



PROJET INFORMATIQUE- STATISTIQUE

IUT STID, Semestre 3



2019-2020

Sommaire

1.	Présentation du projet.....	4
1.1.	Contexte scientifique	4
1.2.	Problématique.....	4
1.3.	Zone d'étude	4
1.4.	Méthodologie.....	6
1.5.	Matériel.....	8
1.5.1.	Tubes piézométriques.....	8
1.5.2.	Sondes piézométriques	9
1.5.3.	Sondes aux exutoires	9
1.5.4.	Mesure des débits : H_flume.....	10
1.5.5.	Pluviomètre selon le principe de pesée	10
1.6.	Température et pression atmosphérique	11
1.7.	Données supplémentaires de météorologie sur le long-terme (1959-2018).....	11
1.8.	Formules convertissant les hauteurs d'eau en débits.....	11
2.	Détails des zones d'études.....	13
2.1.	Couple 1 : Le sous bassin du Pountarrou	13
2.1.1.	Généralités sur le site	13
2.1.2.	Site 1 : ZH_101	14
2.1.3.	Site 2 : ZH_102	16
2.1.4.	Site 3 : ZH_103	17
2.1.5.	Site 4 : ZH_104	18
2.1.6.	Le sous bassin témoin du Pountarrou.....	20
2.1.	Couple 2 : Le sous bassin du Pinata	21
2.1.1.	2.1.1. Généralités sur le site	21
2.1.2.	Site 5 : ZH_105	21
2.1.3.	Le sous bassin témoin du Pinata	23
2.2.	Mesure exutoire Bassin du Madres	24
3.	Traitement de données	25
3.1.	Nettoyage et homogénéisation des données	25
3.2.	Ré-échantillonnage des données.....	25
3.3.	Création d'une base de données	25
4.	Préliminaires.....	26
4.1.	Premières visualisations de données.....	26
4.2.	Test de normalité	27
4.3.	Test d'égalité de moyennes	27
5.	Statistiques multivariées.....	28
5.1.	Etude du changement climatique.....	28
5.2.	Etude des relations entre variables	28
5.2.1.	Corrélations « internes »	28

5.2.2.	Test d'indépendance du Khi-2	29
5.2.3.	Corrélations « croisées » (optionnel)	29
5.3.	Régression linéaire multiple	29
5.4.	Analyse en composantes principales (ACP).....	30
5.5.	Analyse cluster	30
6.	Méthode pour analyser l'impact des débits.....	31
6.1.	Comparaison des débits spécifiques	31
6.1.	Comparaison les temps de mémoire	31
7.	Cartographie	32
8.	Consignes pour rapport	33
9.	Chronogramme et permanence des enseignants.....	34

Liste des figures

Figure 1. Carte de situation générale.....	5
Figure 2. Bassin versant du Madres	5
Figure 3. Carte des couples choisis	7
Figure 4. Synoptique du principe d'instrumentation	8
Figure 5. Tube PVC perforé.....	9
Figure 6. Tube PVC disposé sur zone humide	9
Figure 7. Sondes Rugged Troll 100	9
Figure 8. Sonde Solinst	9
Figure 9. Disposition d'installation du pluviomètre	11
Figure 10. Pluviomètre OTT L200.....	11
Figure 11. Carte Bassin du Madres instrumenté	13
Figure 12. Site ZH 101	14
Figure 13. implantation H-Flume N°1	15
Figure 14. Vue amont du H-Flume N°2.....	15
Figure 15. Site ZH 102.....	16
Figure 16. Site N°2 ZH_102	16
Figure 17. station de jaugeage amont ZH_102	17
Figure 18. station de jaugeage aval ZH_102.....	17
Figure 19. Site ZH 103.....	18
Figure 20. Exutoire bassin témoin du Pountarrou.....	20
Figure 21. Carte instrumentation Pinata.....	21
Figure 22. H_flume exutoire bassin instrumenté Pinata	23
Figure 23. Exutoire du Pinata témoin	24
Figure 24. HL-flume bassin témoin Pinata	24
Figure 25. Schéma d'instrumentation bassin du Madres	24
Figure 26. Exemple de diagramme ombrothermique.....	26
Figure 27. Exemple de décomposition d'une série chronologique.....	28
Figure 28. Exemple de table de corrélations entre variables	28
Figure 29. Exemple de corrélogramme croisé pluie-débit	29
Figure 30. Exemple de classification hiérarchique	30

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristique couples choisis	6
Tableau 2. Caractéristiques techniques H-Flume.....	10
Tableau 3. Formules pour conversion hauteur d'eau en débits	11
Tableau 4. Dispositif piézométrique ZH 101	15
Tableau 5. Dispositif piézométrique ZH_102	17
Tableau 6. Dispositif piézométrique ZH 103	18
Tableau 7. Dispositif piézométrique ZH 105	22
Tableau 8. Exemple de tableau récapitulatif des données.....	33
Tableau 9. Chronogramme des activités	34
Tableau 10. Permanence des enseignants	34
Tableau 11. Contact des enseignants	35

1. Présentation du projet

1.1. Contexte scientifique

Les zones humides de tête de bassin sont très étudiées dans le domaine de l'hydrologie. Les enjeux sont nombreux pour ces milieux fragiles qui impactent aussi bien les écosystèmes que les activités anthropiques, alors même que plus de 50% de ces zones ont été détruites ou dégradées au cours du siècle dernier. Elles couvrent désormais 5 à 10% du territoire français et apparaissent communément comme des réservoirs de biodiversité mais aussi comme des "éponges". Cependant, l'analyse de la littérature montre que ce rôle d'éponge dans le stockage/déstockage d'eau est discutable. Réchauffement climatique : phénomène à décrire.

1.2. Problématique

Le projet vise donc à préciser le rôle hydrologique des zones humides en :

- Évaluant l'impact du changement climatique dans la zone d'étude,
- Évaluant l'impact des tourbières sur l'écoulement des rivières dans ce contexte de réchauffement climatique.

1.3. Zone d'étude

Le massif montagneux du MADRES s'inscrit dans la haute vallée de l'Aude et constitue une réserve de la ressource en eau (stock nival et forte densité de zones humides). Ce bassin d'une superficie avoisinant les 1000 Ha, reposant sur le socle granitique dit « pluton de Querigut » s'inscrit dans un paysage montagnard au relief doux.

Les boisements bordant les zones humides sont principalement constitués de sapins. Les altitudes oscillent entre 1600 m et 2469 m. Les milieux périphériques aux sites d'études sont caractérisés par de la sapinière et de la hêtraie sapinière.

Compte tenu de la nature géologique du site, de la topographie et du contexte météorologique de moyenne montagne, la plupart des zones humides de la tête de bassin versant de l'Aude sont de type « soligènes, dites de pentes ». Ces zones humides sont de tailles modestes (de 120 m² à 7,7 ha) et s'agencent en réseau sous la forme de mosaïque.

Table 1. Caractéristiques bassin du Madres

Spécificités	Surface du réseau (Ha)	Altitude moyenne	Longueur de Cours d'eau (Km) Source IGN	Nombre de ZH (FD+FC+ autres)	Surface total ZH dans le réseau Ha	Surface ZH Min/Max (ha))	Type de ZH (SDAGE)	Géologie Hydrogéomorphologie
Le Madres	943	1600 - 1800	17.32	109	59	0.012 / 7.7	7 Soligènes	Pluton de Querigut Massif cristallin – Arène granitique



Figure 1. Carte de situation générale

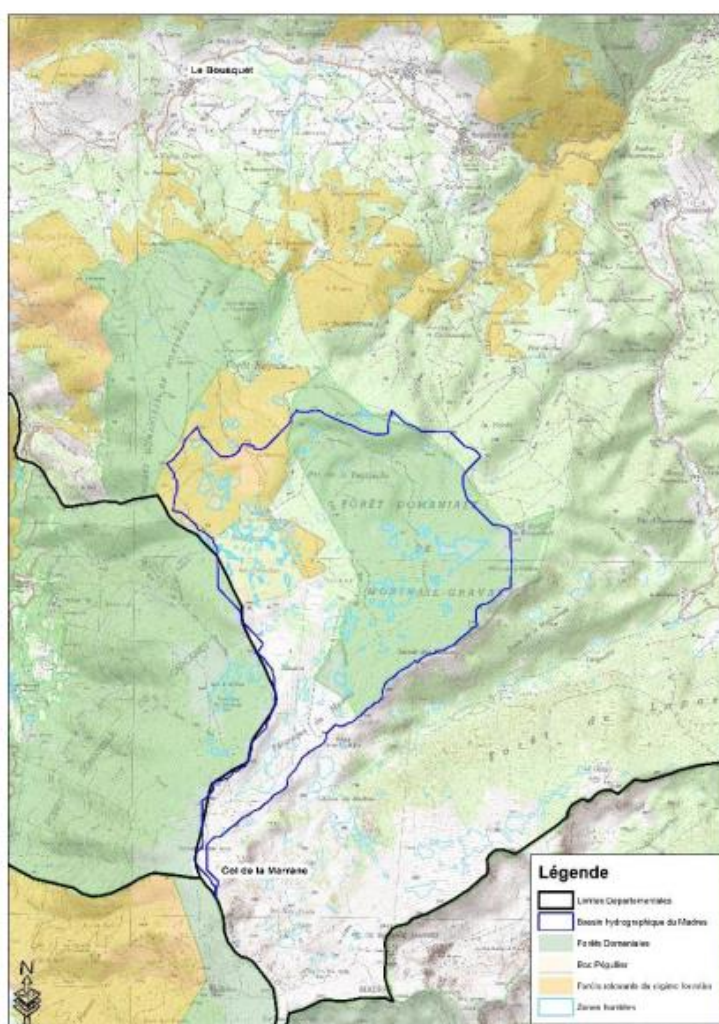


Figure 2. Bassin versant du Madres

1.4.Méthodologie

Sur le massif, les entités de zones humides sont étagées et semblent fonctionner en série. Par ailleurs, alors que les exutoires sont généralement facilement identifiables, les entrées d'eau sont quant à elle toujours diffuses. Ces zones humides ne se prêtent donc pas à un simple bilan comparatif « entrant / sortant ».

La méthodologie envisagée et validée est de raisonner en cumulatif sur des sous-bassins versants en faisant la comparaison entre d'une part un sous bassin pourvu de nombreuses zones humides (bassin instrumenté) et d'autre part un sous bassin dépourvu de zones humides (bassin témoin). Le terme de bassin instrumenté fait référence à la présence de piézomètres et/ou débitmètres. Le terme de bassin témoin fait référence à l'absence d'instrument sur le haut du bassin et l'absence de zones humides (ou présence marginale).

Pour cela, l'étude fine de la topographie, premièrement par Système d'Information Géographique (SIG puis par Modèle Numérique de Terrain (MNT construit à partir du LIDAR de septembre 2018), nous a permis d'identifier, au sein du bassin du Madres, plusieurs réseaux hydrographiques indépendants. Ce LIDAR, associé à une ortho-photographie, a permis de préciser les surfaces des zones humides ainsi que leur densité géographique. Les superficies en zones humides au sein de chaque sous bassins se sont avérées hétérogènes.

De cette manière, il a été possible de définir des paires de bassin (bassin instrumenté / bassin témoin). Afin de garantir une certaine redondance dans les observations, nous avons opté pour la définition de deux couples (Tableau 2). Dans le couple 1, il y a soit 4 sites instrumentés en plus des mesures de débit aux exutoires des bas de bassin. Concernant le couple 2, le sous bassin du PINATA, est caractérisé par une mosaïque de zones humides difficilement dissociables les unes des autres. Il a été décidé de répartir les sondes non plus sur 3 zones humides mais selon un gradient altitudinal.

Tableau 1. Caractéristique couples choisis

		Surface (ha)	ratio ZH / bassin (surface ZH)	dénivelée (alt. max / alt. min)	compacité (nombre gravelius')
Couple 1	Poutarron bassin instrumenté	179	27.2	1888 / 1592	2.1
	Poutarron bassin témoin	50	2.1	1887 / 1714	2.6
Couple 2	Pinata bassin instrumenté	180	20.1	1883 / 1467	1.9
	Pinata bassin témoin	35	8.5	1831 / 1445	2.8

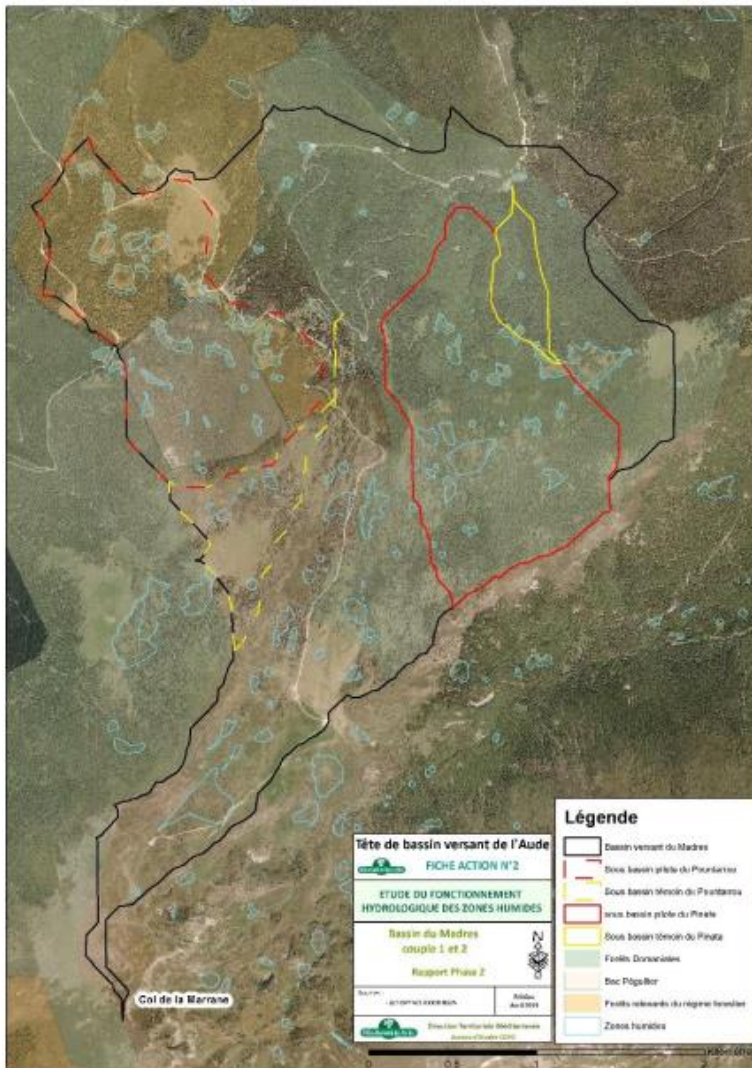


Figure 3. Carte des couples choisis

Le principe de l'instrumentation repose sur une analyse des bilans hydrologiques à deux échelles spatiales distinctes :

- À l'échelle de la **zone humide** : sur **2 zones humides du bassin du Pountarrou**, des **débitmètres** ont été installés en **sortie immédiate** (4 unités) et en amont (1 unité). Ces appareils permettent de **quantifier les écoulements de surface**. Pour cela ils ont été installés sur le substrat en place de manière à collecter la plus possible les écoulements provenant de la zone humide.
- À l'échelle du **bassin versant** : compte tenu du nombre important de zones humides, de leur fonctionnement en cascade et des entrées diffuses qui ne peuvent pas être mesurées, **il a été décidé d'apprécier les problématiques à l'échelle des bassins unitaires pour en faire la comparaison par couple (bassin instrumenté et bassin témoin).**

Le synoptique du principe d'instrumentation de la figure suivante donne l'allure des équipements sur le **couple du Pountarrou**. Sur le site de **Pinata**, les **zones humides étant étagées** avec **des flux d'eau difficilement mesurables**, il a été retenu de travailler uniquement sur **l'approche cumulative par bassin (suivi piézométrique selon une transection dans le sens de la pente générale** mais **aucune mesure de débit en sortie directe des zones humides)**.

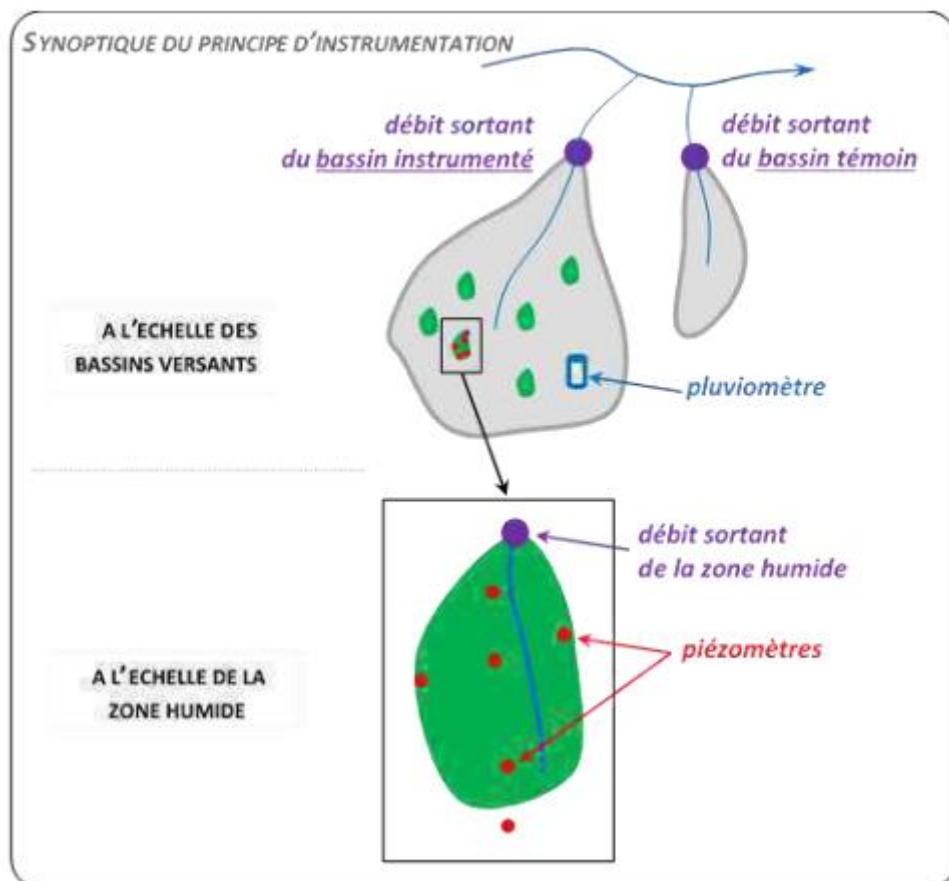


Figure 4. Synoptique du principe d'instrumentation

1.5. Matériel

L'instrumentation a été pensée de la manière suivante :

- Etre implantée avec justesse pour répondre aux objectifs du projet ;
- Limiter les impacts sur les milieux ;
- Etre suffisamment robuste pour résister aux conditions climatiques hivernales ;
- Tenir compte de l'éloignement (2 h de route depuis les bureaux ONF de Perpignan) ;
- Rationaliser les investissements et le temps de collecte de données ;
- Etre autonome en énergie et en enregistrement des données ;
- Etre suffisamment discrète pour la faune et les usagés.

1.5.1. Tubes piézométriques

La fabrication s'est faite en interne à l'ONF en suivant pour partie le guide technique du programme life-nature « Tourbière de France » de 1998. Des tubes PVC de diamètre 50 ont été percés avec une mèche de 8 mm sur la totalité du tube immergé. Chaque perçage est espacé de quelques cm (5 à 10). Le perçage a été effectué en atelier, évitant ainsi tous résidus de plastique dans les sites d'études. Un bouchon PVC a été collé pour éviter toute remontée de tourbe.

Ces tubes ont ensuite été doublement chemisés avec du géotextile pour limiter la contamination par des éléments fins. Chaque tube a été équipé d'un bouchon étanche sur la partie supérieure de manière à éviter que les précipitations s'y infiltrent directement et viennent perturber le niveau de l'aquifère.



Figure 5. Tube PVC perforé



Figure 6. Tube PVC disposé sur zone humide

1.5.2. Sondes piézométriques

Le choix s'est porté sur les sondes RUGGED TROLL 100 dont les caractéristiques sont les suivantes :

Le corps de sonde est en titane, conférant longévité importante et une absence de contaminant chimique par oxydation. Le capteur de pression (valeur absolue) est en céramique, offrant une très faible dérive dans la précision de la mesure. La batterie est au lithium, pour une durée de vie de 10 ans. La mémoire est de grande capacité (120 000 valeurs par paramètres) et permet d'espacer les campagnes de collecte des instruments. Dans le cas d'un intervalle de mesure horaire, la capacité de la mémoire correspond à 5000 jours.




Figure 7. Sondes Rugged Troll 100

Ces sondes sont de petites tailles et s'installent parfaitement dans un tube en PVC de diamètres 40 mm. Les sondes RUGGED TROLL 100 sont des sondes non ventilées et mesure la pression absolue sans correction instantanée avec la pression atmosphérique. En termes de précision², ces sondes sont annoncées avec une valeur de $\pm 0,1$ % de la pleine échelle (max. 9 m). Pour ce qui est de la résolution, on atteint des valeurs de $\pm 0,01$ % de la pleine échelle.

La correction sur la pression atmosphérique est réalisée par le biais de la sonde Rugged Baro Troll lors du déchargement des données. Cette sonde a été installée dans un puits sec sur le bassin du PINATA (altitude comprise entre 1600-1900 m).

Un kit Bluetooth et une application Android permettent de relever les données directement sur le terrain (nécessité toutefois d'extraire les sondes des puits de mesure).

54 Sondes ont été disposées en octobre 2018. Effectuant une mesure de pression et de température au pas de temps horaire, elles sont disposées dans chacun des piézomètres

 **Remarque :** Non utilisées dans ce projet, trois sondes AQUA TROLL 200 ont également été acquises. En plus de variables mesurées par les sondes précédentes (niveau d'eau (pression hydrostatique) et température) elles permettent de déterminer la valeur de conductivités des eaux.

1.5.3. Sondes aux exutoires

Le choix des sondes installées sur les débitmètres des exutoires dépend directement de l'appareillage retenu. Afin de quantifier le plus vite possible les débits sortants des quelques zones humides et des bassins, des gabarits de géométrie particulières ont été installés.



Figure 8. Sonde Solinst

Ces gabarits possèdent une courbe de tarage (correspondance hauteur d'eau / débit). Compte tenu de la sensibilité du débit en fonction de la hauteur d'eau, il est indispensable de mettre en place des sondes de grande précision. Pour cela, l'ONF a opté pour des capteurs de pression de type LevelVent M5 de la marque Solinst (Ontario, Canada) avec une pleine échelle de 5 mètres.

Une sonde de pression ventilée donne directement la correspondance de la hauteur d'eau ; il n'y a plus besoin de corriger en post-traitement la pression absolue avec une sonde barométrique. Ce type de capteur donne les meilleures performances.

Dans le cas de la sonde LevelVent, la précision est de 0,05% de la pleine échelle (max. 5 m).

1.5.4. Mesure des débits : H_flume

La valeur de débit est très sensible à celle de la hauteur d'eau mesurée ; la moindre erreur de mesure de la hauteur d'eau produira un écart important dans la valeur du débit. Il est donc primordial de mesurer précisément la hauteur d'eau c'est pourquoi les sondes de hauteur d'eau (pression hydrostatique) doivent être le plus précise possible (choix des LevelVent de marque Solinst).

La très large gamme de mesure de débit offerte par les canaux de type H-Flume est parfaitement adaptée aux sites : mesurer les très bas débits en période d'étiage et dimensionner les débitmètres pour la crue décennale.

Le dispositif hydrométrique complet comporte :

- 5 H_flume de tailles modestes (1 / 2 / 2,5 Foot) en sortie ou en bordure de 2 zones humides (Bac Pégulier). Ces canaux ont été installés « à dos d'homme » sans engin de manutention. L'impact sur le milieu est très minime.
- 4 H-Flume de taille importante (3 Foot) aux exutoires des bassins instrumentés et témoins. Compte tenu de leur masse (environ 250 kg), ces canaux ont été installés avec une pelle mécanique. Afin de bien concentrer les écoulements vers ces canaux de mesure, il a été nécessaire de procéder à des terrassements de chaque côté. L'impact sur les milieux reste raisonnable.

Les débitmètres installés sur les exutoires des bassins sont de type HL pour « large ». Ces gabarits sont plus ouverts que la version standard H afin de mesurer des débits de plus fortes intensités tout en ayant un gabarit compact. Compte tenu de l'exiguïté de certains sites d'implantation, nous avons opté pour ce type de débitmètre.

Tableau 2. Caractéristiques techniques H_flume

Type	Caractéristiques techniques						
	Quantité	Hauteur (cm)	Largeur (cm)	Longueur totale avec canal d'approche (cm)	Largeur section contrôle (cm)	Débit minimum mesurable (L/s)	Débit maximum mesurable (L/s)
H - 1 Foot	2	30,48	57,91	71,6	3,048	0,0198	54
H - 2 Foot	2	60,96	115,8	143,26	6,096	0,0396	311
H - 2,5 Foot	1	76,2	144,78	179,07	7,62	0,051	550
H _L - 3 Foot	4	91,44	292,6	228,6	18,29	0,164	1618

1.5.5. Pluviomètre selon le principe de pesée

Les pluviomètres à pesée consistent à quantifier l'évolution de la masse d'un récipient qui reçoit tous les types de précipitations (solides et liquide). Ce système présente l'avantage d'être peu gourmand en énergie. Une fois le récipient plein, un opérateur doit le vidanger afin de pouvoir poursuivre une saison de mesure. Parmi ces types d'appareils, celui qui est le mieux adapté au projet est le pluviomètre à pesée.

La mise en place de cet appareil mesure :

- L'intensité des précipitations,
- Le cumul,
- Le contenu du vase collecteur en temps réel et en temps non réel.

Cet outil est adapté à tous types de précipitations, il demande une maintenance faible (absence de pièces mobiles) ce qui est confortable pour ce site peu accessible en hiver.

En tenant compte de facteurs de marge comme la température et le vent, la mesure par pesée capture la quantité ainsi que l'intensité de toutes les précipitations. La surface de collecte est de **200 cm² avec une capacité du volume de réception de 1500 mm/m².**

~~La faible intensité lumineuse hivernale couplée à une batterie d'origine limitée est à l'origine d'interruptions d'alimentation électrique durant l'hiver 2018-2019. Une batterie de capacité augmentée a été acquise pour remédier au problème.~~



Figure 9. Disposition d'installation du pluviomètre



Figure 10. Pluviomètre OTT L200

1.6. Température et pression atmosphérique

Une sonde mesurant la température et la pression atmosphérique localement a été installée sur site. Les données sont disponibles au pas de temps horaire du 2018-10-18 au 2019-05-15.

1.7. Données supplémentaires de météorologie sur le long-terme (1959-2018)

Le système SAFRAN originalement développé pour la prévision d'avalanche sur le massif alpin a été étendu et évalué sur la France métropolitaine. SAFRAN utilise à la fois les observations sol et altitude des réseaux français et une ébauche provenant d'un modèle de prévision numérique du temps.

L'analyse SAFRAN est basée sur une méthode d'interpolation optimale à l'échelle de massifs, définis à partir d'un découpage de la France en zones climatologiquement homogènes. Les données sont dans un premier temps analysées par massif et par tranche **d'altitude (par pas de 300m)** via une interpolation optimale (au pas de temps 06h pour température, vent, humidité et au pas de temps 24h pour les précipitations).

Les analyses ainsi obtenues sont ensuite interpolées pour obtenir une analyse horaire (température, vent, humidité, précipitations, nébulosité) et des données de rayonnement (infrarouge et visible) sont obtenues via l'utilisation d'un schéma de transfert radiatif. Une interpolation spatiale est enfin réalisée pour projeter ces données sur une grille régulière de 8 km.

Dans, ce projet ont été réunies les données de météorologie **(1959/01/01-2018/12/31,** pas de temps journalier) suivantes : pluie, évaporation, température calculées sur Puyvalador (à 20 km du site d'étude)

1.8. Formules convertissant les hauteurs d'eau en débits

Tableau 3. Formules pour conversion hauteur d'eau en débits

H_flume ID	Type de H_flume	Formule hauteur pour débits	Remarque
H_flume N°1_ZH_101	2 Foot	$Q = 0.022285358 - 0.55496382 \text{ Hm}^{0.5} + 125.5275778 \text{ Hm}^{1.5} + 939.5717311 \text{ Hm}^{2.5}$	
H_flume N°2_ZH_101	2 Foot	$Q = 0.022285358 - 0.55496382 \text{ Hm}^{0.5} + 125.5275778 \text{ Hm}^{1.5} + 939.5717311 \text{ Hm}^{2.5}$	
H_flume N°3_ZH_102	1 Foot	$Q = -0.00133089 - 0.04462278 \text{ Hm}^{0.5} + 29.93951584 \text{ Hm}^{1.5} + 355.1746494 \text{ Hm}^{2.5}$	Amont
H_flume N°4_ZH_102	1 Foot	$Q = -0.00133089 - 0.04462278 \text{ Hm}^{0.5} + 29.93951584 \text{ Hm}^{1.5} + 355.1746494 \text{ Hm}^{2.5}$	drains bordant la zone ZH_102
H_flume N°5_ZH_102	2.5 foot	$Q = 0.042446953 - 0.90725263 \text{ Hm}^{0.4} + 108.676075 \text{ Hm}^{1.4} + 937.5943603 \text{ Hm}^{2.5}$	Aval

H_flume N°6_Pountarrou pilote	3 Foot	$Q = 0.010562184 - 0.02359366 \text{ Hm}^{0.5} + 315.8634991 \text{ Hm}^{1.5} + 1677.657531 \text{ Hm}^{2.5}$	
H_flume N°7_Pountarrou témoin	3 Foot	$Q = 0.010562184 - 0.02359366 \text{ Hm}^{0.5} + 315.8634991 \text{ Hm}^{1.5} + 1677.657531 \text{ Hm}^{2.5}$	
H_flume N°8_Pinata pilote	3 Foot	$Q = 0.010562184 - 0.02359366 \text{ Hm}^{0.5} + 315.8634991 \text{ Hm}^{1.5} + 1677.657531 \text{ Hm}^{2.5}$	
H_flume N°9_Pinata témoin	3 Foot	$Q = 0.010562184 - 0.02359366 \text{ Hm}^{0.5} + 315.8634991 \text{ Hm}^{1.5} + 1677.657531 \text{ Hm}^{2.5}$	

Avec Hm la hauteur d'eau mesurée en m, Q = débit en litre par seconde

2. Détails des zones d'études

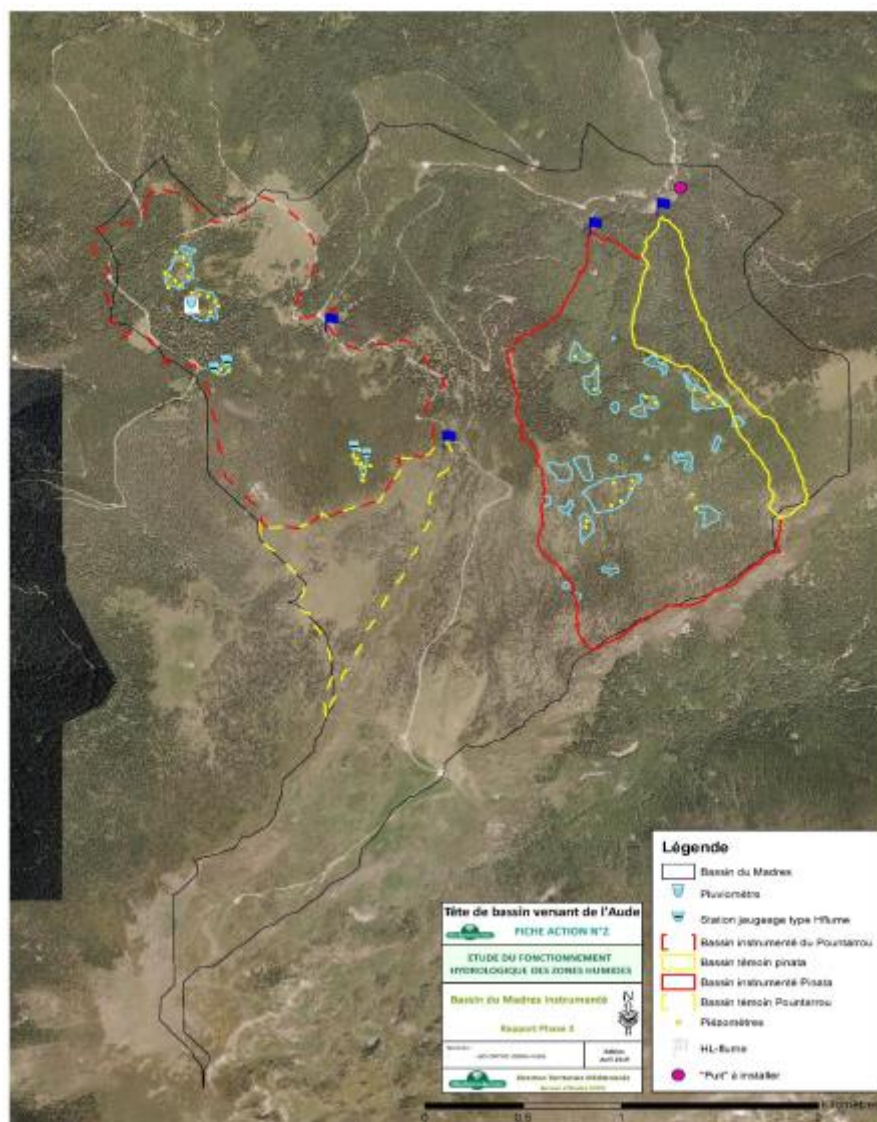


Figure 11. Carte Bassin du Madres instrumenté

2.1. Couple 1 : Le sous bassin du Pountarrou

2.1.1. Généralités sur le site

Situé sur le flanc ouest du bassin du Madres, il jouxte la limite départementale Aude-Ariège. D'une superficie de 185 hectares, il englobe la totalité de la forêt Départementale du Bac Pégullier et une partie de la forêt indivise de la Resclause.

Le département de l'Aude, propriétaire de l'Espace Naturel Sensible (ENS) du Bac Pégullier mène régulièrement des travaux de réouverture des zones humides en application du plan de gestion formalisé en 2011 avec pour objectif de valoriser les fonctions écologiques et hydrologiques de ces nombreuses tourbières. C'est un terrain privilégié d'expérimentation sur les **fonctions hydrologiques des milieux naturels**.

La forêt indivise de la Resclause, située sur le périmètre de 3 communes rurales (Escouloubre, Le Bousquet et Roquefort de Sault), est, elle aussi caractérisée par de nombreuses zones humides. Les zones pré ciblées dans le périmètre du bassin instrumenté du « Pountarrou », se différencient par une surface plus importante du fait d'un relief moins marqué. La naturalité y est également plus prégnante, la gestion patrimoniale passée n'a pas directement impacté (drainage, reboisement) ces milieux.

Chacun des sites présentés sur la carte ci-dessus a fait l'objet d'une implantation piézométrique spécifique visant à interpréter les écoulements (temporellement et spatialement). Ainsi pour chacune des cartes

présentées ci-après, une représentation des transections de mesure sont identifiés par des lignes en pointillées rouge. Le sens des écoulements est symbolisé par des flèches bleu.

2.1.2. Site 1 : ZH_101

Situé au sud du bassin et au sud de la forêt départementale, il a une superficie de 0.71 ha. Cette tourbière de pente est alimentée par des apports multiples du versant amont. L'épaisseur de tourbe est supérieure à 1 mètre, les habitats sont bien des habitats de tourbières et à l'aval, 3 exutoires ont été identifiés. La zone n'a pas subi de forte pression anthropique hormis le pastoralisme dont l'impact reste toutefois limité.

10 sondes Rugged Troll 100, ont été disposées avec pour premier critère l'approche visuelle du site (habitat).

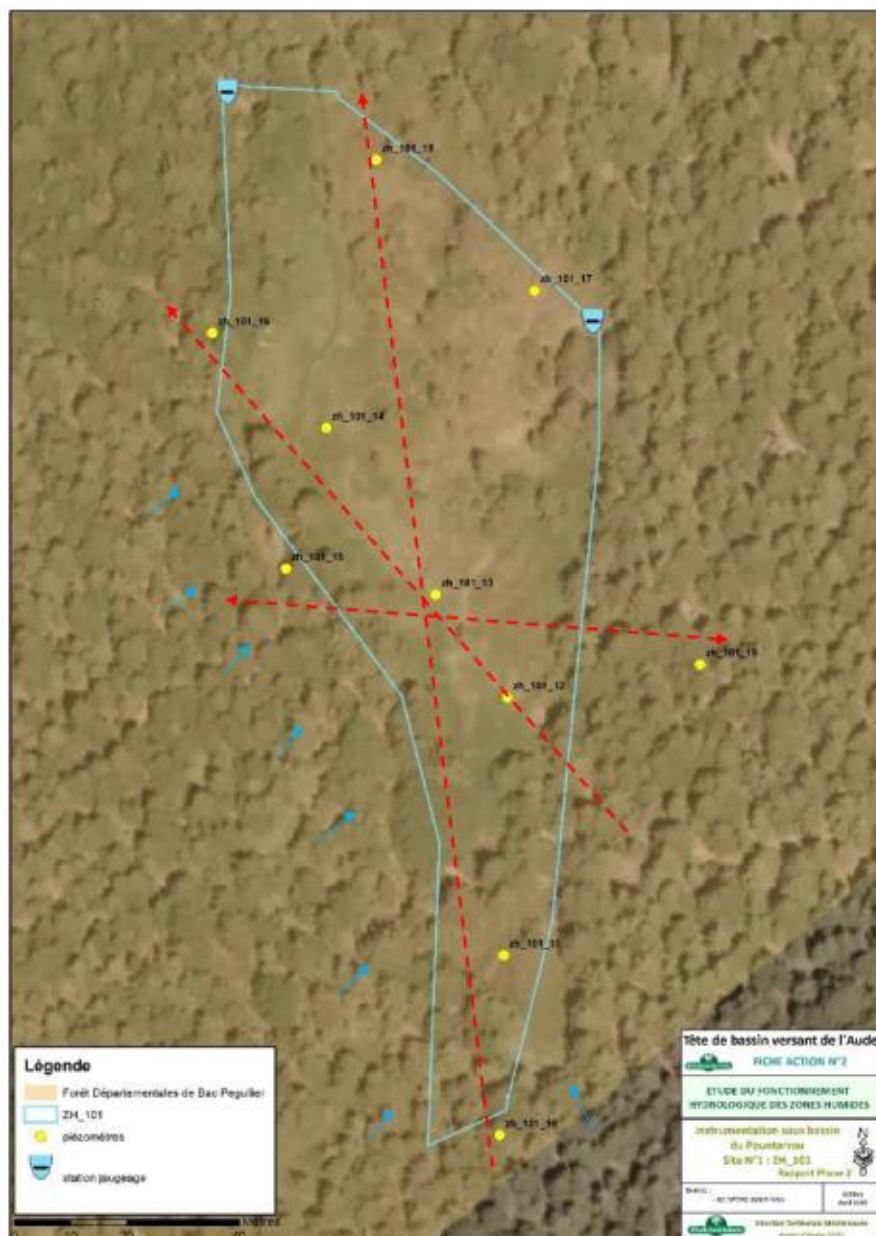


Figure 12. Site ZH 101

Tableau 4. Dispositif piézométrique ZH 101

Date du forage	Identifiant zone humide et numéro de piézomètre	N° de sonde	Haut de tube totale (cm)	Haut de tube extérieur	Hauteur de tube immergé	Nature du substrat fond de fouille	Nom Forêt	Sous BV	Remarques octobre 2018
03/10/2018	zh_101_10	10_604660	107,5	27,5	80	bloc cailloux	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	sans eau
	zh_101_11	11_604679	107,5	34,00	73,5	sable /moraine	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	présence d'eau
	zh_101_12	12_604684	207,5	50,00	157,5	sable /moraine	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	présence d'eau
	zh_101_13	13_604697	207,5	46,00	161,5		Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	présence d'eau
	zh_101_14	14_604739	207,5	89,5	118	sable /moraine	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	présence d'eau
	zh_101_15	15_604806	108,2	43,5	64,7	sable /moraine	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	sans eau
	zh_101_16	16_604809	107,2	26,4	0	sable /moraine	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	sans eau
	zh_101_17	17_60823	208,00	81,00	127	sable /moraine	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	présence d'eau
	zh_101_18	18_60824	204,5	76,2	128,3	sable /moraine	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	présence d'eau
	zh_101_19	19_604857	207,00	47,2	159,8	sable /moraine	Forêt Départementale du Bac Pegullier	Pountarou	sans eau

Sur les trois exutoires identifiés, seuls deux ont bénéficié de la pose de H-Flume pour obtenir la mesure de débit sortant. Le troisième point de mesure, situé entre les deux autres, représente un point de résurgence quand la zone humide est en surcharge d'eau (surverse). Cet exutoire intermittent fera l'objet d'une instrumentation visant à récupérer le débit pour le réinjecter dans un des deux H-Flumes.



Figure 13. implantation H-Flume N°1



Figure 14. Vue amont du H-Flume N°2

2.1.3. Site 2 : ZH_102

Situé à l'entrée de la forêt départementale, d'une superficie inférieure à ½ hectare (0.4065ha) ce complexe présente de nombreux facteurs concourant à mener une instrumentation expérimentale unique.



Figure 15. Site ZH 102



Figure 16. Site N°2 ZH_102

Tableau 5. Dispositif piézométrique ZH_102

Date du forage	Identifiant zone humide et numéro de piézomètre	N° de sonde	Hauteur de tube totale (cm)	Hauteur de tube extérieur	Hauteur de tube immergé	Nature du substrat fond de fouille	Nom Forêt	Sous BV	Remarques octobre 2018
04/10/2018	zh_102_38	38_605104	207,2	40,00	167,2	sable / moraine	Forêt Départementale du Bac Pegulier	Pountarou	présence d'eau
	zh_102_39	39_605106	207,2	87,00	120,2	sable / moraine	Forêt Départementale du Bac Pegulier	Pountarou	présence d'eau
	zh_102_40	40_605113	207,2	111,6	95,6	bloc / trace oxydoreduction	Forêt Départementale du Bac Pegulier	Pountarou	présence d'eau
	zh_102_41	41_605116	207,2	108,5	98,7	sable / moraine	Forêt Départementale du Bac Pegulier	Pountarou	présence d'eau
	zh_102_42	42_605117	207,2	82,5	124,7	sable / tourbe / sable /	Forêt Départementale du Bac Pegulier	Pountarou	présence d'eau

Un seul site peut accueillir une mesure de débit entrant. L'installation d'un H-flume de 30.48 cm (1 foot) permettra de calibrer cette entrée. Le Q10 de ce ruisseau étant estimé à 60 l/s. Des apports diffus à l'amont ne permettent pas d'appréhender l'ensemble de la donnée d'entrée amont.



Figure 17. station de jaugeage amont ZH_102



Figure 18. station de jaugeage aval ZH_102

2.1.4. Site 3 : ZH_103

D'une superficie de 2.13 ha, cette entité reste difficile à caractériser d'un point de vue hydrologique du fait des apports multiples et diffus du bassin amont et de son relief vallonné. Pour tenir compte de ces spécificités, nous avons disposé les piézomètres selon un découpage sélectif avec pour entrée la caractéristique habitat. Le dispositif vise à établir des profils en long et en travers.

La tournée de terrain a également permis de valider la zone d'implantation du pluviomètre.



Figure 19. Site ZH 103

Tableau 6. Dispositif piézométrique ZH 103

Date du forage	Identifiant zone humide et numéro de piézomètre	N° de sonde	Hauteur de tube totale (cm)	Hauteur de tube extérieur	Hauteur de tube immergé	Nature du substrat fond de fouille	Nom Forêt	Sous BV	Remarques octobre 2018
05.10.2018	zh_103_43	43_605171	207,2	97,5	109,7	sable/ moraine	Forêt Communale indivise de la Resclause	Pountarou	présence d'eau
	zh_103_44	44_605178	207,2	57,00	150,2	sable/ moraine	Forêt Communale indivise de la Resclause	Pountarou	présence d'eau
	zh_103_45	45_605180	207,2	94,00	113,2	tourbe	Forêt Communale indivise de la Resclause	Pountarou	présence d'eau
	zh_103_46	46_605181	207,4	98,5	108,9	sable / moraine	Forêt Communale indivise de la Resclause	Pountarou	présence d'eau
	zh_103_47	47_605294	108,00	41,5	66,5	sable / moraine	Forêt Communale indivise de la Resclause	Pountarou	présence d'eau
	zh_103_48	48_605301	207,4	46,5	160,9	sable / moraine	Forêt Communale indivise de la Resclause	Pountarou	présence d'eau
	zh_103_49	49_605308	207,4	74,00	133,4	sable / moraine	Forêt Communale indivise de la Resclause	Pountarou	présence d'eau
	zh_103_50	50_605387	207,4	102,5	104,9	sable / moraine	Forêt Communale indivise de la Resclause	Pountarou	présence d'eau

2.1.5. Site 4 : ZH_104

D'une superficie de 2 hectares, cette entité présente les mêmes caractéristiques physiques que la précédente.



Date de forage	Identifiant zone humide et numéro de piézomètre	N° de sonde	Hauteur de tube totale (cm)	Hauteur de tube extérieur	Hauteur de tube immergé	Nature du substrat fond de fouille	Nom Forêt	Sous BV	Remarques octobre 2018
01/10/2018	zh_104_1	1_602608	103,6	52,1	51,5	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	
	zh_104_2	2_602915	103,6	37,5	66,1	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	présence d'eau
	zh_104_3	3_604338	206,5	58,5	148	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	présence d'eau
	zh_104_4	4_604373	203,5	90,00	123,5	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	présence d'eau
	zh_104_5	5_604399	207,00	90,5	116,5	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	présence d'eau
	zh_104_6	6_604492	203,2	100,00	103,2	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	présence d'eau
	zh_104_7	7_604494	203,2	66,5	136,7	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	sans eau
	zh_104_8	8_604502	257,00	51,5	205,5	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	peu d'eau
	zh_104_9	9_604608	258,5	51,5	207	sable /moraine	FC indivise de la Resclause	Pountaron	présence d'eau

2.1.6. Le sous bassin témoin du Pountarrou

D'une superficie de 50 hectares, il se caractérise par un faible taux de boisement et ne dispose que de quelques zones humides. Ces deux aspects sont à prendre en compte dans l'approche du bilan hydrologique avec le bassin instrumenté accolé.

Le H_flume sera disposé à l'amont de la piste afin de ne pas biaiser la mesure par un apport massif d'eau de ruissellement provenant de la piste toute proche. Pour les mêmes raisons que l'exutoire précédent, la Q10 estimée étant de 2 m³/s, il a été retenu 1 m³/s et une instrumentation similaire (90.44cm soit 3 Foot).



Figure 20. Exutoire bassin témoin du Pountarrou

2.1. Couple 2 : Le sous bassin du Pinata

2.1.1. Généralités sur le site

La forêt domaniale de Montnaie-Gravas se situe à l'amont de la vallée de l'Aude ; sur le flanc Nord de la partie audoise du massif du Madres, point culminant du département de l'Aude (2 469 m d'altitude).

Sise sur l'ancienne forêt royale, la forêt domaniale de Montnaie-Gravas est constituée de deux entités. Le massif Nord, entité la plus septentrionale de la domaniale a une surface d'environ 360 ha et le massif Sud qui inclut la Réserve Biologique Dirigée (RBD) du Pinata au niveau de son extrémité méridionale pour une contenance d'un peu plus de 530 ha. La forêt domaniale de Montnaie-Gravas a une exposition générale Nord et un relief peu accusé. La RBD du Pinata a été créée par arrêté ministériel en date du 5 mars 1993, sur une surface de 295,25 ha.

Les "mouillères" ou zones tourbeuses représentent 10 à 20% des habitats de la RBD et se localisent au-dessus de 1 600 mètres d'altitude. L'origine de ces tourbières serait due à un remaniement superficiel du matériel granitique rude et stérile du fait de conditions climatiques particulières, permettant la formation de lithosols et de sols bruns acides pauvres mais susceptibles, grâce à l'humidité et à la douceur des reliefs, d'accueillir une couverture végétale dense. De plus, des dépressions et arènes retenant les eaux nivales et fontinales et peu à peu la végétation colonisatrice des tourbières, a donné des sols tourbeux très acides et peu minéralisés.

Dans sa partie Ouest, la RBD est constituée d'une mosaïque d'habitats tourbeux avec de très nombreux fronts de tremblants à Ményanthe et Comaret, des buttes à sphaignes de la section Acutifolia, des buttes basses et des tapis de sphaignes, de bas marais à Carex nigra et d'écoulements à Carex rostrata. Pour les habitats plus secs, la pineraie à rhododendrons et la nardaie sont majoritaires.

Au sein de la RBD, de nombreuses stations floristiques à fortes valeurs patrimoniales sont présentes

2.1.2. Site 5 : ZH_105

La difficulté de caractérisation de ces milieux imbriqués sans franche discontinuité a conduit à instrumenter le site selon le gradient altitudinal. L'effet « cascade » sera ainsi appréhendé à chaque événement climatique.

Ce couple abrite 18 sondes piézométriques et 1 sonde barométrique.

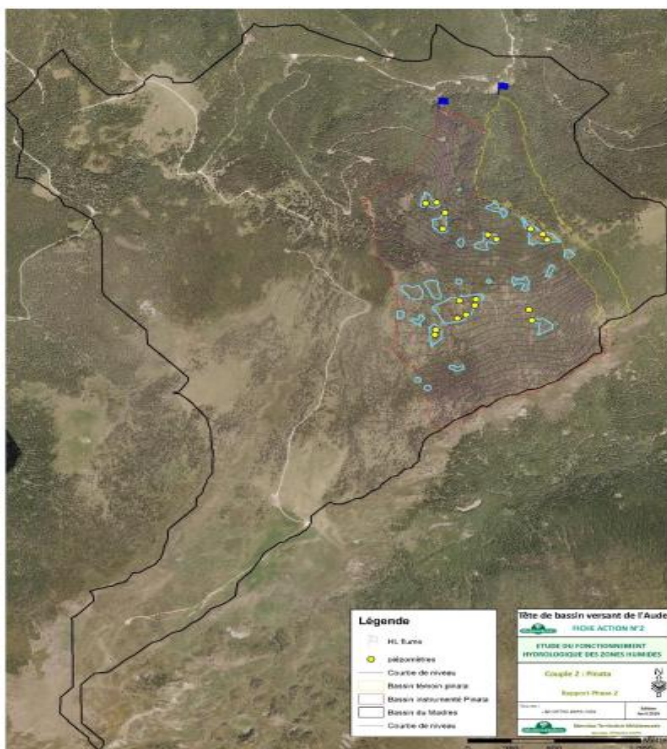


Tableau 7. Dispositif piézométrique ZH 105

Date du forage	Identifiant zone humide et numéro de piézomètre	N° de sonde	Hauteur de tube totale (cm)	Hauteur de tube extérieur	Hauteur de tube immergé	Nature du substrat fond de fouille	Nom Forêt	Sous BV	Remarques octobre 2018
04/10/2018	zh_105_20	20_604621	207,2	29,8	177,4	tourbe /vide / tourbe pas arène sableuse	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
	zh_105_21	21_604682	107,5	22,00	85,5	haut du petit système	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
	zh_105_22	22_604822	207,2	101,00	106,2	sable /moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau sonde barométrique proche
	zh_105_23	23_604826	207,2	69,4	137,8	sable /moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
	zh_105_24	24_604828	207,00	50,00	157		Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
	zh_105_25	25_604852	207,2	50,00	157,2	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
	zh_105_26	26_604878	207,2	71,5	135,7	socle dur	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
	zh_105_27	27_604892	207,2	85,00	122,2	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
	zh_105_28	28_605035	207,00	9,5	197,5	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
	zh_105_29	29_605041	207,2	71,00	136,2	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau

Identifiant zone humide et numéro de piézomètre	N° de sonde	Hauteur de tube totale (cm)	Hauteur de tube extérieur	Hauteur de tube immergé	Nature du substrat fond de fouille	Nom Forêt	Sous BV	Remarques octobre 2018
zh_105_30	30_605043	207,2	39,7	167,5	bloc	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
zh_105_31	31_605049	207,2	82,5	124,7	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
zh_105_32	32_605063	207,2	49,5	157,7	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
zh_105_33	33_605094	207,2	69,00	138,2		Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
zh_105_34	34_605095	207,2	76,5	130,7	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
zh_105_35	35_605096	94,2	36,5	57,7	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
zh_105_36	36_605097	207,2	85,5	121,7	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau
zh_105_37	37_605103	207,2	50,5	156,7	sable / moraine	Forêt Domaniale de Montnaie Gravas / RED du PINATA	Pinata	présence d'eau



Figure 22. H_flume exutoire bassin instrumenté Pinata

2.1.3. Le sous bassin témoin du Pinata

Sous bassin de petite taille (21 ha) caractérisé par une sapinière couvrant la quasi-totalité de la surface (>95%). La pente y est relativement forte, et comme le montre la photo ci-contre, l'aval de ce sous bassin peut être qualifié de torrentiel.

Comme le bassin pilote, cet exutoire sera équipé avec un H_flume de 91.44 cm (3 Foot), la Q10 estimée étant de 2 m³/s, il a été retenu 1 m³/s.



Figure 23. Exutoire du Pinata témoin



Figure 24. HL-flume bassin témoin Pinata

2.2.Mesure exutoire Bassin du Madres

La Q10 du projet porte un débit estimé à $10 \text{ m}^3/\text{s}$, une mesure de pression sera effectuée dans un tube pré percé et disposé dans le lit du cours d'eau. Ce dispositif expérimental sera complété par un dispositif de mesure :

Contrairement à la mesure de débit sur les exutoires des couples de bassins de Pountarrou et de Pinata, il n'est pas envisageable d'installer un canal jaugeur sur la Clarianelle compte tenu des débits trop importants.

La seule solution est d'installer un tube support métallique dans lequel est disposée une sonde de type LevelVent M5. Ce tube sera implanté sur une section de rivière présentant des caractéristiques intéressantes pour la mesure.

Le tube sera fiché en fond et fixé sur les parois de la berge par scellement chimique dans les rochers. Afin de déterminer le débit, il sera impératif de construire la courbe de tarage de cette section naturelle. Pour cela, des jaugeages réguliers au micro-moulinet de type C2 seront réalisés. L'ONF possède ce type de matériel et pourra réaliser très régulièrement les jaugeages selon les différentes hauteurs d'eau de la rivière.



Figure 25. Schéma d'instrumentation bassin du Madres

3. Traitement de données

Différents prétraitements sont nécessaires pour pouvoir lier les données et les exploiter.

3.1. Nettoyage et homogénéisation des données

Les mesures effectuées par les différents appareils sont enregistrées automatiquement dans des fichiers, pas forcément selon le même format, et contenant des informations hétérogènes. Pour exemple, prenons le fichier d'enregistrement issu du piézomètre. Vous constaterez qu'en en-tête du fichier il y a les caractéristiques de l'appareil, suivies des mesures effectuées par ledit appareil.

Par ailleurs, dans la perspective de faire des calculs, bien veiller à ce que les informations de même nature soient codées de façon homogène.

Pour ce travail, l'étudiant pourra choisir les outils qui lui paraissent le plus appropriés : programmation Visual Basic, programmation R, formules EXCEL ou autres. L'étudiant a bien sûr la possibilité de combiner ces outils.

Remarque : ce travail devra être réalisé durant la 2^{ème} semaine de la période 1, à savoir durant la semaine du 4 au 8 novembre 2019.

3.2. Ré-échantillonnage des données

Certains appareils effectuent des mesures au temps horaire (un relevé toutes les heures) alors que d'autres effectuent des mesures au temps journalier (un relevé par jour). Par ailleurs, les limnimètres mesurent la hauteur de l'eau qu'il faut transformer en débit, selon les formules données dans le tableau 3.

Le but de cette étape est donc de ré-échantillonner ces données pour pouvoir les lier et les comparer selon les mêmes échelles temps et volumétrie.

Pour ce travail, l'étudiant pourra choisir les outils qui lui paraissent le plus appropriés : programmation Visual Basic, programmation R, formules EXCEL ou autres. L'étudiant a bien sûr la possibilité de combiner ces outils.

Remarque : ce travail devra être réalisé durant la 2^{ème} semaine de la période 1, à savoir durant la semaine du 4 au 8 novembre 2019.

3.3. Création d'une base de données

L'ONF souhaite disposer d'une base de données relationnelle regroupant toutes les informations qui sont à présent nettoyées et homogénéisées. Pour cela il vous est demandé de :

- Proposer un modèle Entités/Associations correspondant à cet univers, ainsi que le modèle relationnel.
- Intégrer les données dans la base
- Répondre à des requêtes
 - Sur la pluviométrie : cumul annuel ou mensuel par bassin, le bassin le plus vs. le moins humide, etc.
 - Sur les débits/hauteurs d'eau : le débit moyen par mois, par année, par période (les périodes restent à définir, comme par exemple tous les 3 mois), etc.

Pour ce travail, il est demandé à l'étudiant d'utiliser l'ETL Talend.

Remarque : ce travail devra être réalisé durant les 2^{ème} et 3^{ème} semaines de la période 2, à savoir durant les semaines du 6 au 17 janvier 2020.

4. Préliminaires

4.1. Premières visualisations de données

1-Pour les données SAFRAN de température, construire dans une même figure : le graphe des données journalières, le graphe des données mensuellement moyennées, et le graphe des données annuellement moyennées. A droite de/dans chaque graphe apparaîtra un tableau avec les principaux descripteurs de la série statistique représentée.

Pour les données SAFRAN d'évaporation, construire dans une même figure : le graphe des données journalières, le graphe des données mensuellement moyennées, et le graphe des données annuellement moyennées. A droite de/dans chaque graphe apparaîtra un tableau avec les principaux descripteurs de la série statistique représentée.

Pour les données SAFRAN de pluie, construire dans une même figure : le diagramme en barres des données journalières, le diagramme en barres des données mensuellement cumulées, et le graphe des données annuellement cumulées. A droite de/dans chaque graphe apparaîtra un tableau avec les principaux descripteurs de la série statistique représentée.

Chaque figure devra être commentée.

2-Pour la zone d'étude, présenter le diagramme ombrothermique pour la période 1959-2018. Décrire brièvement ce diagramme.

Aide : Le diagramme ombrothermique désigne une représentation graphique indiquant les variations conjointes de la température moyenne et des pluies mensuelles. Le diagramme ombrothermique est une représentation graphique des températures et quantités de précipitations moyennes mensuelles en un lieu donné. Il comporte un axe horizontal où sont placés les 12 mois de l'année et deux axes verticaux, un à gauche pour les précipitations et l'autre à droite pour les températures. Les précipitations mensuelles sont représentées par un histogramme bleu et les températures mensuelles par une courbe rouge.

L'intérêt du diagramme ombrothermique est qu'il permet d'un seul coup d'œil de caractériser un climat.

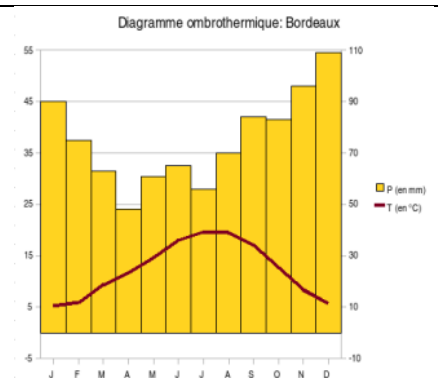


Figure 26. Exemple de diagramme ombrothermique

3-A l'issue de cette première analyse : proposez (sans tester) des hypothèses sur les tendances des trois paramètres climatiques

4-Comparaison des températures relevées sur site avec celles du modèle SAFRAN.

Comparez les moyennes de pluies journalières, mensuelles et annuelles.

La comparaison sera faite via l'étude de la série de la différence entre les deux séries et l'utilisation d'indicateurs (NRMSE, RMSE, corrélation de Pearson, ou autres). Avant tout analyse commencer par générer une série de températures locales au pas de temps journalier

41-Présentez les indicateurs utilisés

42-Décrivez vos résultats

43- Proposez une interprétation de vos résultats.

5- **(Optionnel) : Reconstitution des données de pluies locales**

A partir des données de pluies locales, générer une série journalière de pluie.

4.2. Test de normalité

1- Choisir un test de normalité, tester la normalité des variables suivantes :

Pluie journalière; évaporation journalière, température journalière, piézomètres journaliers, débits journaliers

2- Compiler les résultats dans un tableau (avec les colonnes intitulées : variables, test, p-value, résultat du test)

4.3. Test d'égalité de moyennes

Aide: « One-way ANOVA » and le test de Tukey

L'analyse de la variance à un facteur (one-way ANOVA) qui teste si 2 ou plusieurs échantillons ont les mêmes moyennes. Les variances ne sont pas nécessairement égales. One-way ANOVA est une technique qui peut être utilisée pour comparer les moyennes de deux échantillons ou plus (en utilisant la distribution F). Pour ce faire, deux estimations de la variance de la population sont faites. L'analyse de variance produit une statistique F (qui suit la loi de Fisher sous H_0). H_0 = « les échantillons de tous les groupes sont tirés de populations ayant les mêmes valeurs moyennes ».

Le test de Tukey est une procédure de comparaison multiple en une seule étape et un test statistique. Il s'agit d'une analyse post-hoc, utilisée conjointement avec une analyse de variance ANOVA. Il permet de trouver les moyennes d'un facteur qui sont significativement différentes les unes des autres, en comparant toutes les paires de moyennes possibles avec une méthode de type T-test.

Source : <https://www.r-graph-gallery.com/84-tukey-test.html>

1- Pour chaque groupe de piézomètre (ZH), faire un test « one-way ANOVA » suivi du test de Tukey pour tester l'égalité de moyenne dans un groupe de piézomètre.

2- Pour chaque zone, vous réaliserez un graphe de type boxplot avec en abscisse les différents piézomètres et en ordonnées les valeurs moyennes.

3- Commenter chaque graphe

4- Décrire une autre procédure alternative qui aurait permis les mêmes investigations

5. Statistiques multivariées

5.1. Etude du changement climatique

1- Décomposer les séries chronologiques des données météorologiques SAFRAN de façon à mettre en évidence

- La tendance à long terme
- Le mouvement périodique
- La composante résiduelle

2- Décrire et commenter les résultats obtenus

3- Modéliser les tendances et utiliser la périodicité pour construire un modèle de prévision.

4- Conclure sur le changement climatique local

5- (optionnel) Etude du SPI

Le SPI est un indicateur statistique qui quantifie les évolutions climatiques.

<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-index-spi>

A partir de la série de pluie du modèle SAFRAN, dresser la série temporelle du SPI associé.

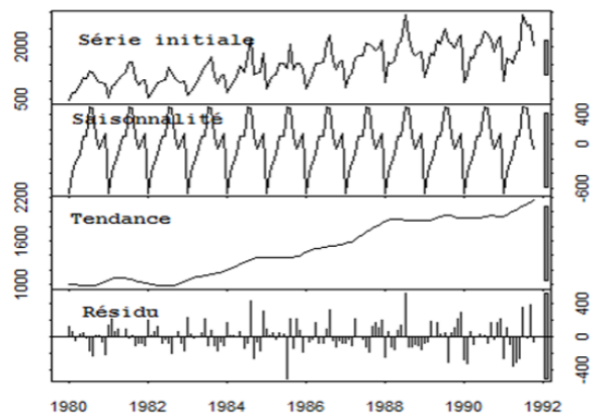


Figure 27. Exemple de décomposition d'une série chronologique

5.2. Etude des relations entre variables

5.2.1. Corrélations « internes »

1- Présentez dans une même figure, les graphes de variations verticales journalières de piézomètre par ZH (une sous-figure par ZH). Que conclure sur une telle représentation ?

2- Proposez des solutions (normalisation, présentation séparée)

3- Mettre en œuvre cette solution

4- En vue de voir comment les piézomètres s'articulent les uns par rapport aux autres ou détecter un mauvais fonctionnement d'une sonde, dressez la table de corrélation de tous les piézomètres

Commentez votre résultat.

	P3	P13	P14	P15	P17	P20_Diver	P20_Solinst	PMeteo
P3	1	0.937	0.955	0.926	0.92	0.207	0.932	0.839
P13	0.937	1	0.943	0.96	0.948	0.387	0.913	0.699
P14	0.955	0.943	1	0.938	0.92	0.343	0.948	0.753
P15	0.926	0.96	0.938	1	0.918	0.325	0.948	0.758
P17	0.92	0.948	0.92	0.918	1	0.338	0.913	0.69
P20_Diver	0.207	0.387	0.343	0.325	0.338	1	NaN	0.117
P20_Solinst	0.932	0.913	0.948	0.948	0.913	NaN	1	0.82
PMeteo	0.839	0.699	0.753	0.758	0.69	0.117	0.82	1

Figure 28. Exemple de table de corrélations entre variables

5- Présentez dans une même figure, les graphes de variations verticales journalières de chaque mesure de débit par ZH (une sous-figure par ZH).

6- En vue de voir comment les mesures de débits s'articulent les uns par rapport aux autres ou détecter un mauvais fonctionnement d'une sonde, dressez la table de corrélation de tous des mesures de débits. Commentez votre résultat.

7- Faires des tests de corrélation entre tous les piézomètres et toutes les mesures de débits, afficher les p-values et conclure.

5.2.2. Test d'indépendance du Khi-2

1- Pour chaque groupe de piézomètres (ZH), tester l'indépendance des piézomètres journaliers à l'intérieur du groupe.

2- Commenter vos résultats en discutant de la notion de temps dans ce test.

5.2.3. Corrélations « croisées » (optionnel)

La corrélation croisée (Figure 29) s'applique à deux séries chronologiques dont on veut voir la dépendance temporelle. La fonction de corrélation croisée (Box and Jenkins, 1976) entre deux séries x et y se calcule suivant la formule suivante :

$$R_{xy}(k) = \frac{Cov_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \text{ Equation 01}$$

où k est le décalage temporel, x la chronique, σ_x écart-type de x , σ_y écart-type de y , $Cov_{xy}(k)$ correspond à un calcul de covariance entre x et la série y décalée dans le temps de k .

En déterminant la valeur de k qui maximise la corrélation entre les deux séries, cette méthode permet d'estimer le temps de réponse d'un système hydrologique.

En considérant que les variables sont decorréliées pour un seuil théoriquement et statistiquement défini, on peut définir une valeur k pour laquelle les deux séries sont decorréliées. Ce concept est le pendant de l'effet mémoire appliqué à deux séries distinctes. Nous le nommons également effet mémoire. Dans le cas d'une étude pluie-débit, cela permet de déterminer la taille de l'historique de pluviométrie influençant le débit.

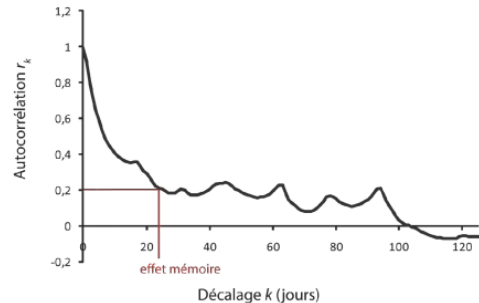


Figure 29. Exemple de corrélogramme croisé pluie-débit

1-Pour chaque zone humide, choisir un piézomètre représentatif et calculer les corrélations croisées suivantes : pluie-piézomètre ; pluie-débits ; piézomètre débits

Pour chaque étude de corrélation croisée, évaluer la qualité du corrélogramme croisé, le temps qui maximise la corrélation croisée (effet mémoire) de chaque jeu de données et le temps de décorrélation.

5.3. Régression linéaire multiple

1-Pour chaque ZH, tracer un nuage de points pluie (jour j) fonction du débit (jour j).

Trouvez-vous une relation directe entre ces deux variables ?

En vous aidant de la partie précédente, expliquer pourquoi il n'y a pas de relation directe entre ces deux variables.

2- Par régression multiple proposer des modèles

- De reconstruction des débits à partir
 - Des données de pluie (profondeur pluie de j à j -temps de décorrélation)
 - Des données de pluie (profondeur pluie de j à j -temps de décorrélation) et des données de piézomètres (profondeur piézomètre de j à j -temps de décorrélation)
- De reconstruction des niveaux piézométriques à partir
 - Des données de pluie (profondeur pluie de j à j -temps de décorrélation)
 - Des données de pluie (profondeur pluie de j à j -temps de décorrélation) et des données de débits amonts (ou aval) (profondeur piézomètres de j à j -temps de décorrélation)

5.4. Analyse en composantes principales (ACP)

- 1- Construire un tableau avec pour individus les piézomètres, et pour variables les moyennes par mois des hauteurs de nappe.
- 2- Réaliser une ACP et interpréter.

Remarque : D'autres tableaux peuvent être construits pour réaliser une ACP. L'avancée du projet va ouvrir vers des problématiques auxquelles l'ACP pourra répondre.

5.5. Analyse cluster

- 1- Faire une classification hiérarchique (cluster) sur les niveaux mensuels piézométriques
- 2- Retrouve-t-on les piézomètres par zone ou d'autres caractéristiques (altitude, proximité spatiale, type de sol)

Remarque : On peut partir des coordonnées des individus de l'ACP pour cette classification.

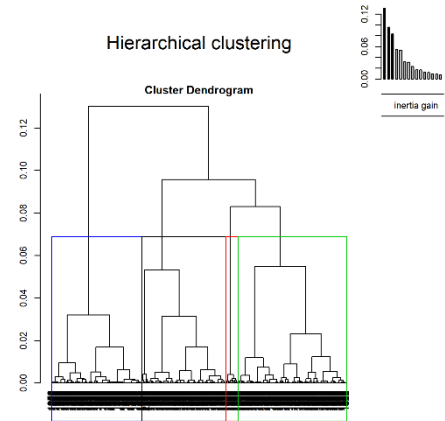


Figure 30. Exemple de classification hiérarchique

6. Méthode pour analyser l'impact des débits

Vous pouvez proposer vos propres méthodes.

6.1. Comparaison des débits spécifiques

Aide : Le débit spécifique est une mesure de l'écoulement moyen des précipitations au sein du bassin versant d'un cours d'eau. Il se définit comme le volume d'eau qui s'écoule en moyenne chaque seconde par kilomètre carré du bassin. C'est donc le rapport du débit Q du cours d'eau (exprimé en L/s ou m^3/s) et de la surface A de son bassin versant (exprimée en km^2) :

$$Q_{sp} = Q/A$$

Q étant le débits observé en $m^3.s^{-1}$ ou $L.s^{-1}$ et A en m^2 ou km^2

Source https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9bit_sp%C3%A9cifique

L'idée est de comparer le bassin instrumenté et le bassin pilote (deux cas).

6.1. Comparaison les temps de mémoire

Aide : voir la partie corrélations croisées et les temps de mémoire

L'idée est de comparer le bassin instrumenté et le bassin pilote (deux cas).

7. Cartographie

1- Télécharger un fond de carte : la carte des communes de France (disponible sur le réseau, disque L, <https://www.data.gouv.fr/fr/>, <https://www.geoportail.gouv.fr/>), carte avec courbes de niveaux (<http://ign.fr/>), image Landsat (<https://gisgeography.com/usgs-earth-explorer-download-free-landsat-imagery/>) ou autre.

2- Ne garder que les communes impactées par l'étude

3- Demander les fichier shape aux enseignants des bassin versants et des zones humides étudiées.

4- Placer les instruments de mesure sur cette carte, pour obtenir une production personnelle similaire à la figure 11. Carte Bassin du Madres instrumenté.

8. Consignes pour rapport

1- Revue documentaire : lire la documentation, rechercher des informations annexes pour mieux comprendre le sujet.

Problématique : exposer la problématique, décrire les analyses prévues pour y répondre.

2- Lister toutes les données (s'inspirer du tableau ci-dessous). Proposer un moyen de représentation visuelle de l'ensemble des données disponibles et non disponibles.

Tableau 8. Exemple de tableau récapitulatif des données

ID	Source	format	Profondeur temporelle	Variables	Pas de temps	Type	Information complémentaires	Remarque

3- Faire un compte rendu de la visite sur site

4- Rassemblement des données sous forme de fichiers exploitables (nettoyage des données et construction de la base de données).

5- Révision éventuelle des objectifs à atteindre en fonction des données exploitables.

6- Analyses statistiques et interprétation, cartographie.

7- Synthèse et conclusion :

- Discuter du changement climatique sur la zone
- Discuter du lien la présence de tourbière sur un terrain et leur impact sur les cours d'eau associés
- Votre bilan personnel de ce projet.

Annexes

- Diagramme de Gantt (ou chronogramme) réalisé, à mettre en regard du prévisionnel.
- Autres documents utiles, détaillant ce qui est dit dans le rapport.

Remarque : toutes les annexes doivent être numérotées, et citées dans le rapport.

9. Chronogramme et permanence des enseignants

Tableau 9. Chronogramme des activités

Activité / Semaine	1 21-25 Oct. 2019	2 4-8 Nov 2019	3 12-15 Nov 2019	4 16-20 Déc 2019	5 6-10 Jan 2020	6 13-17 Jan 2020
Lancement	x					
Sortie terrain (5/11)		x				
Appropriation des données	x					
Préliminaires (visualisation, tests)	x	x				
Nettoyage / Echantillonnage des données		x				
Statistiques multivariées	x	x		x		
Création de la base de données					x	x
Echantillonnage et autres traitements informatiques				x	x	
Cartographie.					x	x
Rédaction du rapport de projet	x	x	x	x	x	x
Soutenance (17/01)						x

Tableau 10. Permanence des enseignants

Semaine	MK	IU	SVP	TS	SP
1			21, 22, 23, 25/10		21, 22/10
2			5, 8/11		5, 6/11
3			12, 15/11		13, 14/11
4			16, 20/12		18/12
5			8/01		7/01
6			13, 14, 16, 17/01		15, 17/01

Tableau 11. Contact des enseignants

Enseignants	Mail
Mouna Kamel	mouna.kamel@univ-perp.fr
Isabelle Ufarte	isabelle.ufarte@univ-perp.fr
Sylvie Viguier-Pla	viguier@univ-perp.fr
Thierry Spinosa	spinosa@univ-perp.fr
Sebastien Pinel	sebastien.pinel@univ-perp.fr