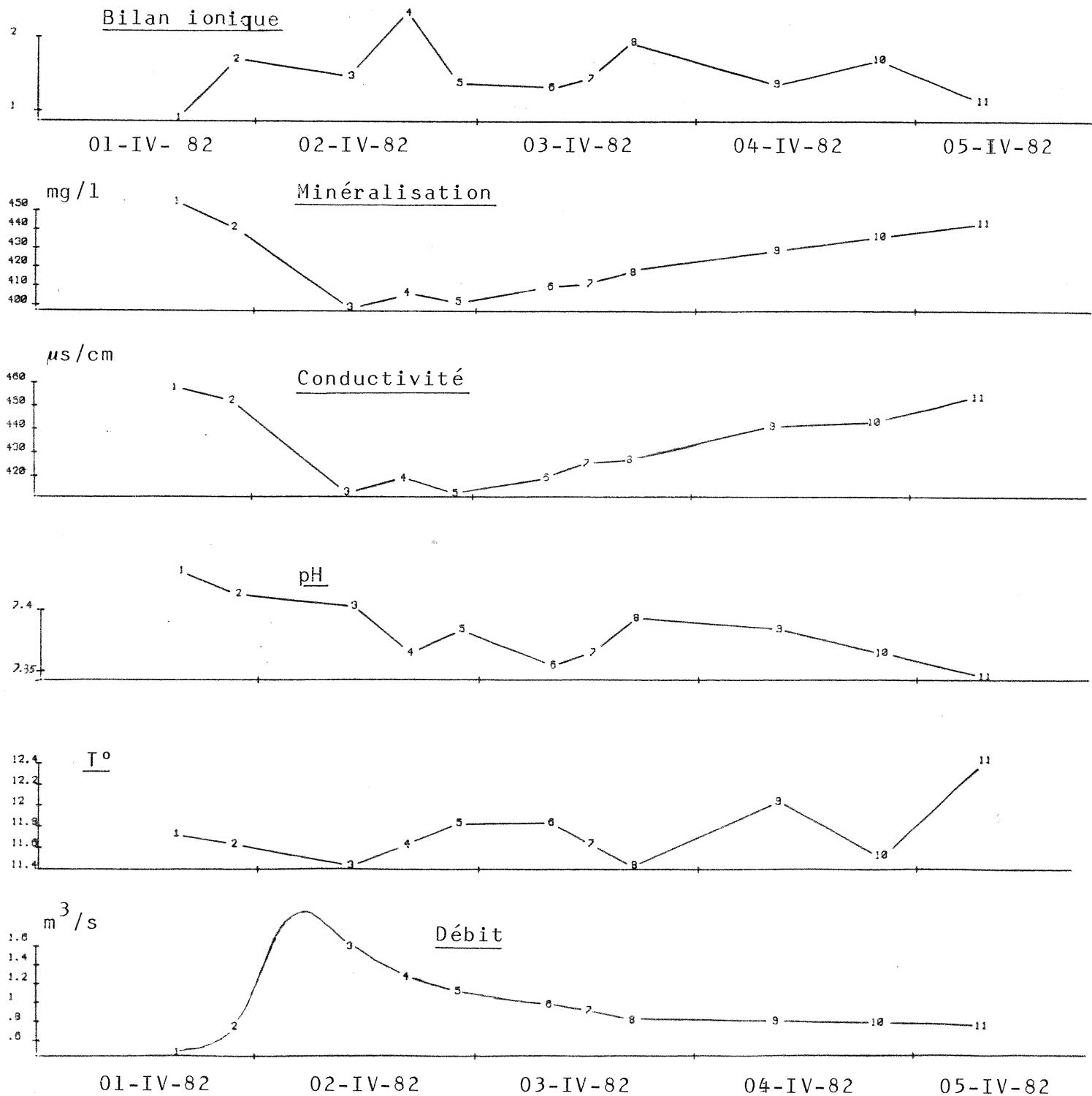
Le DpH reste légèrement positif durant toute la crue. Nous employerons le plan F1-F2 de "l'ACPI Blagour crue du 01.04.82".

En début de crue, les eaux sont marquées par des DpH forts associés à des teneurs en Mg^{2+} , HCO_3^- et Ca^{2+} fortes. En pointe de crue les prélèvements sont marqués par une baisse de la minéralisation mais également par l'augmentation des ions K^+ et SO_4^{2-} associée à une augmentation de la pCO_2 équilibrante. La fin de la crue est caractérisée par un enrichissement en CO_2 , K^+ et SO_4^{2-} , mais également en Cl^- , Na^+ et des températures en hausses. Dans le même temps HCO_3^- , Ca^{2+} et Mg^{2+} ainsi que le DpH augmentent.

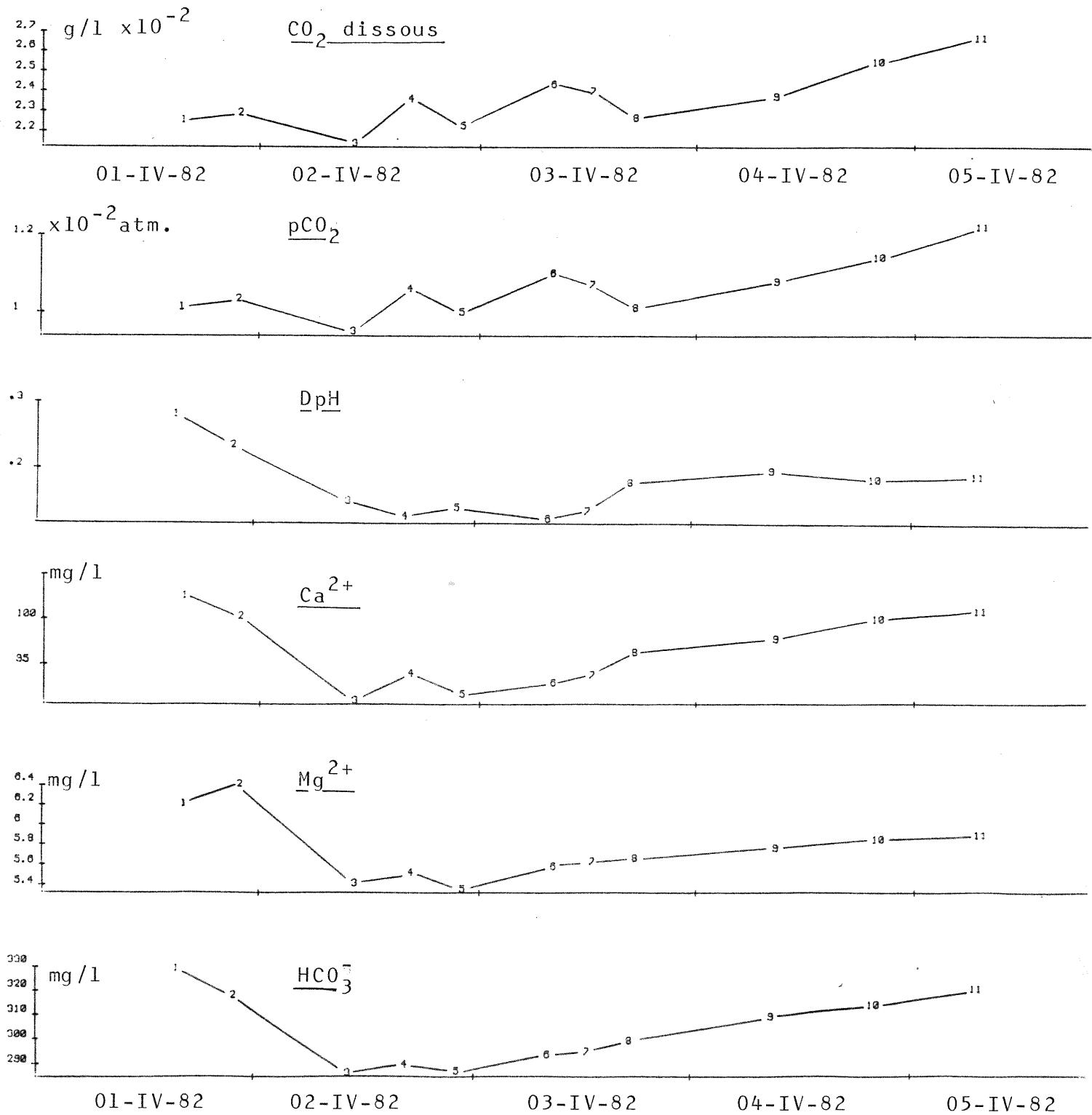
Cette structure est assez comparable à celle du 22.09.81. Toutefois, K^+ et SO_4^{2-} se retrouvent en concentration moins grandes, tout comme la pCO_2 . Quant à Na^+ et Cl^- , ils semblent plus liés à la pluie que sur la première crue du cycle.

Le facteur F1 caractérise le temps de séjour. De ce fait il oppose la pointe de crue aux autres prélèvements. Le facteur F2 caractérise une zone plus riche en CO_2 , SO_4^{2-} et K^+ possédant des eaux plus chaudes.

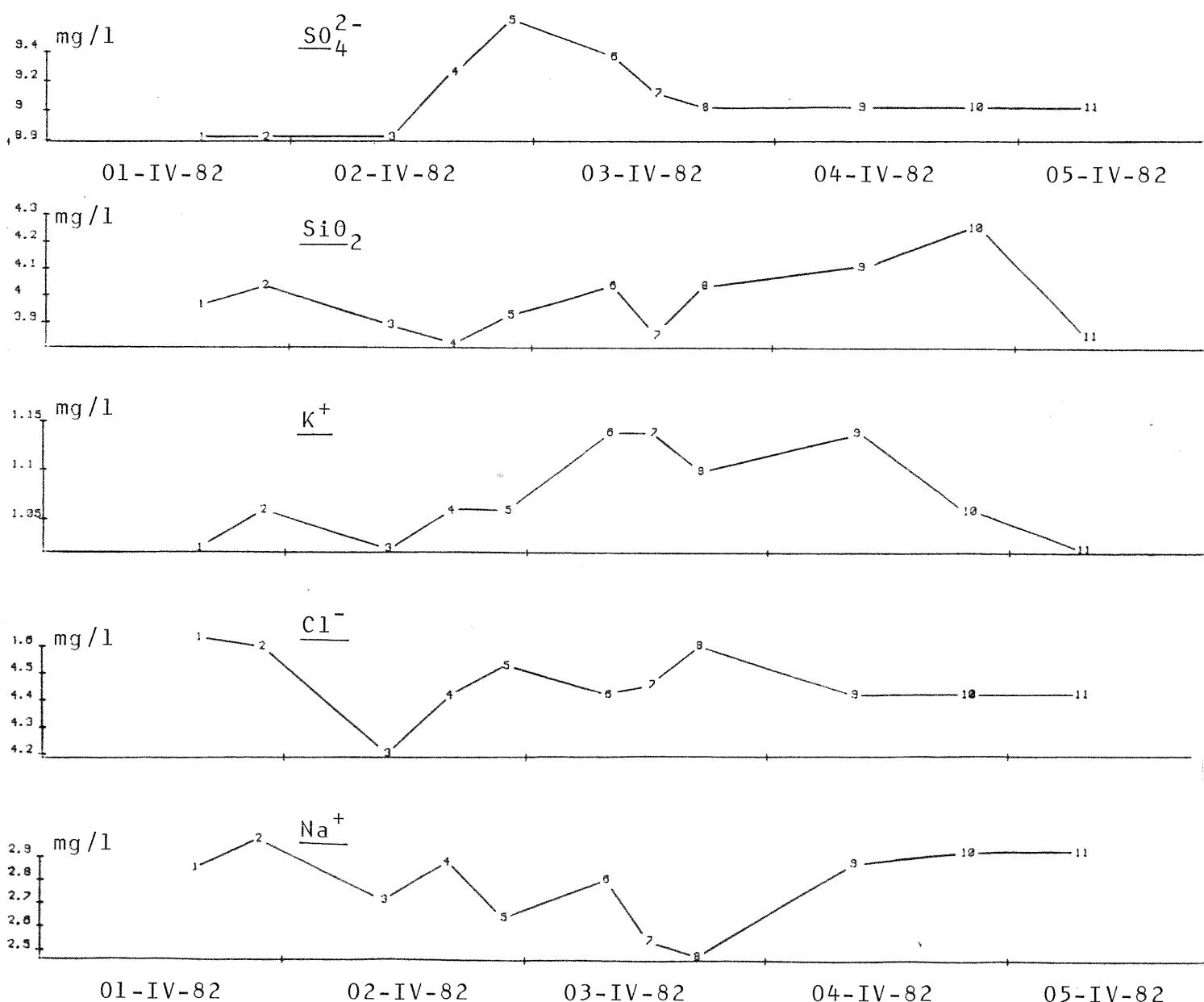
BLAGOUR 01-04-82



BLAUGOUR 01-04-82



BLAGOÛR 01-04-82



MATRICE DES CORRELATIONS

BLAGOUR

Crue du 01-04-1982

ACP1

	T	Cl-	SO4--	HC03-	K+	Nat	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DpH	pCO2
T	1.000	.133	.164	.352	.025	.257	.103	.330	-.142	-.406	.110	.669
Cl-	.133	1.000	.034	.572	-.019	.209	.656	.521	.119	-.752	.613	-.006
SO4--	.164	.034	1.000	-.603	.362	-.416	-.659	-.528	-.159	.269	-.682	.070
HC03-	.352	.572	-.603	1.000	-.302	.655	.890	.388	.366	-.881	.890	.398
K+	.025	-.019	.362	-.302	1.000	-.303	-.229	-.303	.240	-.026	-.414	.141
Nat	.257	.209	-.416	.655	-.303	1.000	.645	.712	.438	-.425	.530	.418
Mg++	.103	.656	-.659	.890	-.229	.645	1.000	.886	.314	-.726	.872	.170
Ca++	.330	.521	-.528	.988	-.309	.712	.886	1.000	.328	-.862	.857	.440
SiO2	-.142	.118	-.159	.366	.248	.438	.314	.328	1.000	-.400	.288	.191
Q	-.406	-.252	.269	-.881	-.026	-.425	-.226	-.862	-.400	1.000	-.722	-.451
DpH	.110	.613	-.682	.890	-.414	.530	.872	.857	.288	-.722	1.000	-.856
pCO2	.669	-.006	.078	.398	.141	.418	.120	.440	.191	-.451	-.056	1.000

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR PROPRE	6.10	2.01	1.37	1.23
VAR. EXPIMEE.%	50.83	16.74	11.39	10.24
VAR. CUMULEE.%	50.83	62.57	78.96	89.28

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.306	.724	-.410	-.290
Cl-	.622	.662	.517	-.526
SO4--	-.567	.563	.249	-.266
HC03-	.988	.023	-.053	-.027
K+	-.276	.526	.613	.242
Nat	.716	.053	-.295	.366
Mg++	.933	-.161	.110	-.035
Ca++	.966	.040	-.025	.011
SiO2	.482	.102	.422	.720
Q	-.874	-.310	-.293	.145
DpH	.897	-.348	.064	-.142
pCO2	.359	.788	-.343	.204

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

1	.1656	2	.1023	3	.1812	4	.0551	5	.1026
6	.0554	7	.0757	9	.0421	10	.0747	11	.1350

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

CARRES DES CORRELATIONS MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.895	.619	.782	.871
Cl-	.387	.391	.658	.935
SO4--	.345	.661	.723	.794
HC03-	.976	.977	.988	.981
K+	.076	.355	.731	.790
Nat	.516	.519	.606	.741
Mg++	.870	.902	.915	.916
Ca++	.973	.974	.988	.980
SiO2	.185	.176	.354	.672
Q	.763	.859	.945	.966
DpH	.885	.926	.930	.950
pCO2	.129	.750	.867	.909

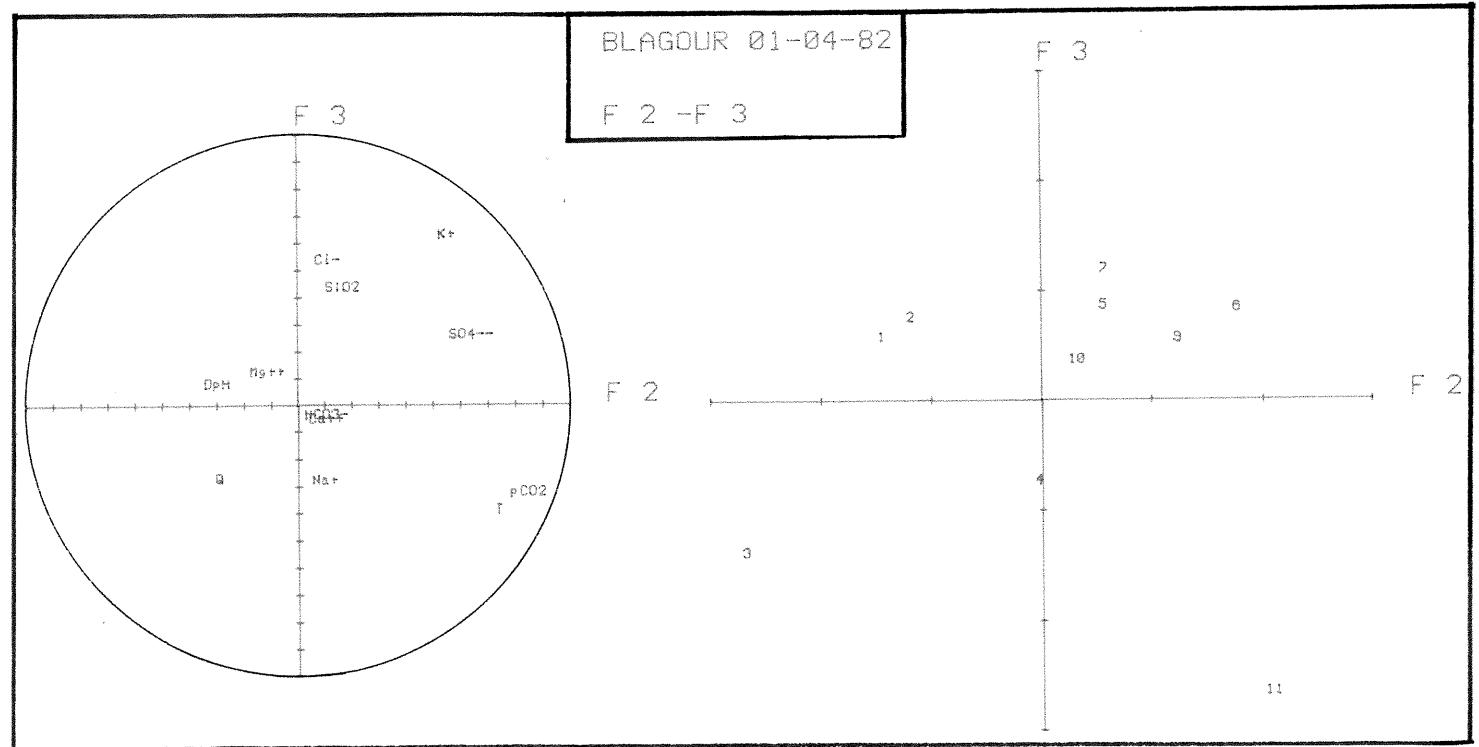
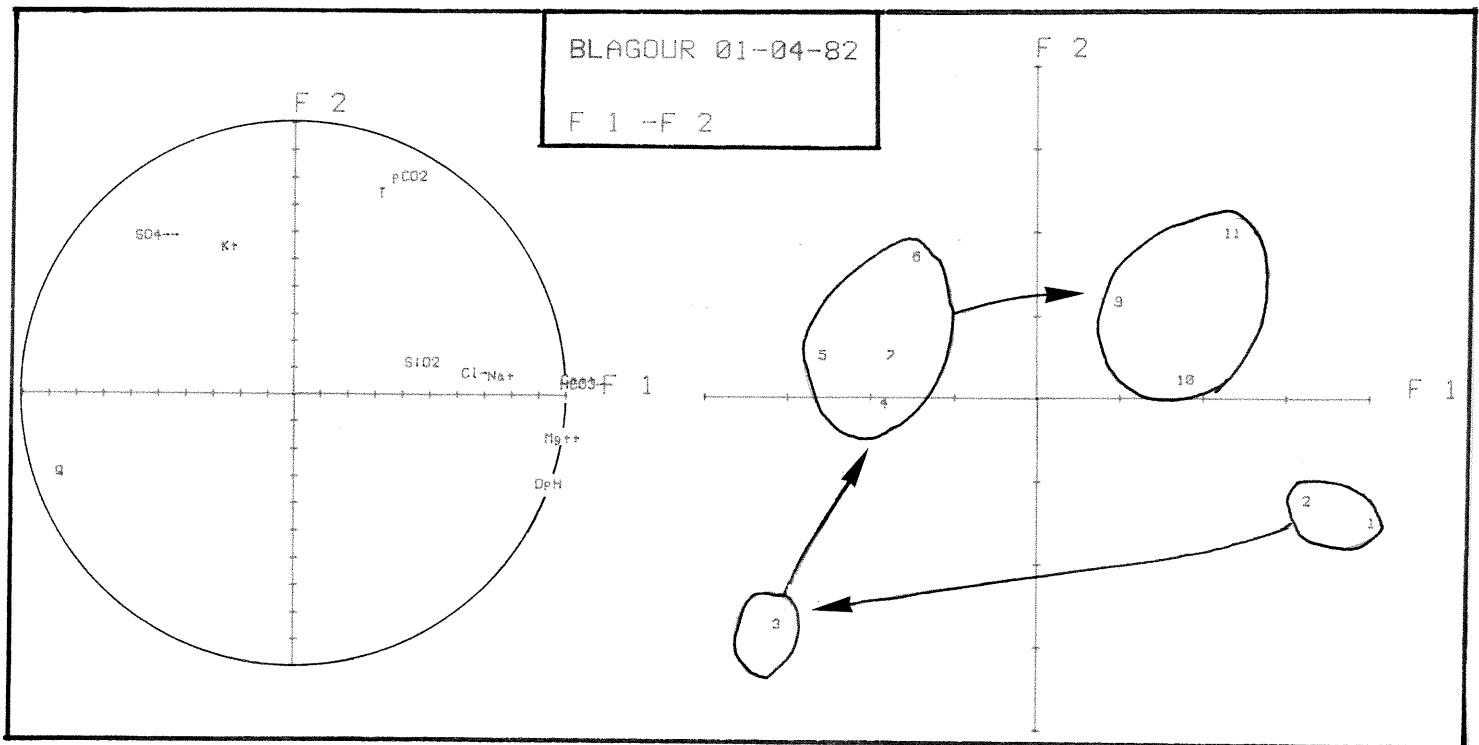
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
01-15.20	1	.2455	.1208	.0214	.1500
01-21.40	2	.1569	.0837	.0328
02-10.10	3	.1725	.3886	.1486	.0539
02-16.15	4	.0651	.0010	.0434	.0068
02-21.50	5	.1225	.0105	.0457	.1963
03-07.50	6	.8424	.1362	.0453	.0375
03-12.15	7	.0608	.0104	.0363	.0459
04-06.25	9	.0118	.0623	.0286	.0651
04-20.00	10	.0413	.0015	.0079	.3792
05-07.30	11	.0757	.1650	.5265	.0453

CARRES DES M, COS. DES US AVEC LES VARIETES FACT.

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
01-15.20	1	3.873	-.1508	.340	-.1357
01-21.40	2	3.894	-1.297	.719	.822
02-10.10	3	-3.298	-2.794	-.1425	.814
02-16.15	4	-1.932	-.142	-.720	-.289
02-21.50	5	-2.734	.468	.824	-.1553
03-07.50	6	-1.689	1.654	.792	.879
03-12.15	7	-1.927	.456	1.147	-.751
04-06.25	9	.847	1.118	.531	1.923
04-20.00	10	1.588	.174	.329	2.158
05-07.30	11	2.149	1.926	-.2688	-.746

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
01-15.20	1	.735	.877	.832	.384
01-21.40	2	.743	.874	.914	.914
02-10.10	3	.496	.857	.950	.981
02-16.15	4	.690	.604	.693	.706
02-21.50	5	.579	.595	.648	.835
03-07.50	6	.385	.601	.695	.964
03-12.15	7	.409	.432	.527	.639
04-06.25	9	.142	.389	.445	.652
04-20.00	10	.281	.285	.297	.816
05-07.30	11	.284	.513	.956	.392



SOURCE DU SORPT

Description des variations de la chimie des eaux
lors de la crue du 22.09.81

C'est la première crue du cycle. Elle est de faible amplitude puisque la pointe de crue ne dépasse pas $0,9\text{m}^3/\text{s}$.

Cette crue est caractérisée par une augmentation de la minéralisation par rapport à celle observée durant l'étia-ge.

Jusqu'à la pointe de crue la minéralisation est faible. Elle augmente durant la décrue, puis décroît en fin de crue pour finalement atteindre une valeur légèrement plus forte que celle observée avant la crue.

L'ACPI "Sorpt 22.09.81" permet de décrire les variations des divers éléments chimiques.

Le facteur F1 oppose le débit, Mg^{2+} et la tempé-
rature à K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} et pCO_2 équilibrante. Les premiers prélè-
vements (sauf l'US1 supprimée à cause d'une valeur trop forte de
la pCO_2 équilibrante) se placent à une extrémité de ce facteur
et les prélèvements de la fin de crue à l'autre extrémité. Ainsi,
le début de la crue est marquée par des températures et des
teneurs en Mg^{2+} importantes. A l'opposé la décrue est surtout
marquée par une augmentation de K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} et de la pCO_2
équilibrante.

Le facteur F2 est essentiellement caractérisé par
 Na^+ , Cl^- , et HCO_3^- . Les variations de HCO_3^- sont très faibles
(8mg/l). Il est donc délicat d'interpréter ces variations.

Le facteur F1 caractérise le temps de séjour de l'eau dans l'aquifère. L'association du magnésium, du débit et de la température caractérise un effet de chasse d'eau à temps de séjour long dans l'aquifère. Ces eaux possèdent en effet les mêmes caractéristiques chimiques que les eaux précédant la crue. A l'opposée les eaux de fin de crue sont caractérisées par des temps de séjour moins longs dans une zone plus proche de la surface et riche en CO_2 .

Le facteur F2 caractérise l'arrivée à l'exutoire d'eau de surface dont les teneurs en Na^+ et Cl^- traduisent l'influence des pluies mais également une reconcentration par évapotranspiration.

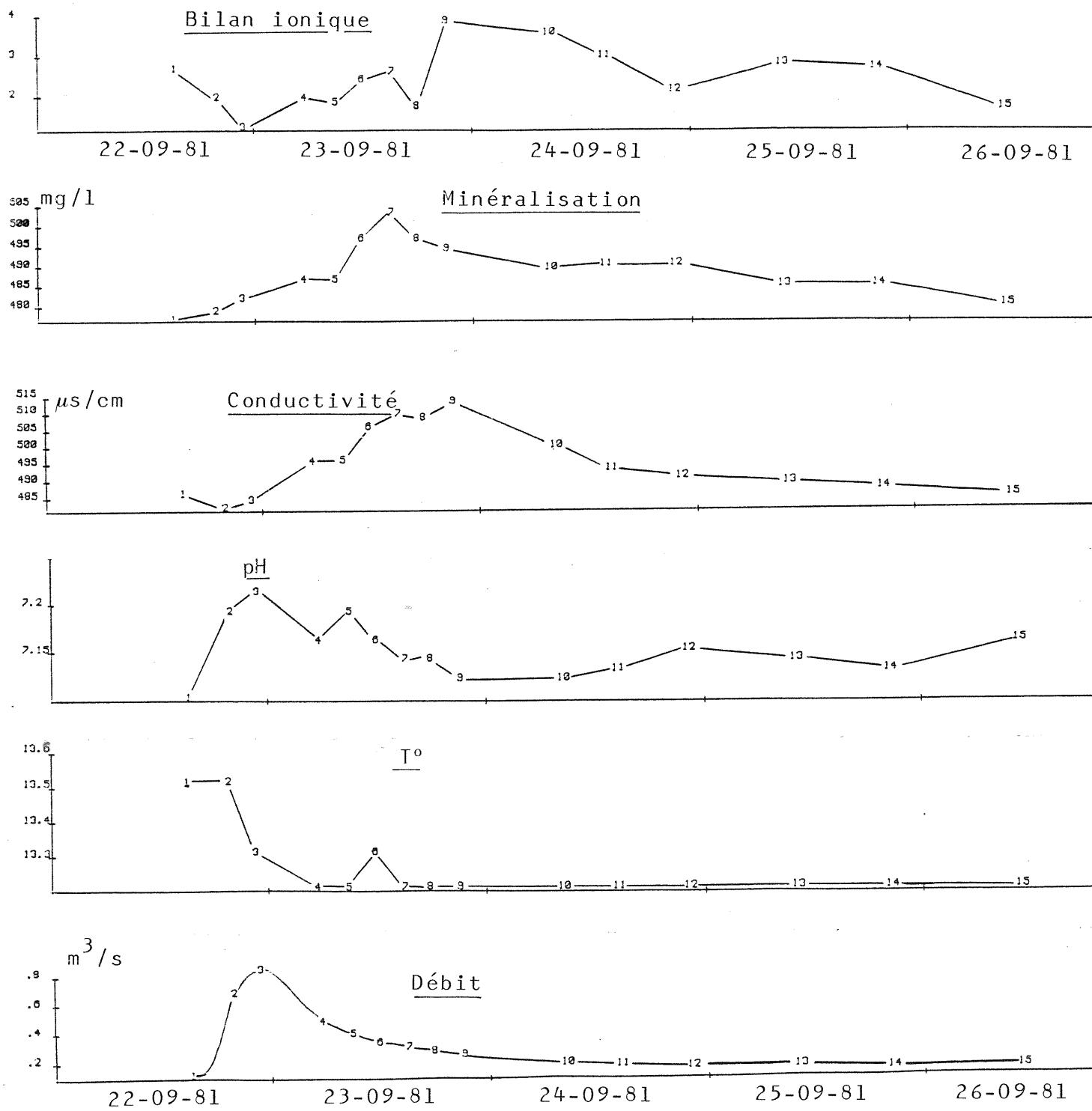
Il faut noter que le DpH reste relativement constant tout comme le silice. Leurs variations sont indépendantes du débit.

En résumé, cette crue montre une évolution du chimisme des eaux depuis des eaux à caractéristiques d'étiage (temps de séjour long) vers des eaux provenant de la partie supérieure de l'aquifère. Indépendamment de cette évolution les teneurs en Na^+ et Cl^- traduisent une alimentation par des eaux ayant pu séjourner à proximité de la surface.

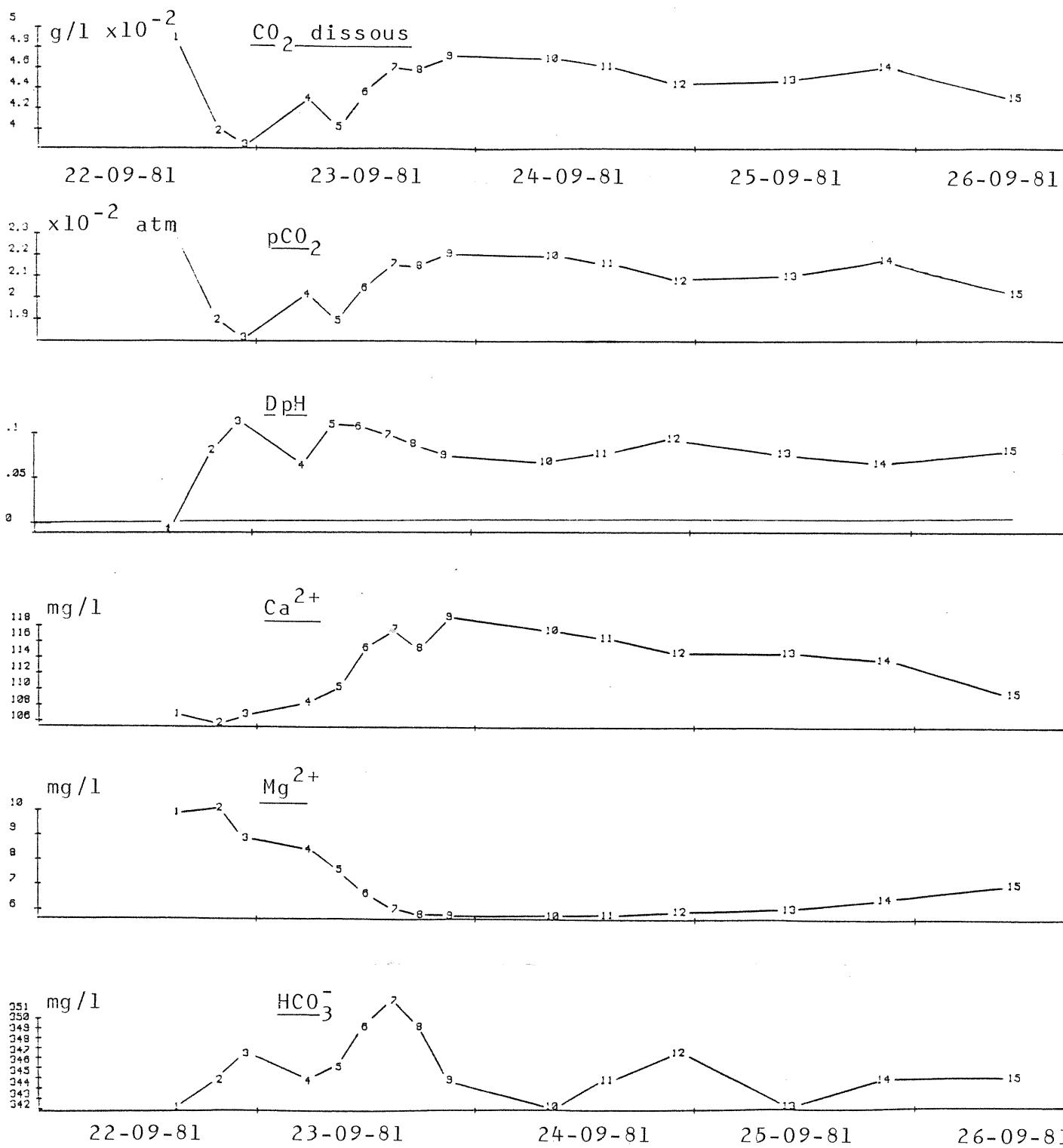
Les teneurs croissantes en Ca^{2+} , du début à la fin de cette crue, montrent que la minéralisation carbonaté s'acquiert dans la partie supérieure de l'aquifère. En outre, elles confirment qu'en étiage l'évasion du CO_2 provoque une précipitation de Ca CO_3 . En fin de crue cette évasion existe toujours mais le réajustement par précipitation n'est plus possible.

Il faut remarquer qu'aucune infiltration rapide n'a pu être mise en évidence sur cette crue.

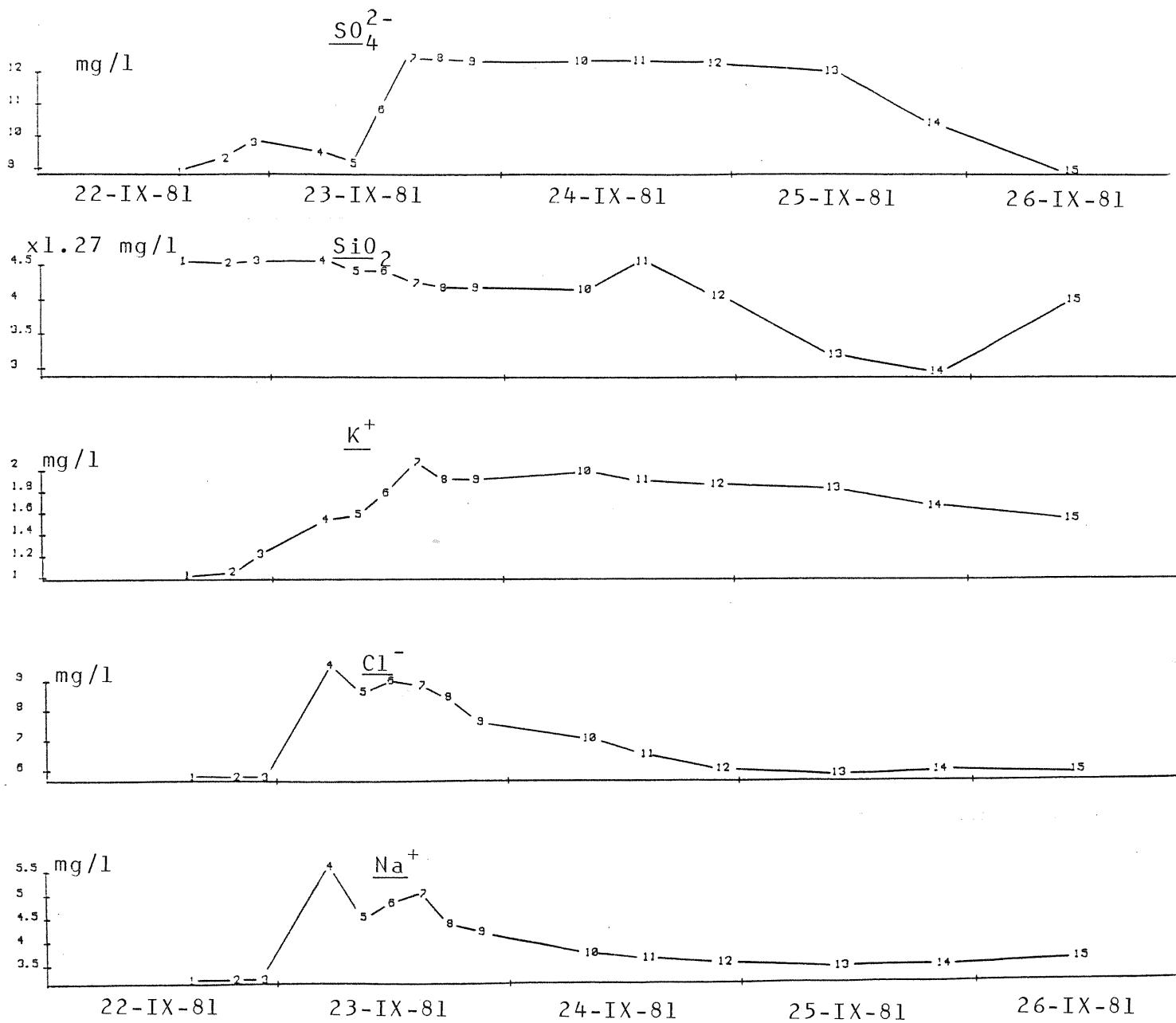
SORPT 22-09-81



SORPT 22-09-81



SORPT 22-09-81



MATRICE DES CORRELATIONS

SORPT

Crue du 22-09-81

ACP 1

	I	Cl-	SO4--	HCO3-	K+	Nat	Mett	Catt	SiO2	Q	DpH	PCO2
I	1.000	-.302	-.514	.009	-.278	-.318	.268	-.622	.340	.681	.225	-.1582
Cl-	-.302	1.000	-.051	.429	.319	.822	-.112	.169	.404	-.255	.143	.114
SO4--	-.514	-.051	1.000	.120	.858	-.062	-.821	.884	-.239	-.205	-.223	.915
HCO3-	.009	.429	.120	1.000	.182	.455	-.022	.113	.310	.133	.641	-.256
K+	-.278	.319	-.514	.182	1.000	.298	-.356	.344	-.265	-.553	-.137	.858
Nat	-.318	.372	-.267	.455	.298	1.000	-.820	.121	.252	-.042	.263	.121
Mett	.268	-.112	-.821	-.222	-.356	-.223	1.000	-.343	.421	.896	.283	-.962
Catt	-.627	.169	.884	.113	.344	.121	-.349	1.000	-.301	-.826	-.224	.893
SiO2	.340	.404	-.203	.013	-.265	.352	.421	-.381	1.000	.520	.412	-.438
Q	.681	-.055	-.205	.138	-.853	-.842	.896	-.826	.520	1.000	.440	-.862
DpH	.285	.143	-.220	.641	-.182	.063	.203	-.224	.412	.440	1.000	-.582
PCO2	-.592	.114	.815	-.256	.858	.121	-.862	.833	-.438	-.862	-.582	1.000

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR, PROPRE	6.25	2.84	1.30	.71
VAR. EXPRIMEE, *	52.05	23.66	10.86	5.02
VAR. CUMULEE, *	52.05	75.73	86.59	92.51

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

2	.2198	3	.1647	4	.0902	5	.0611	6	.0451
7	.0812	8	.0342	9	.0401	10	.0549	11	.0354
12	.8268	13	.0633	14	.0743				

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
I	-.228	-.165	.163	.363
Cl-	.158	.883	-.398	-.027
SO4--	.858	-.035	.347	.381
HCO3-	.005	.763	.183	-.030
K+	.361	.228	.282	.027
Nat	.151	.855	-.472	-.046
Mg++	-.872	-.026	-.182	.058
Catt	.945	.083	.176	.148
SiO2	-.452	.595	.042	.553
Q	-.922	.152	.021	.115
DpH	-.394	.513	.669	-.274
PCO2	.941	-.090	-.117	.204

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

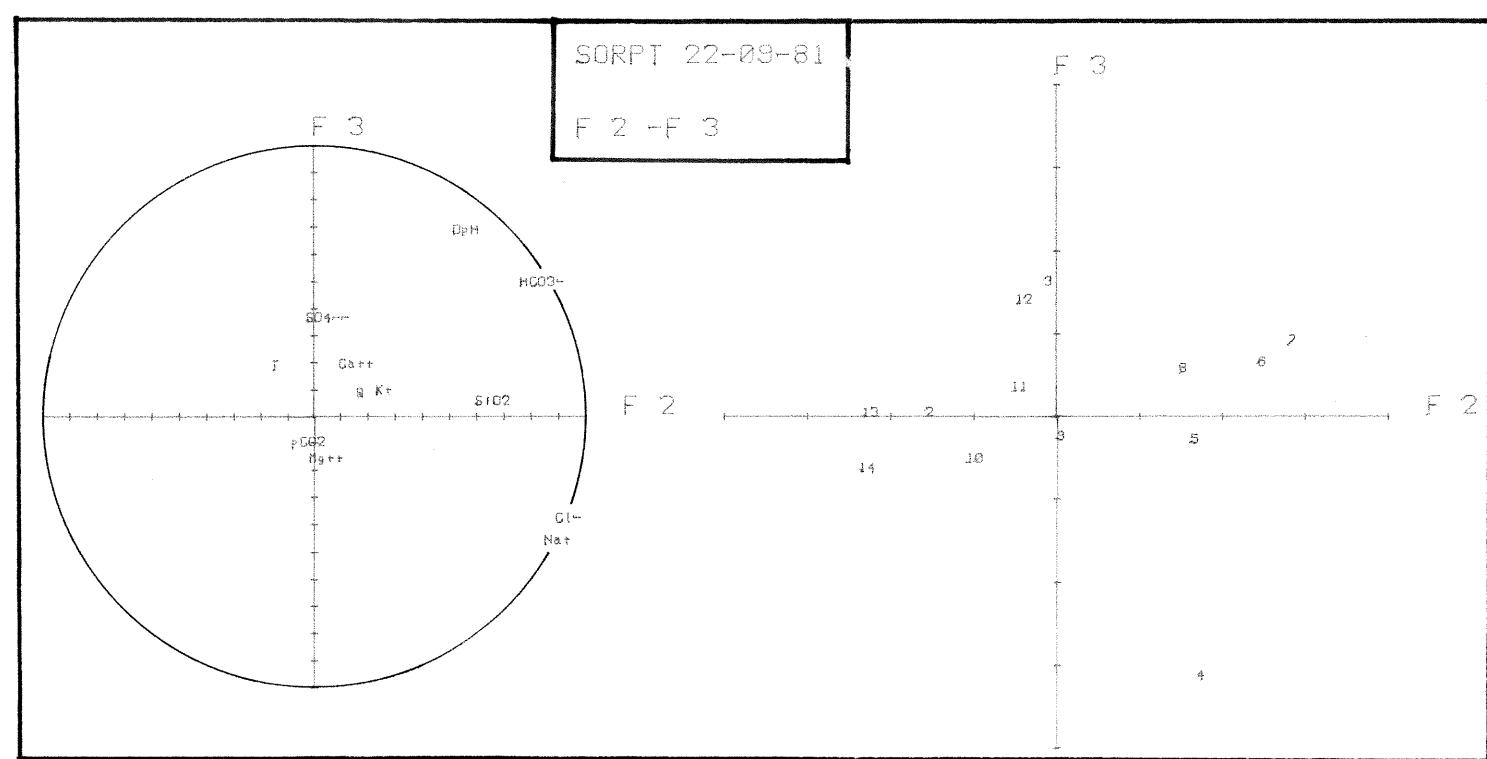
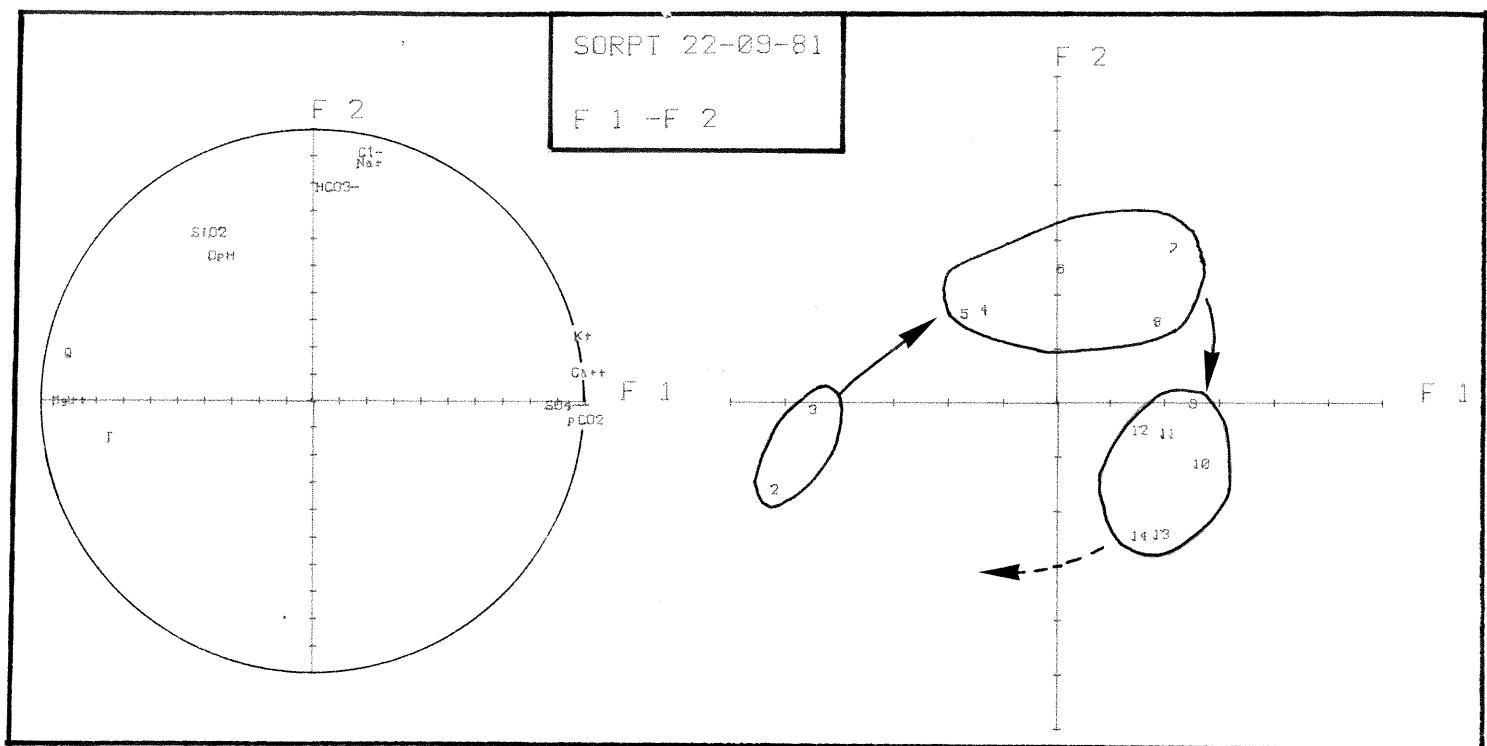
	F 1	F 2	F 3	F 4
I	.593	.620	.649	.795
Cl-	.025	.816	.974	.975
SO4--	.736	.737	.858	.949
HCO3-582	.816	.824
K+	.324	.926	.983	.983
Nat	.023	.254	.327	.380
Mg++	.345	.946	.379	.382
Catt	.892	.900	.931	.953
SiO2	.289	.563	.565	.821
Q	.859	.882	.882	.900
DpH	.155	.416	.866	.941
PCO2	.885	.893	.902	.948

CARRES DES M. COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

	US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
22-13.35	2	.3512	.07731816	
22-22.30	3	.2624	.0018	.1455	.0143	
23-05.15	4	.0302	.0685	.5975	.0002	
23-08.40	5	.0455	.0618	.0826	.1974	
23-11.30	6	.0006	.1473	.0203	
23-14.45	7	.0448	.1384	.0442	.0001	
23-17.35	8	.0316	.0504	.0161	.0010	
23-20.45	9	.0620	.0004	.0052	.0743	
24-08.30	10	.0650	.0398	.0226	.0366	
24-14.30	11	.0362	.0121	.0050	.1226	
24-22.10	12	.8120	.0859	.1087	.0073	
25-10.10	13	.0308	.1636	.0001	.0823	
25-20.30	14	.0172	.1680	.0287	.2213	

COMPOSANTES PRINCIPALES

	US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
22-13.35	2	-5.344	-1.637	-.021	1.293	
22-22.30	3	-4.660	-.253	1.570	-.363	
23-05.15	4	-1.566	1.531	-.3182	.037	
23-08.40	5	-1.321	1.511	-.353	-.1350	
23-11.30	6	-.214	2.333	.586	-.020	
23-14.45	7	1.308	2.707	.865	.030	
23-17.35	8	1.692	1.365	.522	.237	
23-20.45	9	2.244	-.115	-.310	.528	
24-08.30	10	2.298	-1.213	-.591	.945	
24-14.30	11	1.714	-.662	.291	1.264	
24-22.10	12	1.172	-.605	1.357	-.260	
25-10.10	13	1.583	-2.453	-.031	-.875	
25-20.30	14	1.180	-2.491	-.637	-1.429	



SOURCE DU SORPT

Description des variations de la chimie des eaux
au cours de la crue du 07.12.81

Les pluies exceptionnelles du mois de décembre 1981 ont provoqué une suite de crues, dont certaines de forte amplitude, que nous avons étudiées.

Le traitement statistique a été scindé en deux parties à cause d'une chute de la pCO_2 équilibrante après l'US 28. Ce phénomène est tout à fait comparable à celui observé à la même date au Blagour. Toutefois, dans le cas de la source du Sorpt la pCO_2 équilibrante demeure supérieure à celle observée au Blagour.

Le facteur F1 de l'ACP2 "Sorpt 07.12.81" oppose le débit à Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SiO_2 , Mg^{2+} et à la température. Dans l'espace des US les prélèvements du début de crue associés aux plus fortes minéralisations s'opposent aux prélèvements moins minéralisés précédant la chute de la pCO_2 .

Le facteur F2 oppose la pCO_2 équilibrante à K^+ et au DpH. Dans l'espace des US ce facteur oppose le début de la première impulsion au début de la seconde.

Les US 1 à 12 s'étirent à droite de l'axe F1 et d'une extrémité à l'autre de F2. Ainsi, selon F2 on retrouve le même phénomène que celui observé lors de la crue du 22.09.81. En effet, après un effet de chasse, marqué par les US 1, 2, 3 et 4, où la structure est la même que celle de la période non influencée précédant la crue, on observe une augmentation de Ca^{2+} et HCO_3^- puis l'arrivée d'eaux à fortes pCO_2 ($3,5 \times 10^{-2}$ atm) marquées par l'ion K^+ . L'impulsion suivante provoque une baisse de la minéralisation avec des eaux proches de l'équilibre. À partir de l'US 20 la minéralisation diminue encore. Cette diminution est associée à une baisse de la pCO_2 et une légère sous-saturation des eaux.

L'ACP3 "Sorpt crue du 7.12.81" décrit les variations liées aux US 29 à 39.

Le facteur F1 oppose l'association K^+ , Q à Ca^{2+} , HCO_3^- , SiO_2 , Mg^{2+} , SO_4^{2-} et DpH. Dans l'espace des US ce facteur

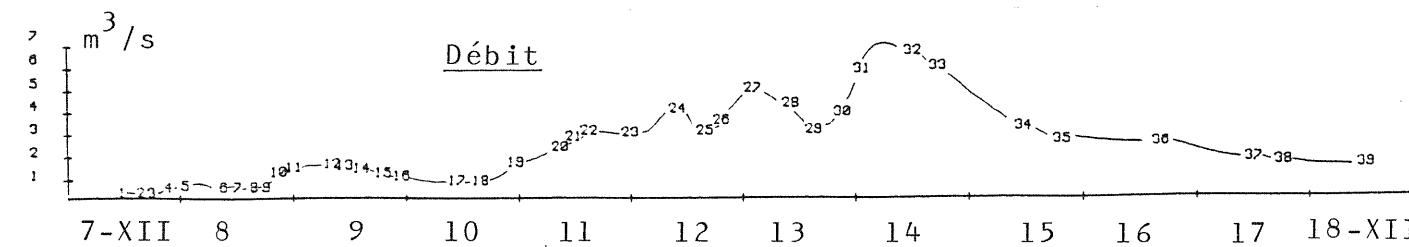
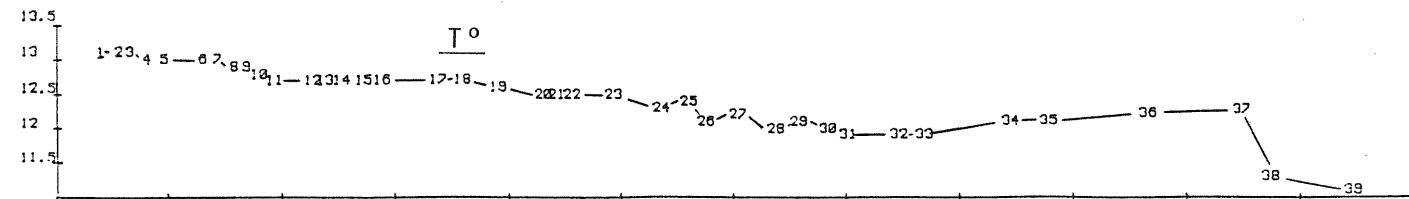
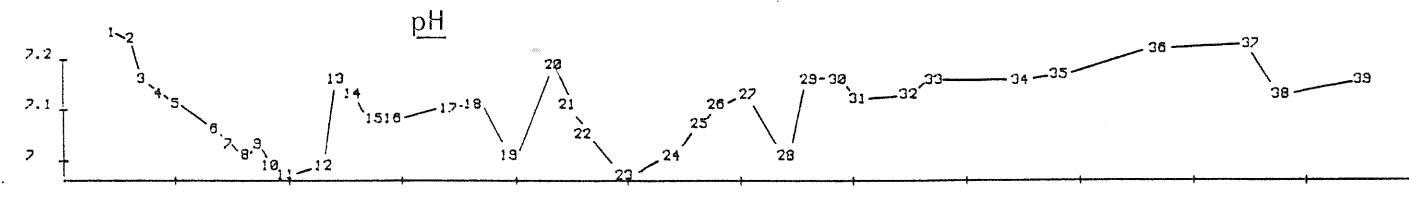
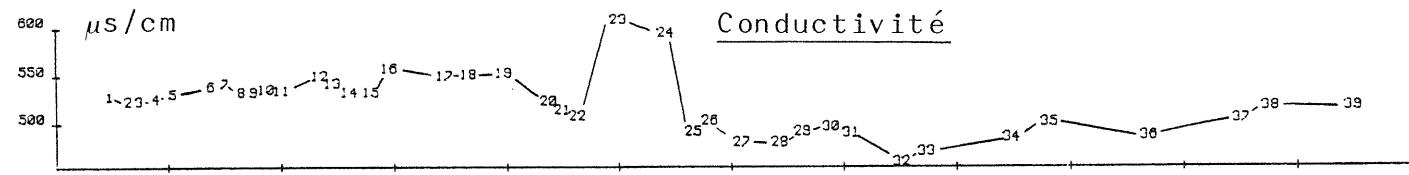
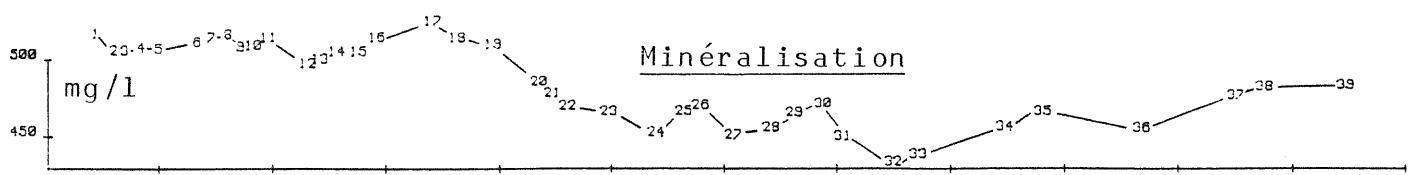
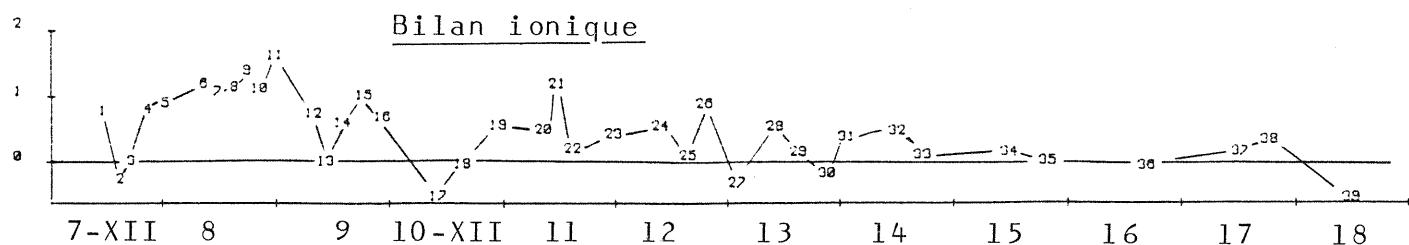
oppose les prélèvements de pointe de crue riches en K^+ , aux prélevements de relatives basses eaux précédent et suivant le point de débit maximum.

Le facteur F2 oppose la pCO_2 associée à Na^+ et Cl^- à la température et au DpH. L'amplitude des variations de Na^+ , Cl^- et K^+ sont très faibles à la fin de la crue. Les US 31 et 32 déterminent à elles seules cette structure. L'US 31 est caractérisée par une pointe en Na^+ et de Cl^- associée à une légère sous-saturation. L'US 32 est caractérisée par une augmentation en K^+ liée à l'augmentation du débit et à une valeur négative du DpH. La pCO_2 , pour sa part, reste pratiquement constante sauf à la fin de la dernière impulsion où elle remonte légèrement.

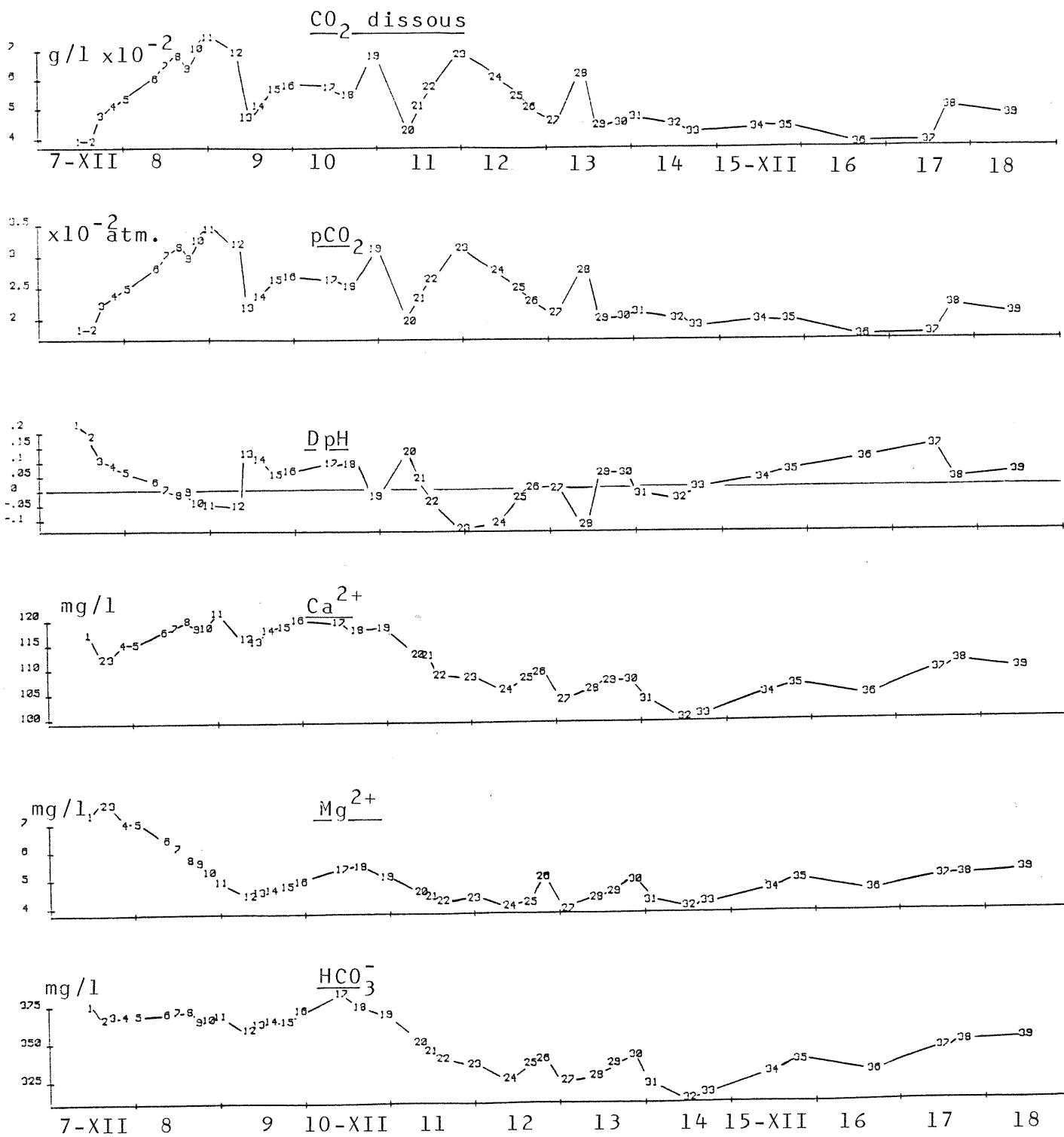
Pour ces deux ACP le facteur F1 caractérise le temps de séjour.

Le facteur F2 pour sa part caractérise l'influence d'arrivée d'eau de pluie mais également une évolution "air-solution" conduisant à l'appauvrissement en CO_2 de la solution.

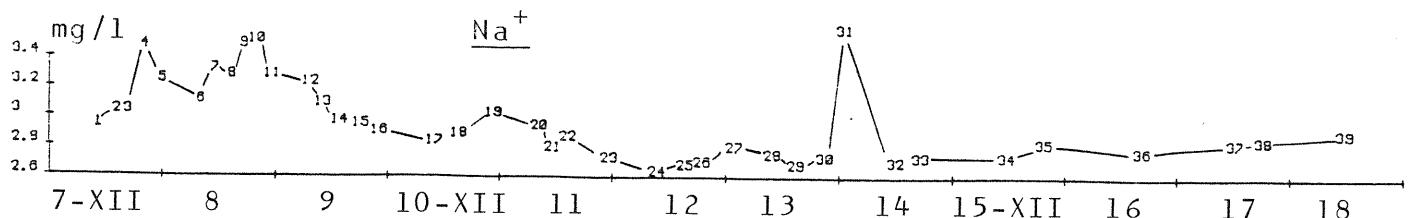
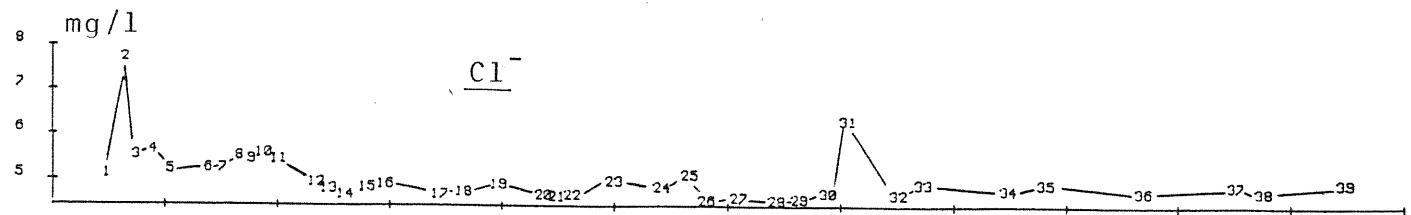
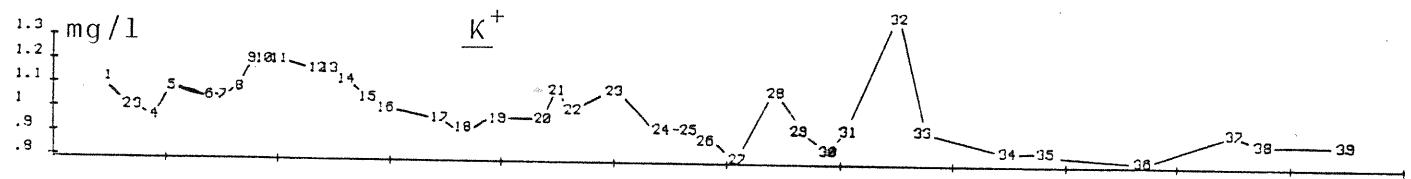
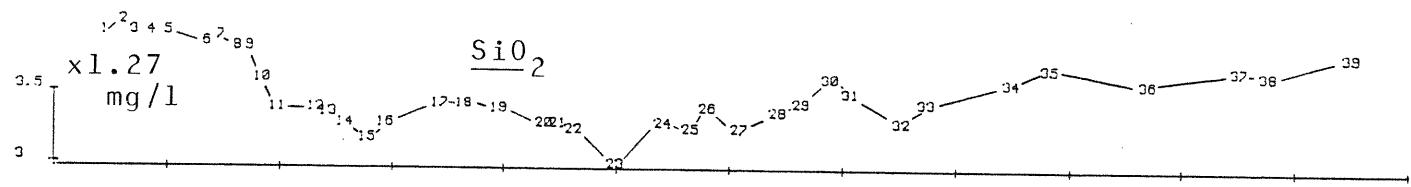
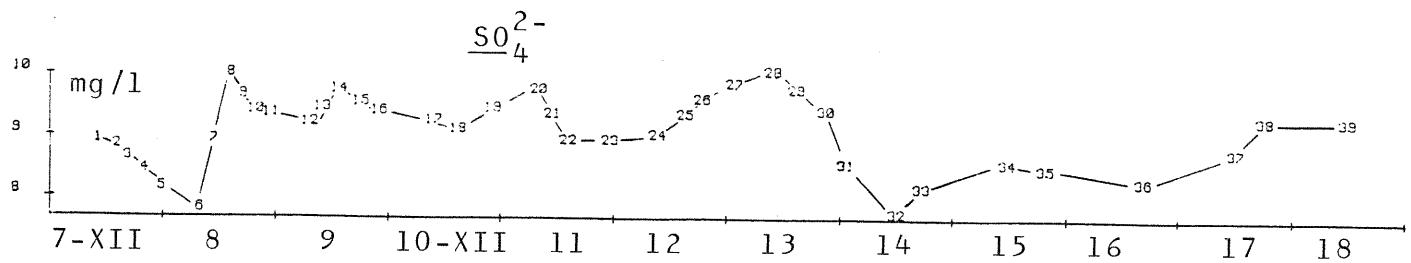
SORPT 07-12-81



SORPT 7-12-81



SORPT 7-12-81



SORPT 07-12-81

ACP 2

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR PROPRE	6.34	2.37	1.29	.76
VAR. EXPRIMEE.%	52.84	19.74	10.78	6.32
VAR. CUMULEE.%	52.84	72.57	83.35	89.67

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

1	.0522	2	.1091	3	.0408	4	.0431	5	.0365
6	.0367	7	.0248	8	.0364	9	.0336	10	.0341
11	.0326	12	.0177	13	.0157	14	.0152	15	.0096
16	.0106	17	.0124	18	.0131	19	.0115	20	.0230
21	.0156	22	.0230	23	.0457	24	.0607	25	.0330
26	.0435	27	.0832	28	.0732				

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.966	-.033	-.038	-.061
Cl-	.635	-.188	-.422	.429
SO4--	-.504	.309	.485	.561
HC03-	.887	.171	.344	-.178
K+	.419	.650	.216	.297
Na+	.748	.434	-.164	.192
Mg++	.859	-.388	-.284	-.005
Ca++	.729	.479	.424	-.150
Si02	.832	-.229	-.310	.125
Q	-.900	-.087	-.175	.098
DpH	.585	-.584	.536	.097
PCO2	-.009	.302	-.314	-.199

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
07-11.00	1	.0603	.0674	.0451	.0021
07-15.05	2	.0669	.1693	.0486	.2152
07-17.15	3	.0448	.0651	.0149	.0026
07-20.40	4	.0543	.0230	.0341	.0038
08-06.10	5	.0472	.0091	.0352	.0363
08-06.20	6	.0391	.0014	.0518	.1681
08-11.20	7	.0328	.0115	.0159	.0114
08-14.40	8	.0190	.0567	.0001	.0475
08-17.25	9	.0259	.0625	.0029	.0878
08-20.50	10	.0140	.1092	.0164	.0402
09-00.10	11	.0049	.1435	.0019	.0035
09-08.00	120812	.0018	.0002
09-10.50	13	.0002	.0002	.0728	.0244
09-14.20	140032	.1165	.0093
09-18.40	15	.0003	.0266	.0584	.0025
09-22.40	16	.0002	.0030	.0600	.0194
10-10.20	17	.0024	.0002	.0815	.0716
10-15.15	18	.0012	.0057	.0454	.0715
10-22.50	19	.0004	.0204	.0003	.0259
11-08.30	20	.0122	.0264	.0824	.0160
11-11.20	21	.0198	.0011	.0121	.0013
11-14.40	22	.0344	.0005	.0120	.0175
11-23.10	23	.0494	.0121	.0626	.0137
12-09.05	24	.0932	.0046	.0628	.0149
12-14.50	25	.0525	.0133	.0075	.0001
12-18.30	26	.0614	.0336	.0008
13-01.15	27	.1304	.0633	.0008	.0214
13-09.20	28	.1122	.0066	.0205	.0659

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.934	.335	.936	.940
Cl-	.403	.439	.616	.801
SO4--	.254	.350	.585	.899
HC03-	.787	.817	.935	.967
K+	.176	.559	.559	.887
Na+	.559	.748	.725	.813
Mg++	.737	.888	.930	.930
Ca++	.532	.761	.941	.963
Si02	.693	.745	.841	.857
Q	.922	.930	.960	.970
DpH	.343	.684	.971	.981
PCO2814	.913	.952

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
07-11.00	1	3.223	-2.114	1.278	.210
07-15.05	2	3.527	-3.357	-1.327	2.138
07-17.15	3	2.821	-2.827	-.735	-.236
07-20.40	4	3.105	-1.235	-1.111	-.284
08-00.10	5	2.894	-.775	-1.128	-.878
08-08.20	6	2.894	-.303	-1.369	-1.890
08-11.20	7	2.415	.873	-.753	-.492
08-14.40	8	1.935	1.833	.057	1.004
08-17.25	9	2.143	2.036	-.327	1.366
08-20.50	10	1.527	2.691	-.721	.324
09-00.10	11	.933	3.085	-.260	.274
09-08.00	12	-.922	2.320	-.416	-.961
09-10.50	13	.191	.195	1.614	.720
09-14.20	14	-.063	.459	2.054	.446
09-18.40	15	-.242	.868	1.454	-.231
09-22.40	16	.202	.443	1.474	-.642
10-10.20	17	.652	-.119	1.718	-.1233
10-15.15	18	.461	-.815	1.282	-.1232
10-22.50	19	-.251	1.164	.345	-.742
11-08.30	20	-.141	-1.322	1.722	.582
11-11.20	21	-1.874	-.265	.661	.169
11-14.40	22	-2.472	-.125	-.784	-.609
11-23.10	23	-2.963	1.064	-.585	-.846
12-09.05	24	-4.062	-.555	-1.731	-.563
12-14.50	25	-3.854	-.941	-.521	.034
12-18.30	26	-3.302	-1.492	.168	.012
13-01.15	27	-4.811	-2.049	-.169	.674
13-09.20	28	-4.472	.662	-.861	1.183

CARRES DES M. COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

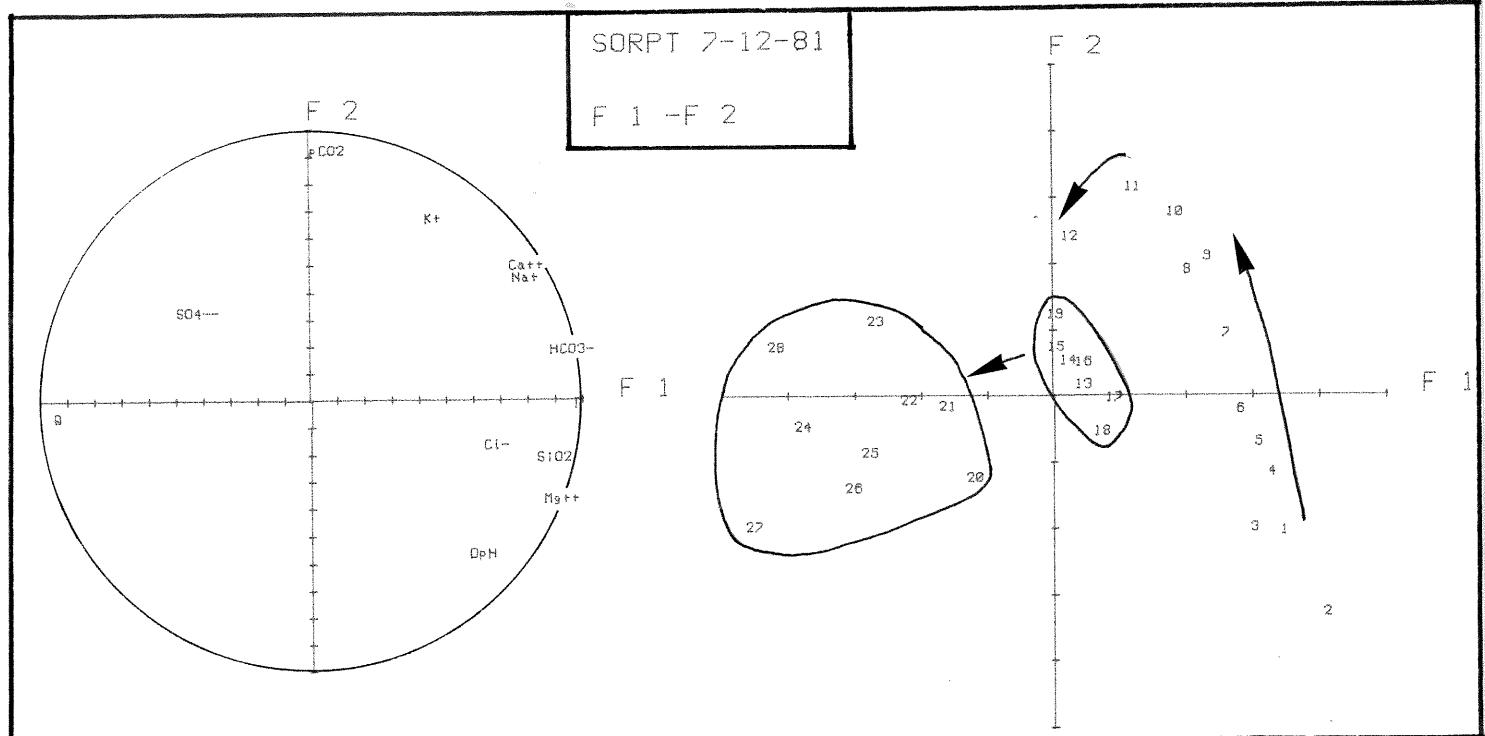
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
07-11.00	1	.553	.784	.868	.870
07-15.05	2	.421	.728	.778	.901
07-17.15	3	.580	.895	.935	.939
07-20.40	4	.666	.771	.856	.862
08-00.10	5	.682	.731	.835	.898
08-08.20	6	.534	.541	.685	.360
08-11.20	7	.791	.793	.862	.891
08-14.40	8	.329	.658	.658	.752
08-17.25	9	.496	.773	.783	.948
08-20.50	10	.217	.850	.902	.977
09-00.10	11	.077	.921	.927	.933
09-08.00	12904	.933	.934
09-10.50	13	.007	.009	.503	.601
09-14.20	14	.001	.042	.869	.908
09-18.40	15	.018	.153	.807	.824
09-22.40	16	.011	.067	.677	.793
10-10.20	17	.074	.026	.582	.843
10-15.15	18	.048	.134	.508	.854
10-22.50	19	.016	.362	.398	.548
11-08.30	20	.280	.506	.891	.935
11-11.20	21	.671	.684	.767	.773
11-14.40	22	.790	.794	.873	.921
11-23.10	23	.572	.646	.805	.833
12-09.05	24	.811	.826	.973	.989
12-14.50	25	.842	.921	.946	.946
12-18.30	26	.745	.897	.899	.899
13-01.15	27	.772	.913	.914	.929
13-09.20	28	.813	.831	.861	.918

MATRICE DES CORRELATIONS

	I	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SiO ₂	Q	DpH	pCO ₂
I	1.000	.618	-.562	.830	.395	.689	.822	.662	.778	-.934	.565	-.026
Cl ⁻	.618	1.000	-.335	.354	.129	.455	.659	.182	.641	-.513	.291	-.023
SO ₄ ²⁻	-.562	-.335	1.000	-.293	.022	-.210	-.612	-.022	-.508	.416	-.202	.222
HCO ₃ ⁻	.830	.354	-.293	1.000	.371	.622	.638	.318	.521	-.950	.573	.107
K ⁺	.395	.129	.022	.371	1.000	.580	.100	.515	.190	-.422	-.050	.426
Na ⁺	.689	.455	-.210	.622	.580	1.000	.482	.642	.643	-.620	.130	.363
Mg ⁺⁺	.822	.659	-.612	.638	.100	.482	1.000	.351	.914	-.256	.598	-.276
Ca ⁺⁺	.662	.182	-.072	.918	.515	.642	.351	1.000	.346	-.838	.352	.348
SiO ₂	.778	.641	-.508	.521	.190	.643	.914	.346	1.000	-.690	.444	-.134
Q	-.934	-.513	.416	-.950	-.422	-.620	-.256	-.830	-.690	1.000	-.584	-.042
DpH	.565	.291	-.202	.523	-.050	.130	.538	.352	.444	-.584	1.000	-.244
pCO ₂	-.026	-.023	.072	.107	.426	.363	-.276	.348	-.134	-.042	-.244	1.000

SORPT 7-12-81

F 1 - F 2



MATRICE DES CORRELATIONS

SORPT

ACP 3

Crue du 07-12-81

	T	CL-	SD4--	HCO3-	Kt	Na+	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DPH	PCO2
T	1.000	-.002	-.010	-.403	-.033	-.148	-.371	-.371	-.348	.231	.285	.675
CL-	-.062	1.000	-.165	-.231	-.083	.929	-.257	-.177	.210	.348	-.054	.246
SD4--	-.316	-.165	1.000	.260	-.483	-.058	.633	.808	.441	-.571	.320	.408
HCO3-	-.403	-.231	.260	1.000	-.556	-.187	.322	.323	.962	-.910	.643	.191
Kt	-.033	-.083	-.483	-.556	1.000	-.096	-.529	-.538	-.688	.609	-.550	.112
Na+	-.148	.929	-.058	-.102	-.096	1.000	-.158	-.039	.226	.233	-.311	.326
Mg++	-.371	-.257	.633	.972	-.579	-.158	1.000	.312	.927	-.898	.659	.124
Ca++	-.371	-.177	.808	.929	-.538	-.039	.912	1.000	.784	-.827	.597	.263
SiO2	-.348	.210	.441	.862	-.688	.376	.327	.784	1.000	-.932	.631	.025
Q	.231	.348	-.571	-.910	.609	.233	-.898	-.827	-.832	1.000	-.780	.079
DPH	.295	-.054	.320	.643	-.550	-.311	.653	.597	.631	-.780	1.000	-.613
PCO2	-.625	.246	.408	.191	.117	.326	.124	.263	.025	.029	-.613	1.000

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR PROPRE	6.20	2.66	1.70	.69
VAR. EXPRIMEE.x	51.69	22.13	14.20	5.75
VAR. CUMULEE.x	51.69	73.81	88.01	93.76

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	-.315	-.668	.455	.398
CL-	-.270	.629	.574	-.016
SD4--	.730	.256	-.218	.557
HCO3-	.983	.109	-.076	-.018
Kt	-.672	.814	-.480	-.246
Na+	-.162	.740	.625	-.009
Mg++	.970	.042	-.040	-.150
Ca++	.951	.170	-.070	.104
SiO2	.887	.118	.256	-.302
Q	-.947	.151	-.019	.116
DPH	.721	-.578	.328	-.027
PCO2	.072	.849	-.441	.157

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

29	.0447	30	.0285	31	.1964	32	.2420	33	.0842
34	.0104	35	.0193	36	.0004	37	.0921	38	.1010
39	.1205								

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.039	.546	.752	.905
CL-	.073	.534	.988	.988
SD4--	.533	.599	.646	.956
HCO3-	.966	.977	.983	.984
Kt	.452	.452	.682	.743
Na+	.026	.573	.984	.964
Mg++	.941	.942	.944	.962
Ca++	.905	.934	.938	.949
SiO2	.782	.801	.866	.960
Q	.896	.319	.319	.933
DPH	.519	.854	.956	.957
PCO2	.005	.726	.921	.945

CONTRIBUTION DES US A
LA DETERMINATION DES FACT.

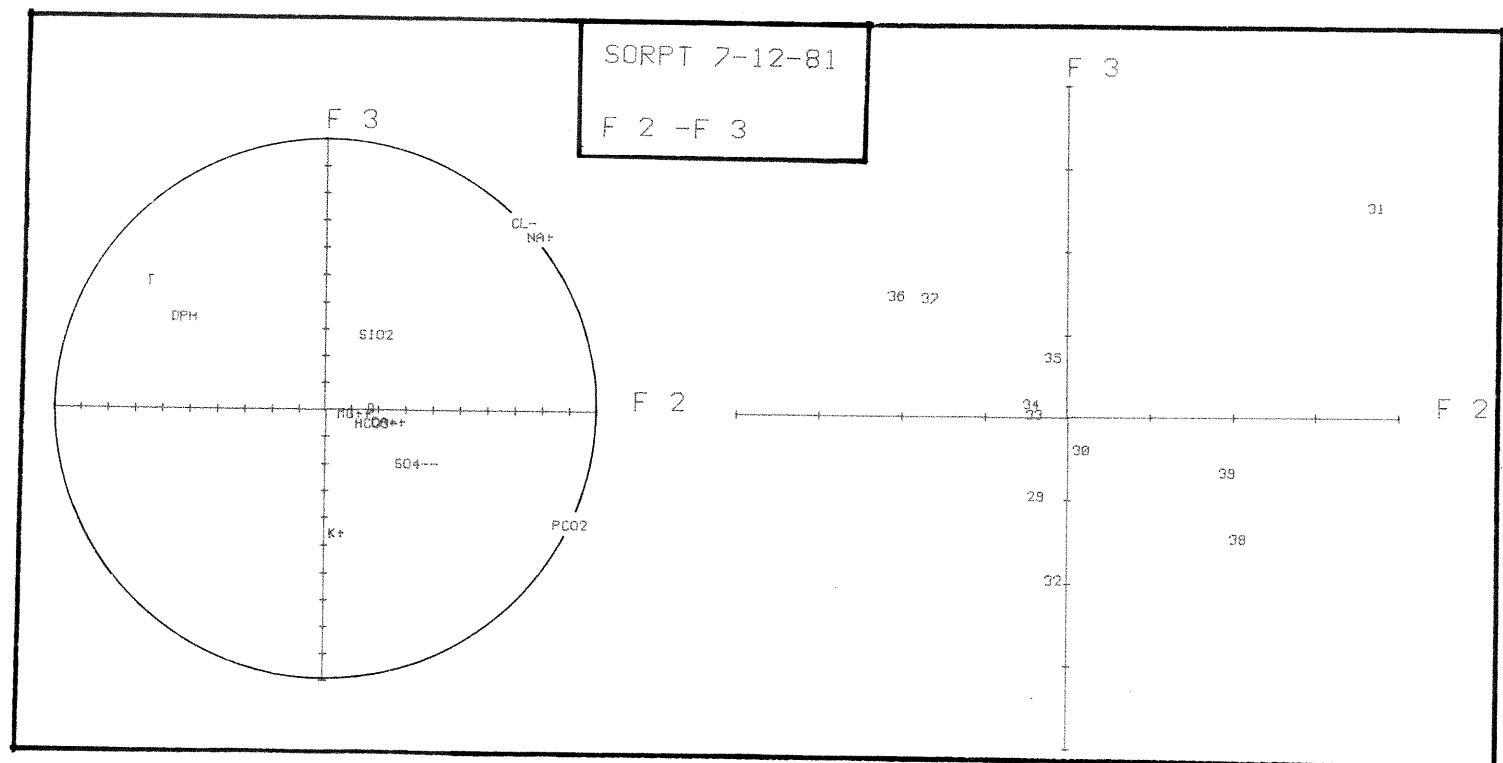
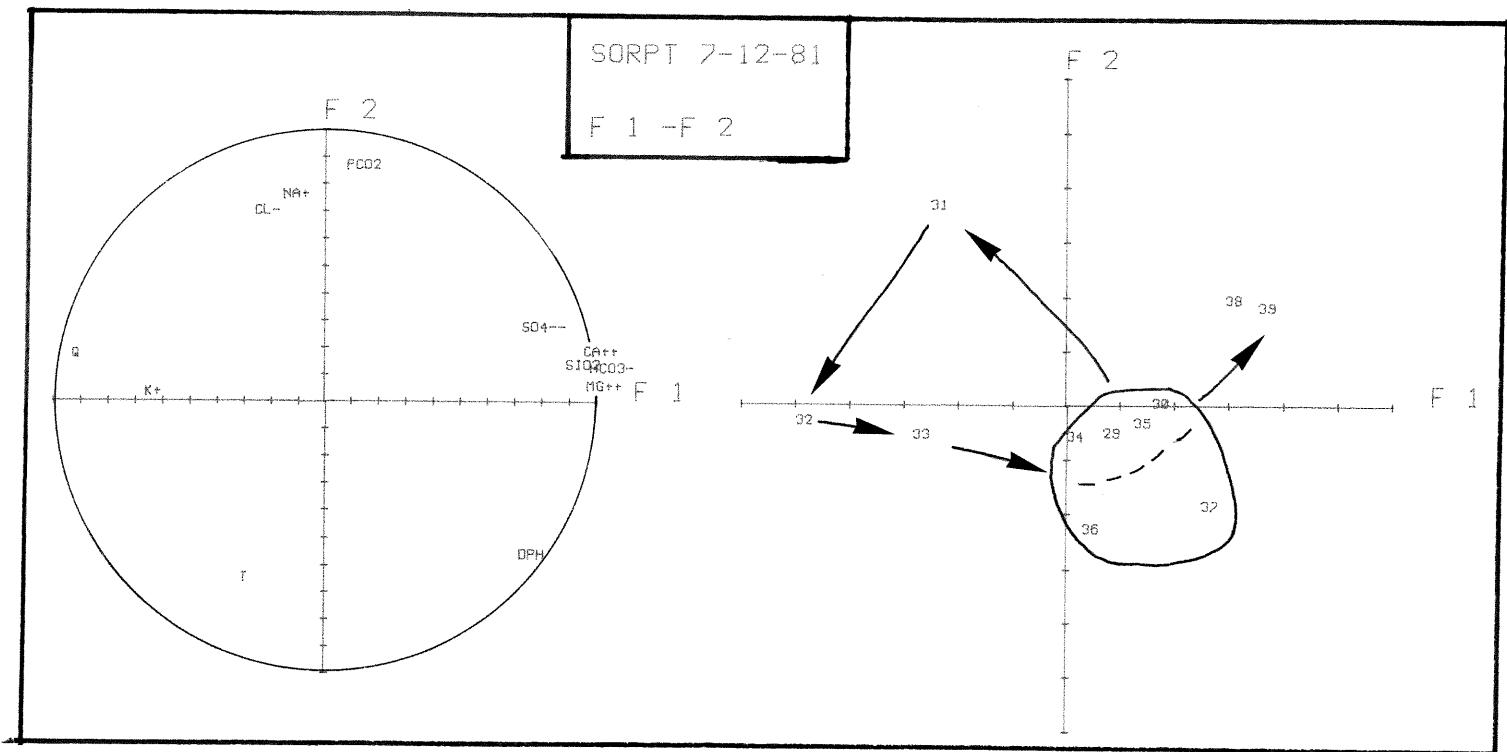
US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
13-14.10	29	.0037	.0127	.0333	.4344
13-20.20	30	.0272	.0002	.0127	.1282
14-00.30	31	.1059	.4202	.3274	.0232
14-11.00	32	.3835	.0054	.2228	.0089
14-16.15	33	.1338	.0142	.0002	.0014
15-10.15	34	.0007	.0156	.0003	.0032
15-18.10	35	.0143	.0062	.0217	.0227
16-15.00	361845	.1013	.0209
17-10.30	37	.0716	.1249	.0985	.0208
17-16.45	38	.1041	.1124	.1274	.0037
18-09.30	39	.1547	.0986	.0283	.1922

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
13-14.10	29	.581	-.618	-.1034	1.337
13-20.20	30	1.374	-.068	-.488	.986
14-00.30	31	-2.688	3.503	2.477	.419
14-11.00	32	-5.115	-.399	-2.044	-.821
14-16.15	33	-3.022	-.645	-.066	-.103
15-10.15	34	-.218	-.625	.025	.162
15-18.10	35	.988	-.425	.832	-.415
16-15.00	36	.055	-2.321	1.378	-.398
17-10.30	37	2.210	-1.910	1.359	-.397
17-16.45	38	2.665	1.852	-1.545	-.168
18-09.30	39	3.249	1.697	-.728	-1.208

CARRES DES M.COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
13-14.10	29	.043	.100	.293	.991
13-20.20	30	.502	.503	.567	.825
14-00.30	31	.279	.752	.989	.995
14-11.00	32	.819	.824	.955	.976
14-16.15	33	.821	.859	.859	.860
15-10.15	34	.035	.368	.372	.392
15-18.10	35	.372	.440	.595	.661
16-15.00	36677	.915	.935
17-10.30	37	.402	.202	.853	.866
17-16.45	38	.533	.790	.969	.971
18-09.30	39	.664	.845	.878	.970



SOURCE DU SORPT

description des variations de la chimie des eaux
au cours de la crue du 16.03.82

C'est une crue de fin de hautes eaux hivernales. La minéralisation décroît avec l'augmentation du débit. Toutefois la minéralisation la plus basse n'est atteinte qu'en début de décrue, ensuite, elle croît pour revenir pratiquement à la valeur précédent la crue. Cette structure est inversée par rapport à la première crue du cycle (crue du 22.09.81). Les pCO_2 sont également plus faibles. Toutefois, le DpH reste positif durant toute la crue.

L'ACPl "Sorpt 16.03.82" est employé pour décrire les variations des différentes variables.

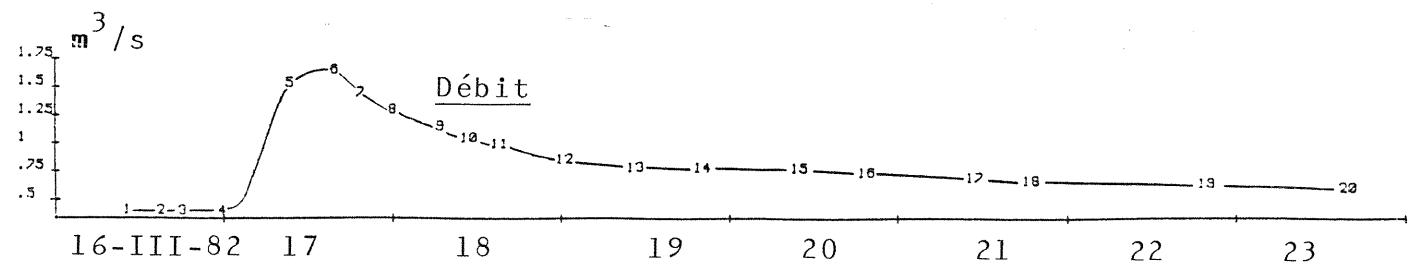
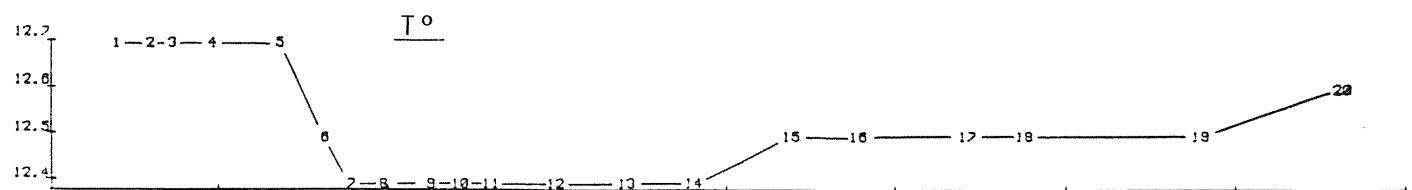
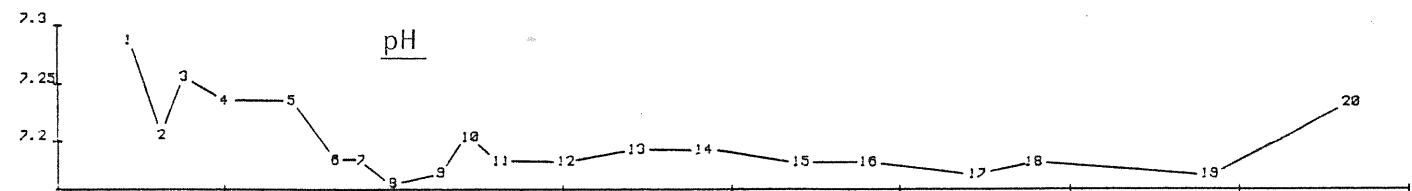
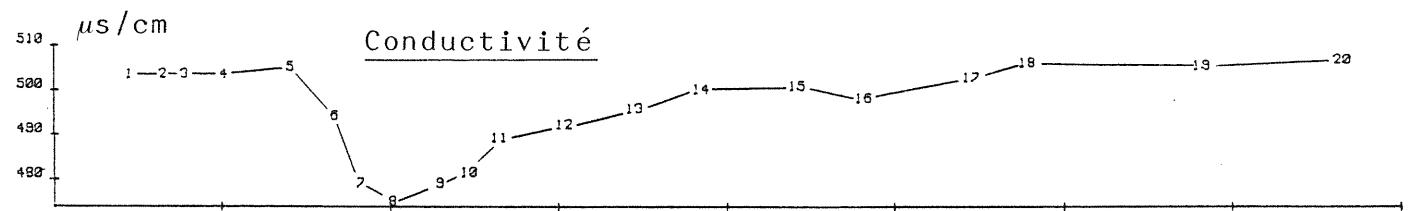
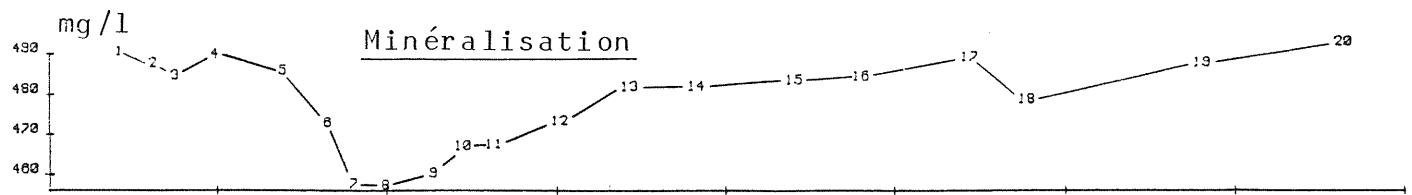
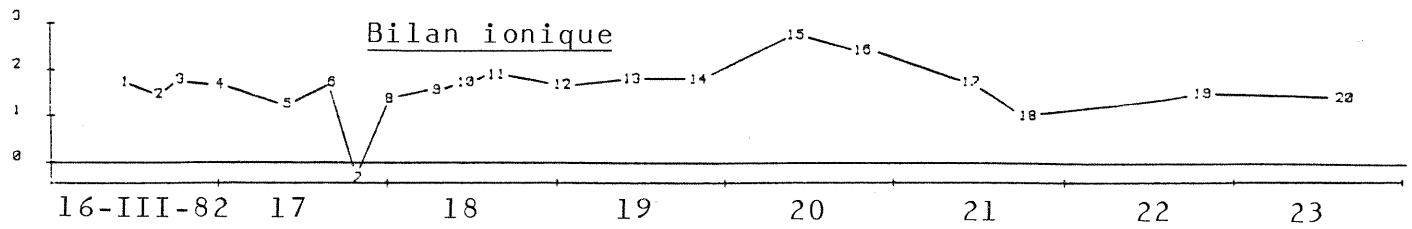
Le facteur F1 oppose la température, HCO_3^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SiO_2 , Na^+ , Cl^- et le DpH au débit, SO_4^{2-} et dans une moindre mesure la pCO_2 . Ce facteur semble caractéristique du temps de séjour. Pourtant, deux associations sont nouvelles sur ce facteur. Le fait que Na^+ et Cl^- soient associés aux éléments habituellement caractéristiques du temps de séjour peut être simplement expliqué par l'absence de ces ions en quantité significative dans les eaux de pluie ayant provoqué cette crue. De ce fait, les teneurs en Na^+ et Cl^- sont celles des eaux en transit dans l'aquifère à cette période. En revanche la présence du DpH lié au temps de séjour alors que la pCO_2 y est mal représentée signifie que durant cette crue ce paramètre n'est réglé que par la dissolution des carbonates et non par une évolution de la pCO_2 par évaporation du CO_2 . Dans le plan des US ce facteur oppose les premiers prélèvements à ceux de la décrue.

Le facteur F2 est essentiellement souligné par le potassium. D'autres éléments tels que SO_4^{2-} , Cl^- et Na^+ sont corrélés à ce facteur mais de manière beaucoup moins nette.

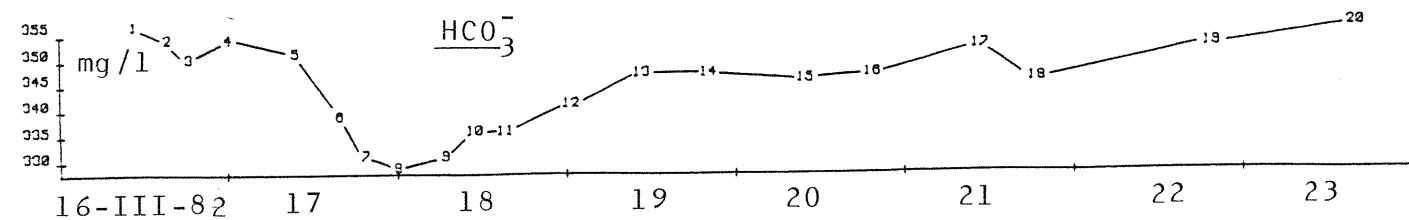
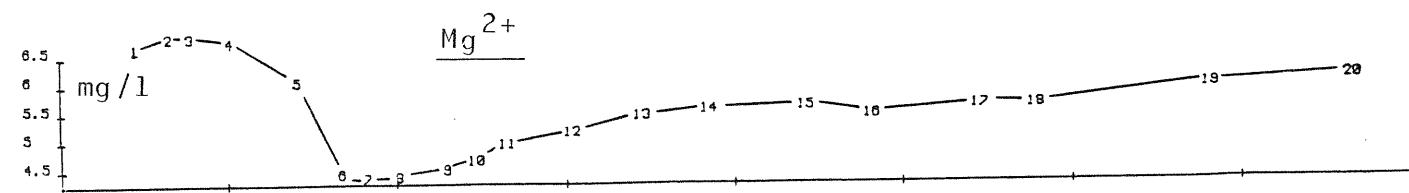
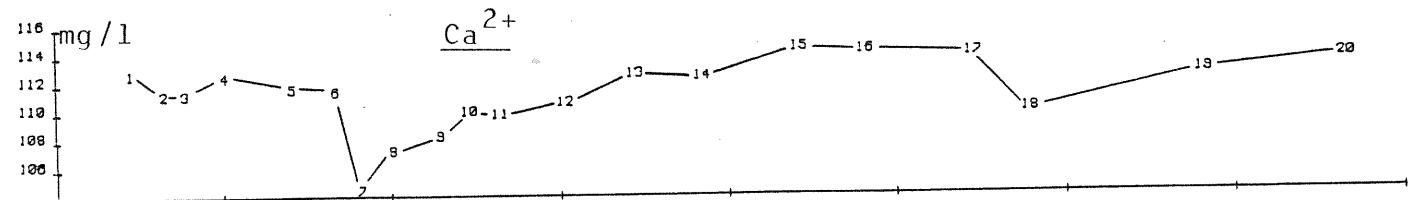
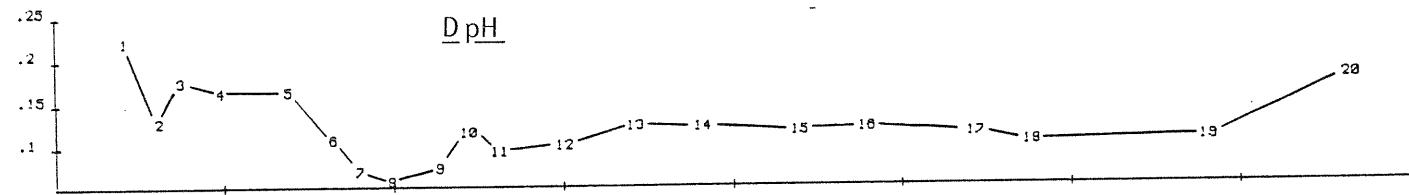
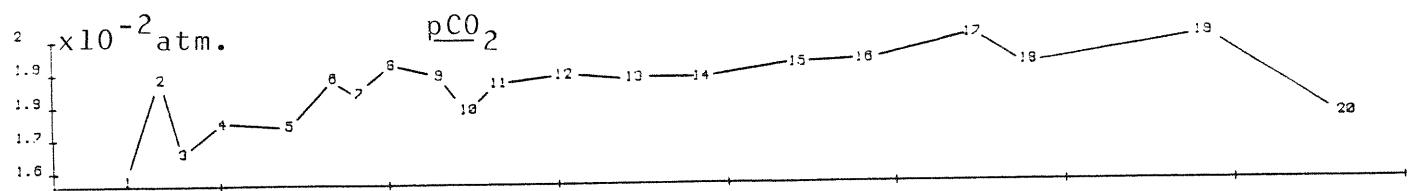
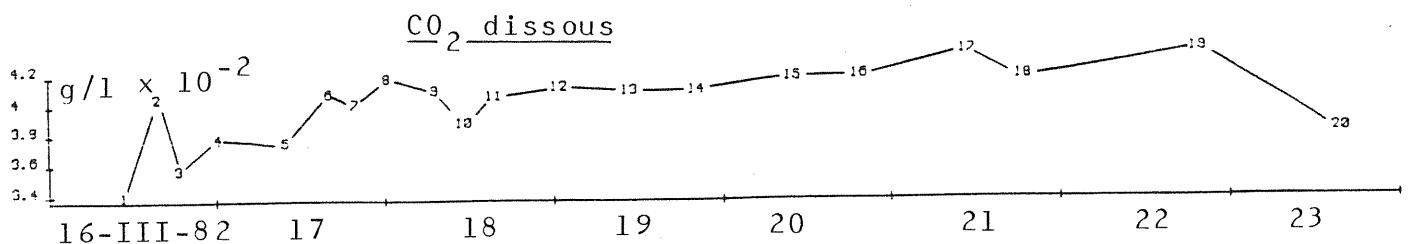
Le facteur F2 marque l'apparition d'eau riche en potassium. Contrairement aux autres crues étudiées la pCO_2 n'y est pas associée. Dans l'espace des US les prélèvements de la pointe de crue sont corrélés à ce facteur.

En résumé, cette crue montre, après un effet de chasse restreint l'arrivée d'eau chargée en potassium. Puis avec la décrue apparaissent des eaux peu minéralisées légèrement plus riches en CO_2 et en SO_4^{2-} . Pendant ce temps le potassium diminue. La fin de la crue est marquée par la remontée de la minéralisation et la baisse des teneurs en K^+ et en SO_4^{2-} .

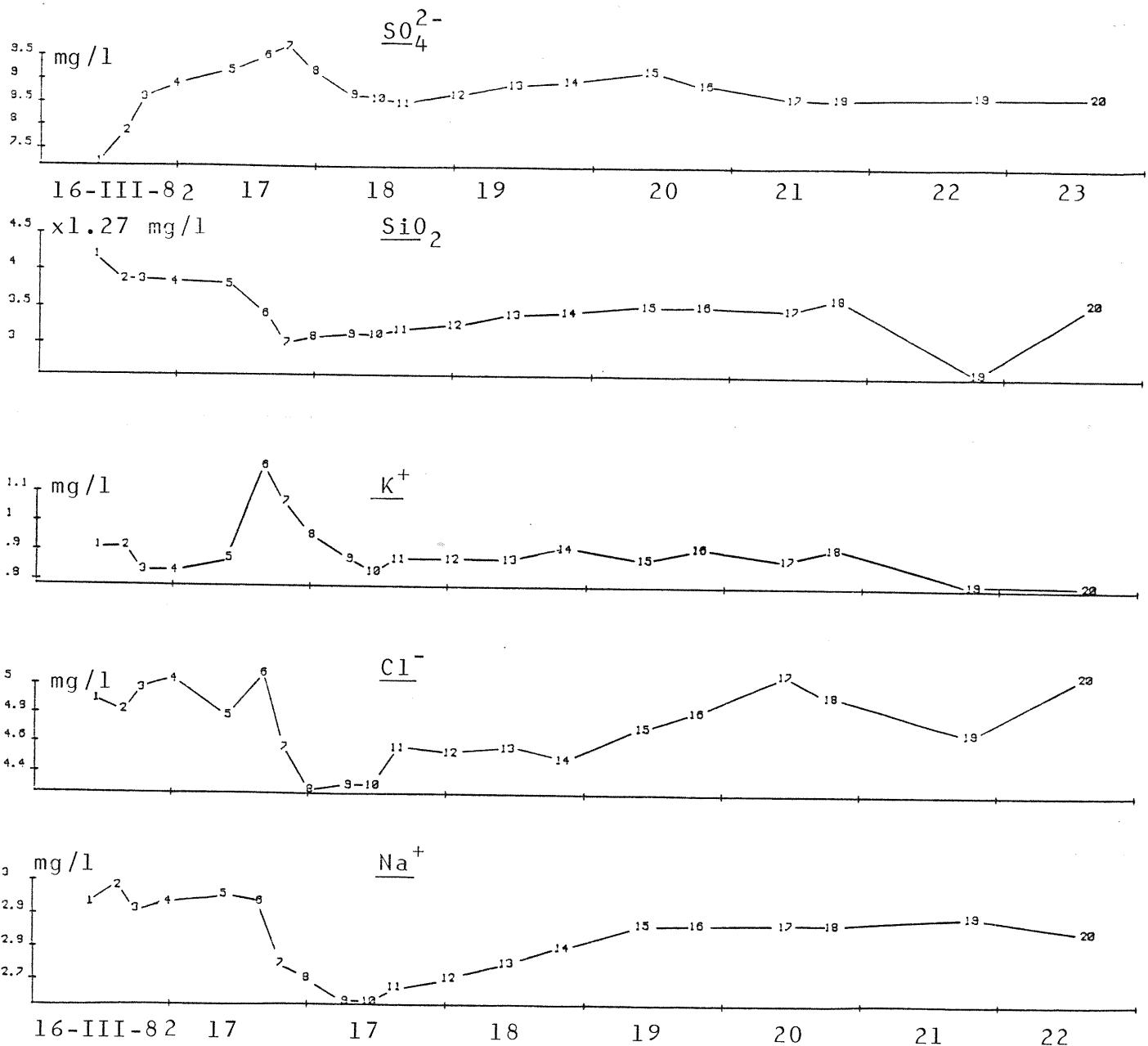
SORPT 16-03-82



SORPT 16-03-82



SORPT 16-03-1982



MATRICE DES CORRELATIONS

SORPT

crue du 16-03-82

ACP 1

	T	Cl-	SO4--	HCO3-	K+	Nat	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DpH	PCO2
T	1.000	.696	-.427	.739	-.284	.938	.962	.391	.787	-.469	.819	-.815
Cl-	.696	1.000	-.156	.716	.361	.916	.883	.551	.608	-.380	.800	-.234
SO4--	-.427	-.156	1.000	-.481	.419	-.182	-.571	-.289	-.482	.688	-.545	.384
HCO3-	.739	.716	-.481	1.000	-.447	.767	.899	.790	.624	-.708	.799	-.285
K+	-.284	.361	.419	-.447	1.000	.385	-.501	-.402	-.359	.614	-.336	.110
Nat	.938	.916	-.182	.767	.385	1.000	.740	.523	.844	-.350	.620	-.249
Mg++	.962	.883	-.571	.899	-.501	.740	1.000	.578	.718	-.795	.812	-.463
Ca++	.391	.551	-.289	.790	-.402	.523	.578	1.000	.418	-.533	.589	.285
SiO2	.787	.608	-.492	.524	-.359	.644	.718	.418	1.000	-.466	.785	-.652
Q	-.469	-.380	.698	-.708	.614	-.353	-.795	-.573	-.466	1.000	-.550	.210
DpH	.819	.600	-.545	.799	-.336	.623	.812	.569	.795	-.550	1.000	-.785
PCO2	-.615	-.234	.384	-.285	.110	-.246	-.463	.205	-.652	.213	-.785	1.000

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR.PROPRE	7.30	1.80	1.43	.58
VAR.EXPRIMEE.	58.34	14.38	11.39	4.32
VAR.CUMULEE.	58.34	73.32	85.21	90.08

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.930	.270	-.139	.202
Cl-	.731	.439	.341	-.262
SO4--	-.600	.457	.301	.478
HCO3-	.924	-.389	.293	.267
K+	-.391	.812	-.315	-.346
Nat	.780	.472	.295	-.294
Mg++	.951	-.122	.019	-.311
Ca++	.670	-.182	.537	.193
SiO2	.921	.267	-.264	-.100
Q	-.732	.525	-.078	.255
DpH	.915	.357	-.257	.218
PCO2	-.549	-.182	.761	-.242

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
16-10.30	1	.1939	.2001	.2264	.2002
16-15.15	2	.0666	.2001	.2001	.2848
16-18.15	3	.0889	.0012	.3556	.0164
16-23.45	4	.0882	.00300262
17-09.15	5	.0212	.0972	.3109	.2515
17-15.40	6	.0212	.4801	.0354	.0104
17-19.20	7	.1417	.1234	.0288	.0017
17-23.45	8	.1357	.2001	.0199	.0058
18-06.30	9	.0913	.0362	.0446	.0024
18-11.20	10	.0357	.0681	.2606	.0030
18-15.40	11	.0225	.0308	.2143	.0072
19-00.50	12	.0198	.2354	.0089	.0018
19-10.45	13	.0022	.0259	.0052	.0102
19-20.20	14	.0024	.0085	.0059	.0046
20-10.00	15	.0004	.0007	.0668	.2271
20-19.30	16	.0012	.0001	.0675	.0003
21-11.00	17	.0062	.0025	.1581	.0249
21-19.00	18	.0004	.0011	.0097	.1810
22-19.30	19	.0001	.0013	.1577	.0018
23-15.30	20	.0534	.0044	.0017	.1016

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

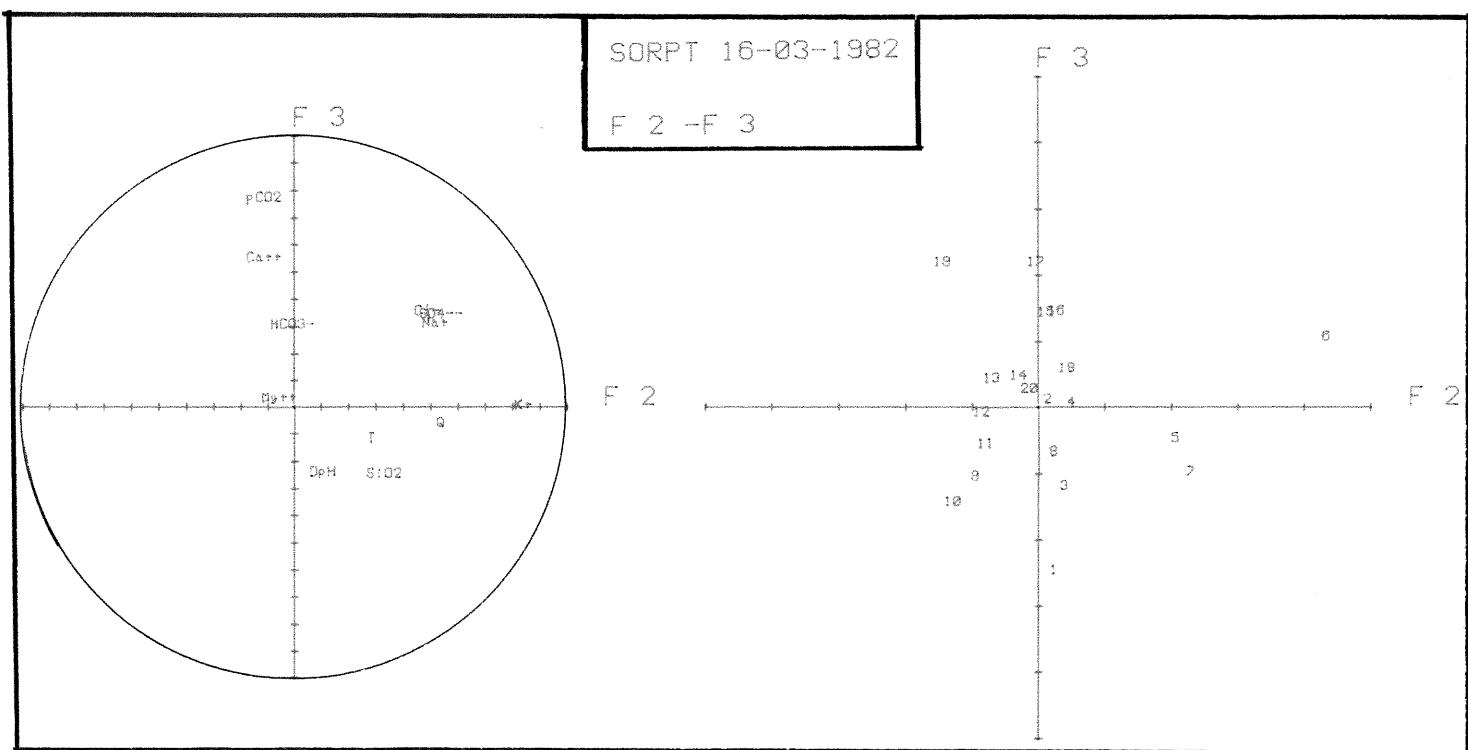
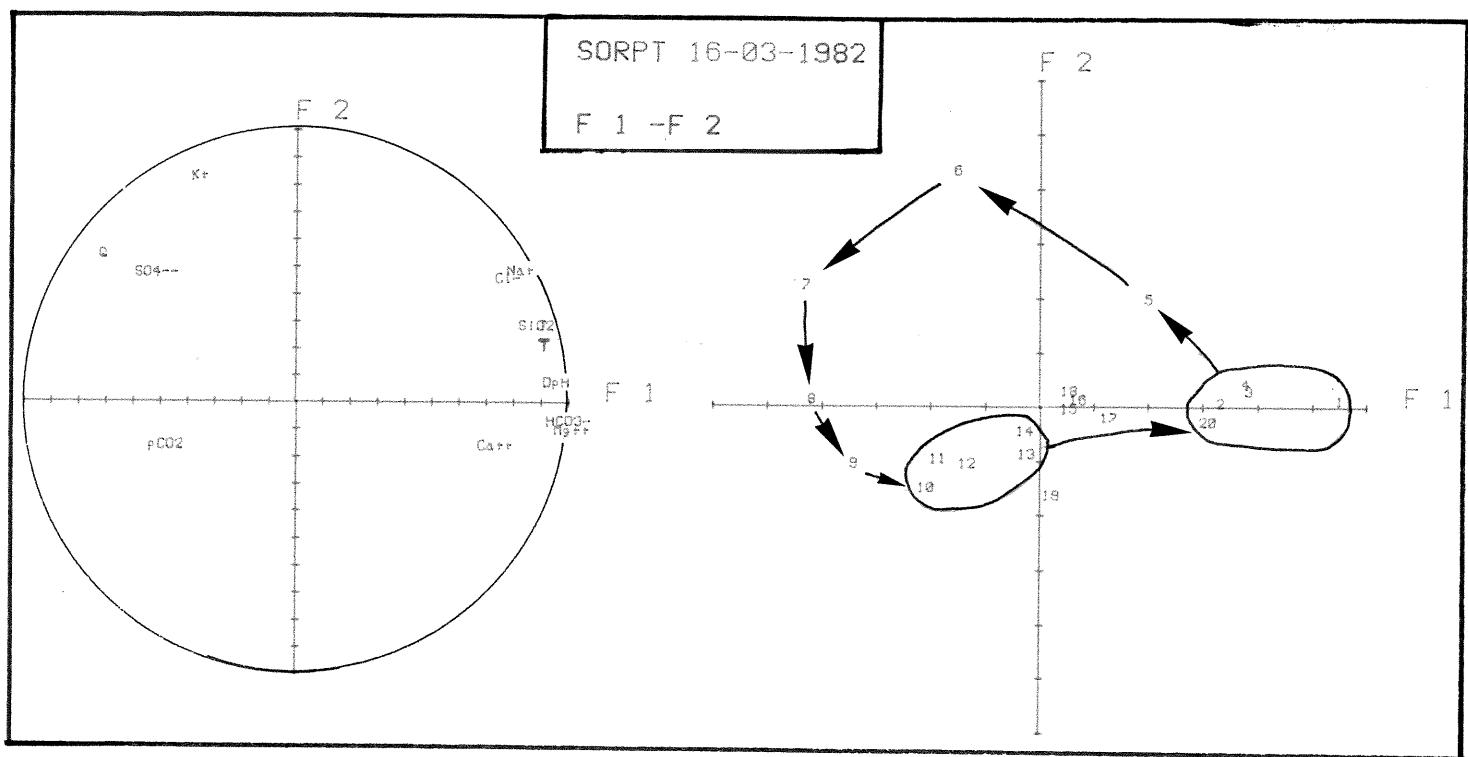
	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.791	.865	.884	.985
Cl-	.534	.722	.843	.947
SO4--	.360	.569	.628	.907
HCO3-	.854	.862	.947	.952
K+	.153	.812	.812	.931
Nat	.608	.931	.918	.927
Mg++	.905	.921	.921	.922
Ca++	.449	.482	.720	.802
SiO2	.673	.745	.815	.925
Q	.536	.812	.818	.883
DpH	.937	.840	.906	.952
PCO2	.302	.335	.913	.972

CARRES DES M.COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
16-10.30	1	.744	.744	.925	.951
16-15.15	2	.658	.658	.659	.993
16-18.15	3	.298	.301	.903	.915
16-23.45	4	.972	.980	.980	.982
17-09.15	5	.248	.541	.567	.913
17-15.40	6	.131	.831	.935	.941
17-19.20	7	.729	.892	.903	.903
17-23.45	8	.937	.937	.965	.968
18-06.30	9	.812	.895	.976	.978
18-11.20	10	.494	.712	.917	.956
18-15.40	11	.685	.851	.913	.925
19-00.50	12	.644	.933	.959	.982
19-10.45	13	.124	.498	.558	.628
19-28.20	14	.136	.261	.329	.351
28-18.00	15	.018	.925	.822	.721
28-19.30	16	.060	.961	.772	.774
21-11.00	17	.132	.145	.932	.876
21-19.00	18	.024	.941	.156	.648
22-19.30	19	.001	.266	.874	.676
23-15.30	20	.752	.768	.772	.892

COMPOSANTES PRINCIPALES

US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
16-10.30	1	5.156	.348	-.2542	-.968
16-15.15	2	3.054	-.348	.352	-1.924
16-18.15	3	3.529	.208	-1.260	.438
16-23.45	4	3.474	.330	-.305	.553
17-09.15	5	1.721	1.869	-.557	1.714
17-15.40	6	-1.721	4.155	1.005	-.349
17-19.20	7	-4.455	2.106	-1.033	-.141
17-23.45	8	-4.358	-.352	-.253	-.281
18-06.30	9	-3.575	-1.140	-1.128	-.162
18-11.20	10	-2.358	-1.565	-1.517	.866
18-15.40	11	-2.133	-1.252	-.638	-.230
19-00.50	12	-1.630	-1.128	-.159	-.108
19-10.45	13	-.552	-.965	.386	.393
19-28.20	14	-.578	-.553	.410	.291
28-18.00	15	.238	-.154	1.380	.562
28-19.30	16	.403	.245	1.388	-.059
21-11.00	17	.938	-.302	2.125	-.533
21-19.00	18	.238	.201	.526	-1.086
22-19.30	19	-.112	-1.710	2.122	.145
23-15.30	20	2.734	-.398	.218	.090



SOURCE DE FONTILLE

Description des variations de la chimie des eaux
lors de la crue du 01.04.82

Cette crue est la dernière du cycle. C'est une crue de faible amplitude puisque le débit maximum ne dépasse pas $0.09\text{m}^3/\text{s}$.

La minéralisation diminue légèrement au début de la crue, puis augmente. En décrue, elle reste relativement constante et plus élevée qu'avant la crue.

L'ACP1 "Fontille 01.04.82" permet de décrire les variations des différents éléments.

Le facteur F1 oppose HCO_3^- et Ca^{2+} à K^+ , Na^+ , SiO_2 et dans une moindre mesure Mg^{2+} . Dans l'espace des US la décrue (US 7.8.9.10) associée à de relativement fortes teneurs en Ca^{2+} HCO_3^- et SO_4^{2-} , est opposée aux US de montée de crue (US. 1.2.3) associées à de fortes teneurs en SiO_2 , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ .

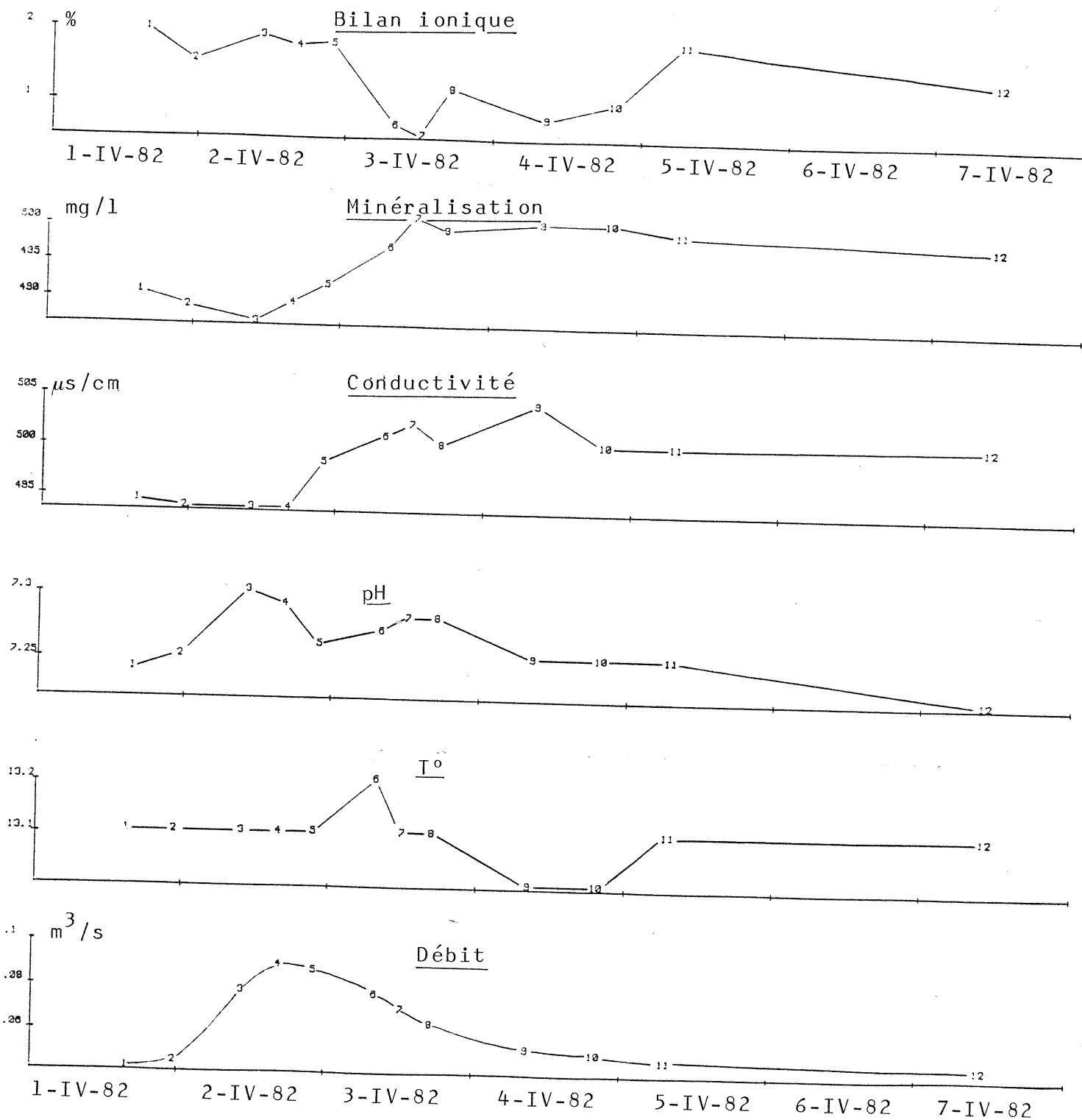
Le facteur F2 oppose le débit et le DpH à la pCO_2 équilibrante et au Mg^{2+} . Dans l'espace des US, les prélevements de la pointe de crue pauvres en pCO_2 et en Mg^{2+} s'opposent à toute les autres US.

Chronologiquement, on observe une légère baisse de HCO_3^- et Ca^{2+} associée à des valeurs constantes en Mg^{2+} . Puis, Mg^{2+} et la pCO_2 diminuent alors que HCO_3^- et Ca^{2+} restent constants. Na^+ , SiO_2 puis K^+ augmentent. Avec les fortes valeurs de débit, le DpH atteint sa valeur maximale et Mg^{2+} et la pCO_2 leurs valeurs les plus faibles. Ensuite les teneurs en Mg^{2+} croissent à nouveau ainsi que le pCO_2 .

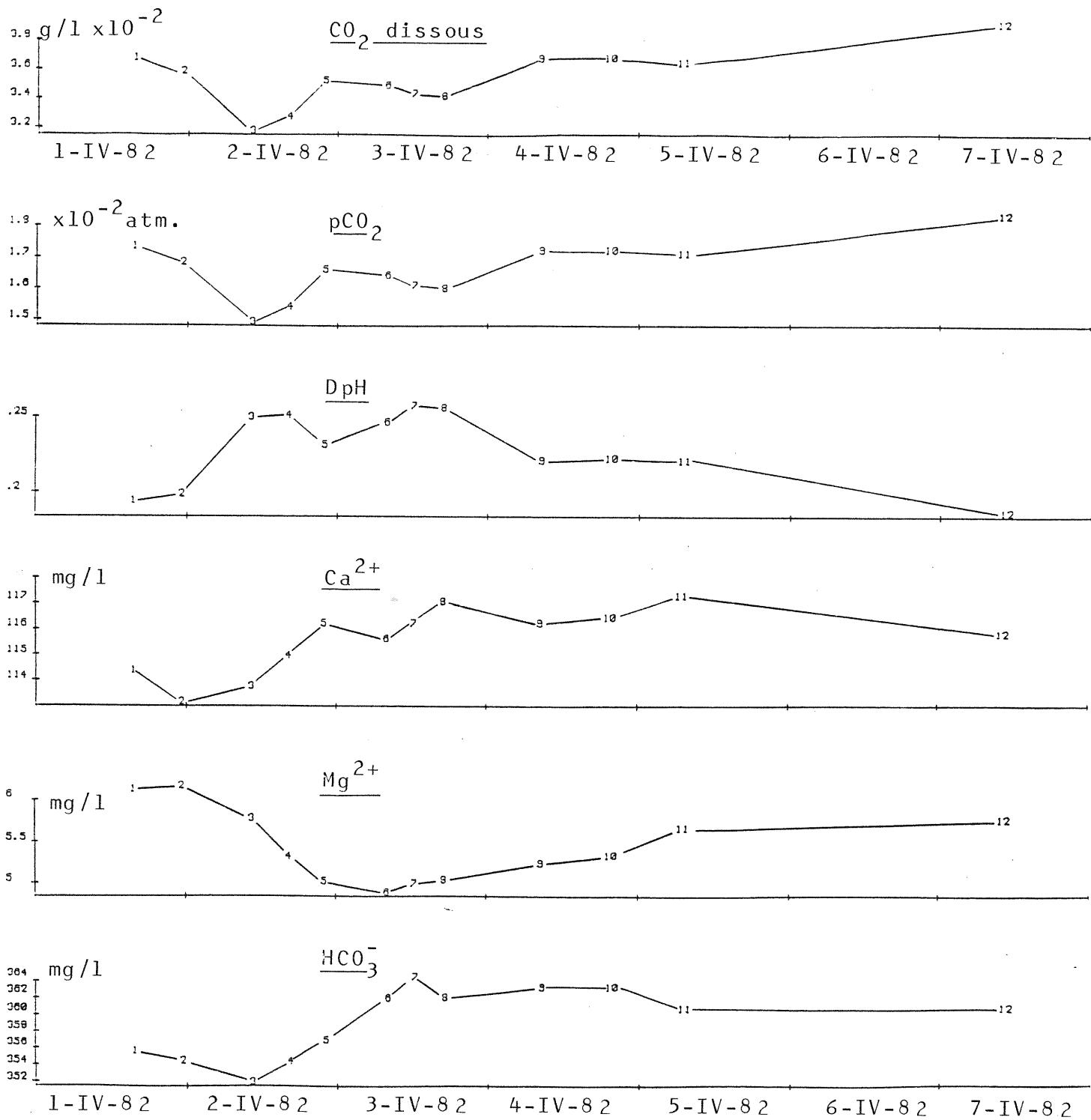
Le facteur F1 peut être interprété comme le temps de séjour. Il permet de distinguer les eaux à temps de séjour long dans la zone noyée (K^+ , Na^+ et SiO_2 faibles) de ceux à temps de séjour long dans une zone superficielle (Mg^{2+} faible).

F2 traduit pour sa part des échanges se produisant entre la zone superficielle et la zone noyée.

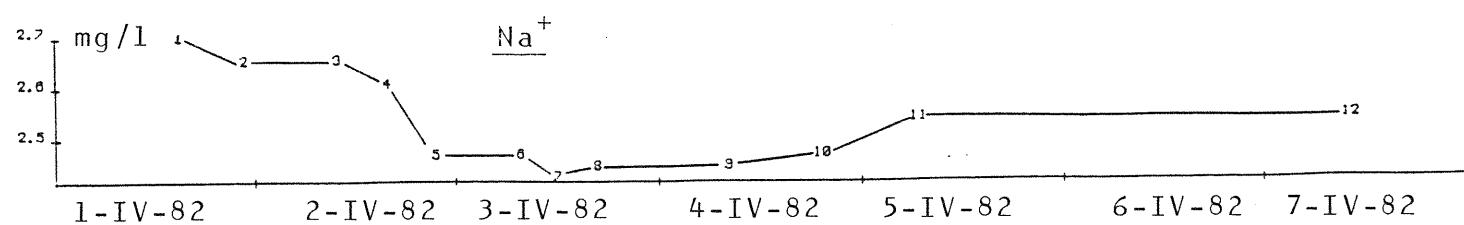
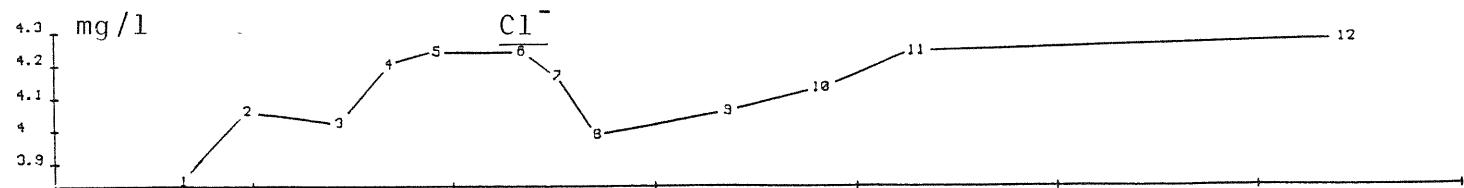
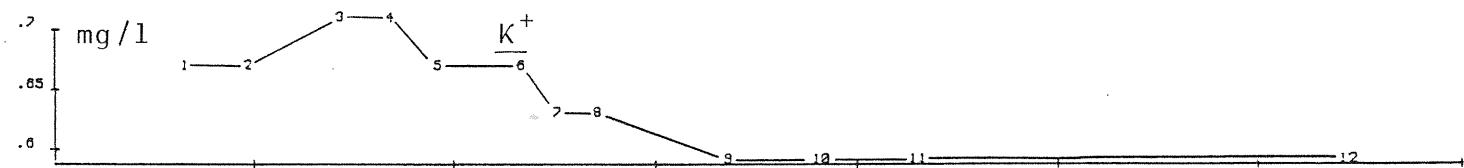
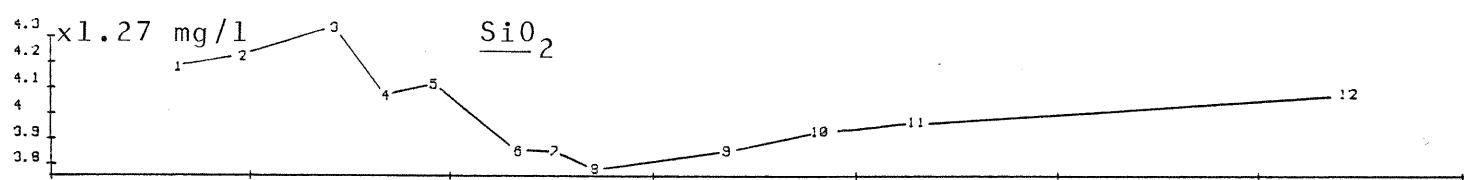
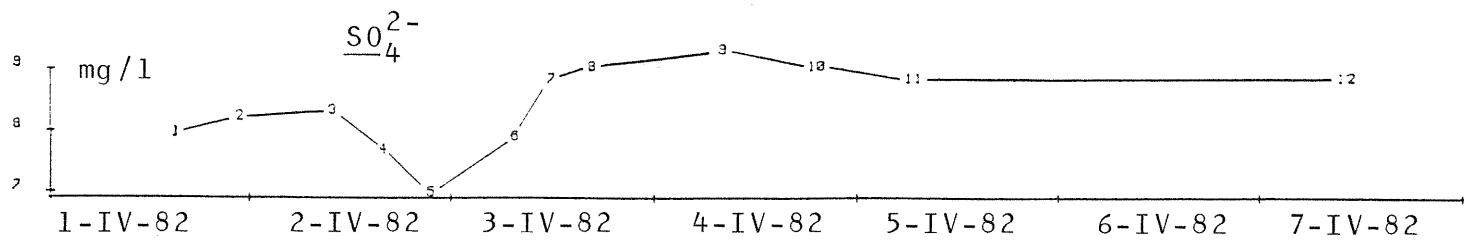
FONTILLE 1-04-82



FONTILLE 1-04-82



FONTILLE 01-04-1982



MATRICE DES CORRELATIONS

FONTILLE

crue du
1-04-82

ACP 1

	T	Cl-	SO4--	HCO3-	Kr	Nat	Mg++	Ca++	SiO2	Q	DpH	pCO2
T	1.000	.232	-.523	-.223	.510	.162	-.399	-.201	.894	.365	.216	-.266
Cl-	.232	1.000	-.159	.286	-.217	-.448	-.439	.393	-.231	.334	.116	.139
SO4--	-.523	-.159	1.000	.607	-.745	-.330	.029	.372	-.486	-.594	-.021	.289
HCO3-	-.223	.286	.607	1.000	-.796	-.359	-.593	.783	-.308	-.243	.120	.428
Kr	.510	-.217	-.745	-.796	1.000	.560	-.110	-.691	.584	.638	.345	-.729
Nat	.162	-.448	-.330	-.253	.560	1.000	.965	-.912	.958	-.195	-.428	-.115
Mg++	-.399	-.430	.829	-.593	-.110	.965	1.000	-.649	.742	-.616	-.721	.272
Ca++	-.201	.398	.372	.789	-.691	-.812	-.649	1.000	-.802	-.801	.259	.261
SiO2	.894	-.231	-.466	-.908	.584	.958	.742	-.802	1.000	.812	-.325	-.153
Q	.365	.334	-.594	-.243	.638	-.195	-.816	-.801	.812	1.000	.777	-.757
DpH	.216	.116	-.021	.120	.345	-.420	-.721	.259	-.375	.777	1.000	-.834
pCO2	-.266	.139	.289	.420	-.728	-.115	.272	.261	-.153	-.757	-.934	1.000

	F 1	F 2	F 3	F 4
VALEUR.PROPRE	5.25	3.84	1.38	.69
VAR.EXPRIMEE.x	43.73	32.01	11.49	5.25
VAR.CUMULEE.x	43.73	25.74	87.23	92.99

SATURATIONS

	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.314	.466	.479	.657
Cl-	-.365	.329	.715	-.290
SO4--	-.681	-.470	-.482	.183
HCO3-	-.965	-.051	.007	.172
Kr	.923	.542	-.262	.374
Nat	.905	-.341	-.036	.370
Mg++	.842	-.734	-.215	.335
Ca++	-.891	.140	.084	-.061
SiO2	.908	-.209	.104	-.260
Q	.164	.952	.245	-.225
DpH	-.173	.887	-.392	.340
pCO2	-.375	-.768	.471	.014

CONTRIBUTION DES US A L'INERTIE DU NUAGE

1	.1274	2	.1021	3	.1365	4	.0822	5	.0748
6	.0819	7	.0575	8	.0680	9	.0789	10	.0636
11	.0440	12	.0630						

CONTRIBUTION DES US A LA DETERMINATION DES FACT.

CARRES DES CORRELATIONS
MULT. VARIABLES-VARIETES FAC.

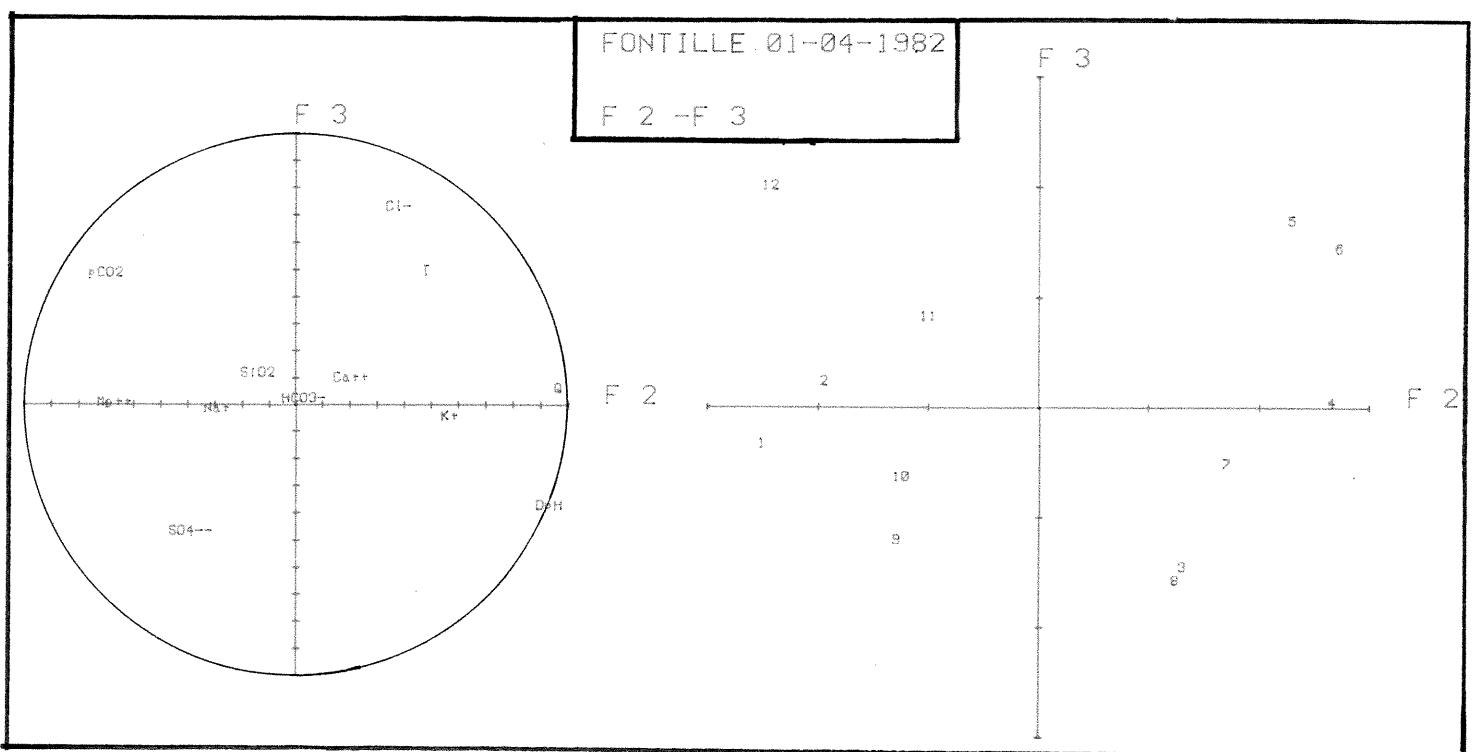
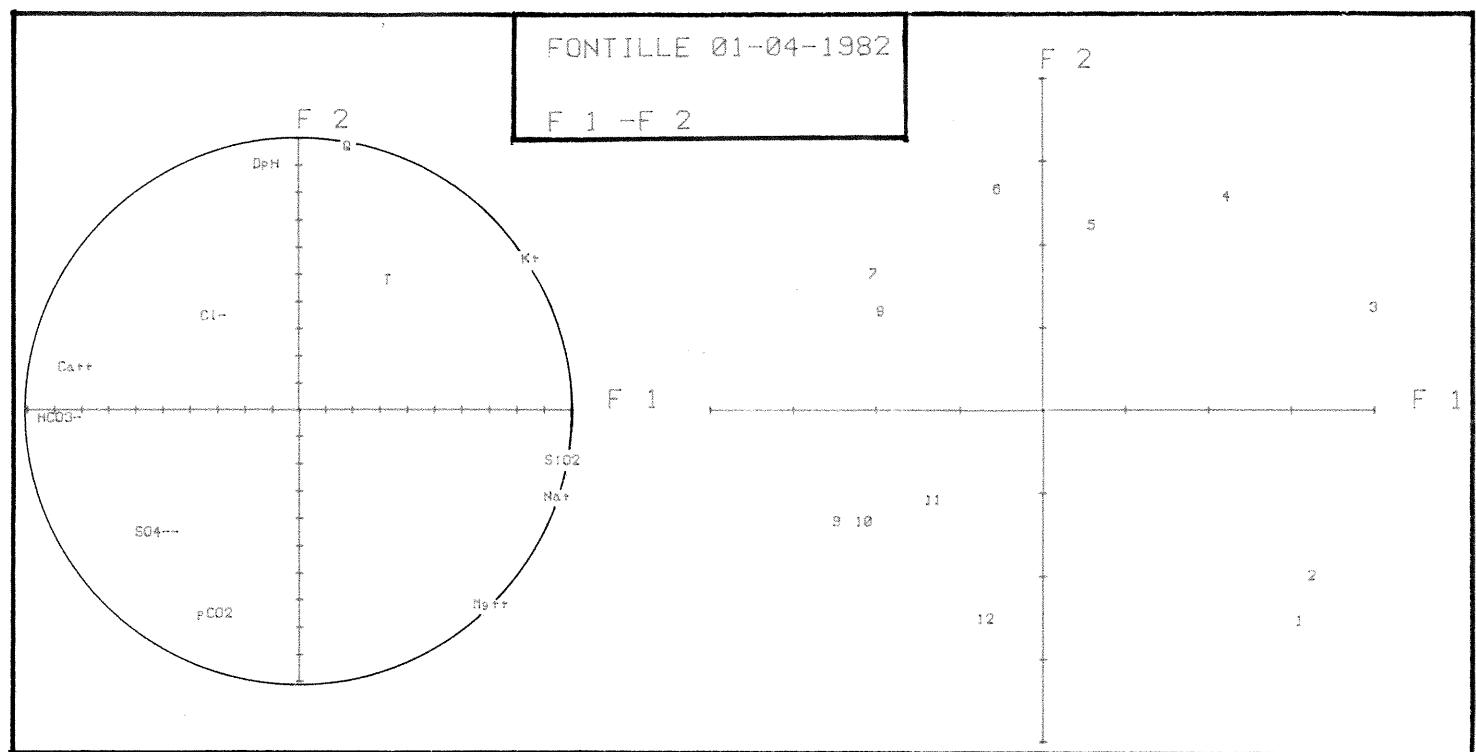
	F 1	F 2	F 3	F 4
T	.899	.315	.545	.377
Cl-	.133	.242	.753	.936
SO4--	.361	.582	.819	.829
HCO3-	.931	.333	.934	.363
Kr	.677	.971	.975	.980
Nat	.819	.935	.936	.941
Mg++	.412	.951	.951	.953
Ca++	.794	.813	.820	.824
SiO2	.924	.868	.878	.946
Q	.027	.932	.934	.995
DpH	.038	.816	.970	.972
pCO2	.141	.730	.352	.952

CARRES DES M.COS. DES US
AVEC LES VARIETES FACT.

COMPOSANTES PRINCIPALES

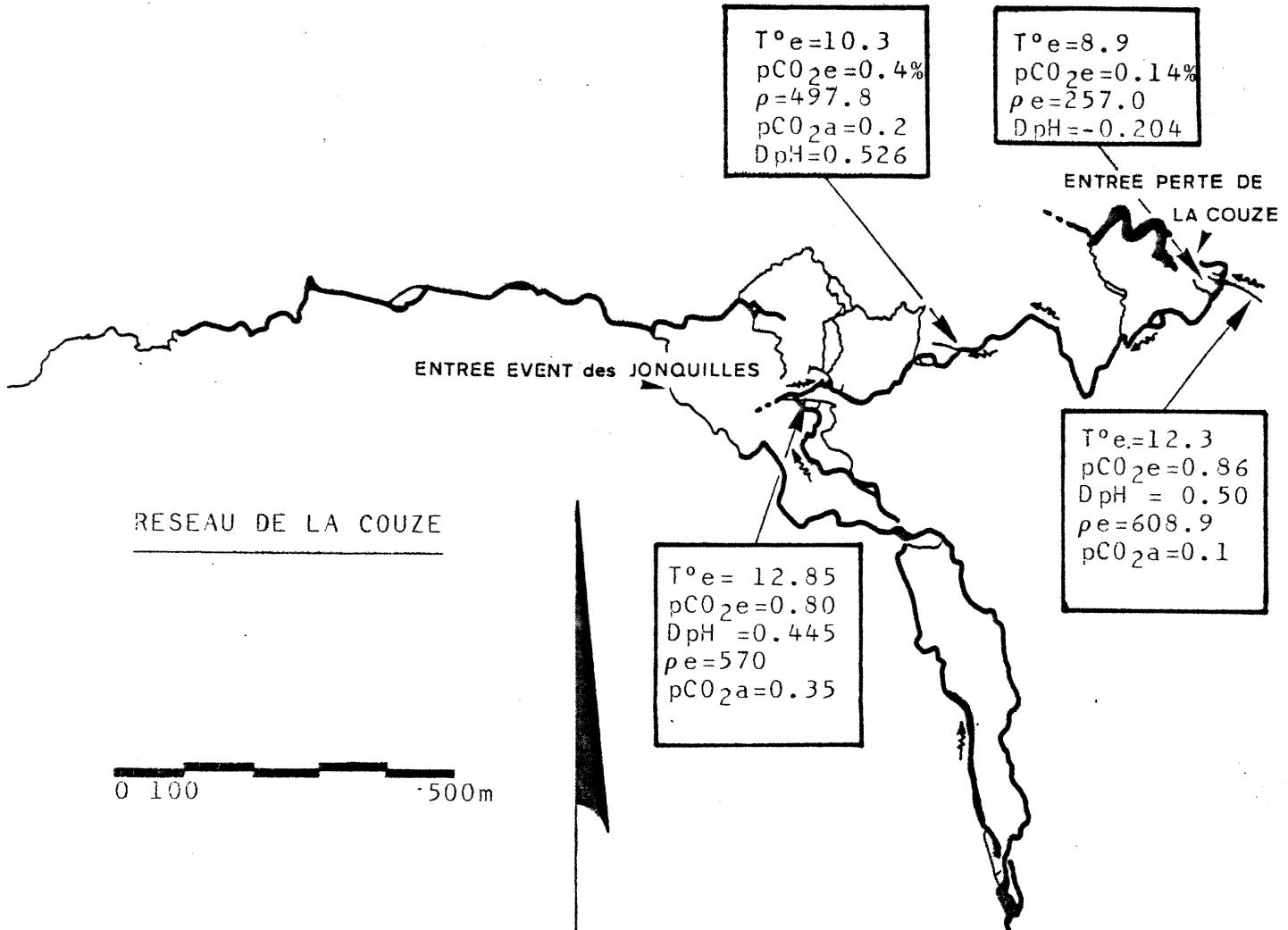
	US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
01-15.20	1	2.953	-.2.613	-.354	.365	
01-23.00	2	3.109	-.2.956	.199	.257	
02-10.00	3	3.042	1.194	-.1.496	-.414	
02-18.00	4	2.063	2.527	-.086	-.779	
02-21.35	5	.454	2.173	1.649	-.1.236	
03-07.35	6	-.728	2.596	1.404	1.504	
03-12.00	7	-.2.198	1.353	-.568	.378	
03-16.45	8	-.2.092	1.131	-.1.621	1.011	
04-08.15	9	-.2.534	-.1.400	-.1.243	-.592	
04-13.45	10	-.2.347	-.1.403	-.584	-.032	
05-07.10	11	-.1.516	-.1.153	.788	.129	
07-10.20	12	-.907	-.2.387	1.962	-.039	

	US	N	F 1	F 2	F 3	F 4
01-15.20	1		.473	.347	.355	.306
01-23.00	2		.657	.945	.348	.352
02-10.00	3		.753	.825	.939	.348
02-18.00	4		.360	.699	.899	.949
02-21.35	5		.019	.458	.710	.852
03-07.35	6		.045	.616	.783	.975
03-12.00	7		.583	.890	.929	.946
03-16.45	8		.449	.580	.848	.952
04-08.15	9		.611	.783	.919	.961
04-13.45	10		.602	.812	.868	.985
05-07.10	11		.363	.572	.670	.673
07-10.20	12		.069	.629	.951	.951



ANNEXE IX

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU ET pCO_2 DE L'EAU
DANS LE RESEAU SPELEOLOGIQUE DE LA COUZE



CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU
ET pCO_2 DE L'AIR DANS LE RESEAU DE LA COUZE

BLAGOUR
 $T^{\circ}e = 12.05$
 $pCO_2e = 0.66$
 $DpH = 0.424$
 $\rho = 536.8$

$T^{\circ}e$ = température de l'eau
 pCO_2e = pCO_2 équilibrante de l'eau
 DpH = DpH de l'eau
 ρ = Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$
 pCO_2a = pCO_2 atmosphérique

mesures effectuées les
17 et 18 Mars 1984.

TOPOGRAPHIE du COMITE DEPARTEMENTAL
DE SPELEOLOGIE DE LA CORREZE-1982-

$T^{\circ}e = 12.75$
 $pCO_2e = 1.19$
 $DpH = 0.251$
 $\rho = 565.2$
 $pCO_2a = 0.7$

