

Module N°6 : Qualité des eaux

Chapitres :

- 1) Caractéristiques physico-chimiques de l'eau**
- 2) Caractéristiques biologiques de l'eau**
- 3) Traitement des eaux potables**
- 4) La pollution de l'eau**

Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

I) Introduction :

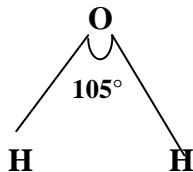
Avant tout usage socio-économique de l'eau, l'analyse physico-chimique est indispensable et ce pour pouvoir vérifier l'adaptation de la qualité vis-à-vis de l'usage prévu.

II) Aspect chimique :

A) propriétés moléculaires :

A.1) Structure :

C'est une molécule plane constituée par deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène.



A.2) Masse molaire:

$$\text{H}_2\text{O} \longrightarrow M = 2 \times 1 + 16 = 18\text{g}$$

A.3) Température d'ébullition: $\theta = 100^\circ\text{C}$, température de fusion : 0°C

A.4) Densité, $d = 1$; masse volumique, $\rho = 1\text{g/cm}^3 = 1000\text{Kg/m}^3$; poids volumique, $\omega = 10^4\text{N/m}^3$.

A.5) pouvoir dissolvant : l'eau a un grand pouvoir dissolvant, aucun autre liquide ne peut dissoudre ainsi un certain nombre de substances ni aussi une si grande quantité d'elles.

B) Paramètres hydrochimiques :

B.1) Composition chimique :

L'eau contient des sels minéraux à l'état dissout. Ce sont :

Cations	Anions
* le sodium : Na^+	* le chlore : Cl^-
* le calcium : Ca^{2+}	* les sulfates : SO_4^{2-}
* le potassium : K^+	* les nitrates : NO_3^{2-}
* le magnésium : Mg^{2+}	* les bicarbonates : HCO_3^{2-}
	* les carbonates : CO_3^{2-}

L'eau peut contenir également des métaux lourds tels que :

Eléments	Teneur maximale admissible (mg/l)
* le plomb (P_b)	0,1
* le sélénium (S_e)	0,05
* l'arsenic (As)	0,2
* le chrome (Cr)	0,05
* le cyanure (Cn)	0,01

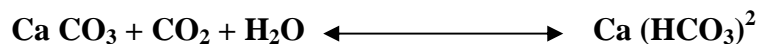
Récemment, la communauté scientifique a démontré que la présence de métaux lourds dans l'eau est la cause principale du déclenchement de graves maladies telles que l'Alzheimer et le Parkinson.

L'eau contient également des oligo-éléments : le fluor (F), l'iode (I), le manganèse (Mn).

- l'iode est souvent apporté à l'organisme humain par l'eau, son absence est parmi les causes du goitre.
- La carence totale en fluor provoque la carie dentaire chez les enfants.
- Une eau très chargée en calcium entraîne la formation de calcul dans l'organisme humain, notamment au niveau des reins.
- On donne ci-après la concentration maximale admissible de certains éléments :
 - Magnésium (Mg) : 100 mg/l
 - Nitrates (NO_3^-) : 50 mg/l
 - Chlorures (Cl) : 500 mg/l
 - Sulfates (SO_4^{2-}) : 200 mg/l
- dans le cas d'une eau souterraine, la composition chimique de l'eau reflète la nature des roches traversées et lessivées par l'eau. Exemple : une eau lessivant du gypse ($Ca SO_4, 2H_2O$) ou anhydrite ($Ca SO_4$) est beaucoup plus chargée en sulfates : eau séléniteuse.
- Les roches calcaires renferment au moins 50% de $Ca CO_3$ (calcite), elles font à froid effervescence aux acides selon la réaction :



Très peu soluble dans l'eau pure (13 mg/l, moins que la silice !), elles sont solubles dans l'eau chargée de CO_2 (jusqu'à 2 g/l) à cause de la formation de bicarbonate de calcium.



Dans les grottes karstiques, le $Ca CO_3$ cristallise et forme les stalactites et les stalagmites tandis que le CO_2 n'est pas toujours sans danger pour le visiteur.

D'après la dernière équation, l'eau lessivant des calcaires est chargée en bicarbonate de calcium.

D'après la même équation, on remarque qu'une eau chargée en bicarbonate de calcium, et sous l'effet d'une augmentation de température, le CO_2 et le H_2O disparaissent ce qui entraîne un déplacement de l'équilibre dans le sens du premier membre et favorisant ainsi la précipitation de $Ca CO_3$, ceci entraîne un dépôt de tartre dans les bouilloires, chaudières, conduites...

L'eau contient également des gaz dissous, l'eau potable peut dissoudre jusqu'à 40 cm^3 de gaz par litre, dont 6 d'oxygène et 14 d'azote. Lorsque l'oxygène dissous est faible, ceci témoigne de la présence de matière organique.



Laboratoire d'analyses chimiques

Remarque : une eau n'est potable et propre pour la consommation humaine que si elle répond à tous les critères **chimiques et bactériologiques** en matière de seuils maximaux admissibles.

En pratique, les normes de potabilité couvrent un très grand nombre de paramètres, pour chacun d'eaux, on parle de :

- la valeur maximale admissible : qui ne doit être jamais dépassée.
- la valeur maximale recommandée : en deçà de laquelle, on considère que c'est satisfaisant.
- la valeur minimale requise : qui doit être toujours dépassée.

Les normes Marocaines sont conformes à celles arrêtées par l'OMS (organisation mondiale de la santé).

B.2) Nombre de milliéquivalents :

On appelle équivalent chimique d'un élément, le quotient de sa masse atomique par sa valence.

Eléments	Symbole	Masse atomique (g)	Valence	Equivalent chimique
Potassium	K^+	39,1	1	39,1
Sodium	Na^+	23	1	23
Calcium	Ca^{2+}	40	2	20
Magnésium	Mg^{2+}	24,2	2	12,1
Chlorures	Cl^-	35,5	1	35,5
Bicarbonates	HCO_3^-	61	1	61
Carbonates	CO_3^{2-}	60	2	30
Sulfates	SO_4^{2-}	96	2	48

La concentration d'un élément peut être exprimée en mg/l ou en nombre de milliéquivalents noté r :

$$r(\text{élément}) = \text{concentration de l'élément en mg/l} / \text{équivalent de l'élément}$$

B.3) Test de fiabilité d'une analyse chimique :

a) balance ionique :

$$B = [\Sigma (\text{cations en mg/l}) - \Sigma (\text{anions en mg/l}) / \Sigma (\text{cations en mg/l}) + \Sigma (\text{anions en mg/l})] \times 100$$

Si IBI < 5, analyse chimique bonne.

b) Comparaison anions-cations :

$$[\Sigma r(\text{cations}) - \Sigma r(\text{anions})] / (\Sigma r(\text{cations})) \text{ doit être inférieur à } 10\%$$

B.4) Résidu sec :

C'est le poids des éléments restants après évaporation de l'eau soumise à l'analyse. Pour toute valeur du résidu sec, il faut mentionner la température et ce pour les raisons suivantes :

- à 100 °C, certains sels conservent leur eau de cristallisation tel que le sulfate de calcium $CaSO_4$ (anhydrite).
- à 110°C, $MgCl_2$ est décomposé en acide chlorhydrique qui disparaît et Mg devient OMg.
- à 120 °C, les sels sont déshydratés, la matière est détruite partiellement.

Remarques :

- d'après l'OMS, (organisation mondiale de la santé), on tolère jusqu'à 2 g/l pour une eau de boisson.
- La minéralisation de l'eau est étroitement liée à l'aptitude de l'eau à conduire l'électricité. A cet égard, on cite une formule empirique reliant le résidu sec de l'eau à la conductivité électrique de l'eau (mesurée avec des conductivimètres).

$$R.S \text{ (mg/l)} = 0,7 \times C \text{ (uS/cm)}$$

B.5) Titre hydrotimétrique ou dureté de l'eau (T.H):

C'est la somme des teneurs en calcium et en magnésium

$$\text{T.H (}^{\circ}\text{F)} = (\text{r (Ca)} + \text{r (Mg)}) \times 5$$

T.H en degré Français.

Si T.H > 30 °F, on dit qu'il s'agit d'une eau dure : l'eau a une tendance à former un composé insoluble avec le savon qui perd ainsi une partie de son pouvoir pour ne mousser que difficilement. Une eau dure a également l'inconvénient de déposer sur les conduites et au fond des réservoirs des dépôts de tartre. Elle nuit aussi à la cuisson des légumes. Une dureté normale est celle de l'ordre de 10°F ;

B.6) P.H :

$$\text{P.H} = \log_{10} [\text{H}_3\text{O}]^+ = \text{Log} (1/ [\text{H}_3\text{O}]^+)$$

Pour une eau pure neutre électriquement, on a PH = 7. En fait, l'eau naturelle n'est pas parfaitement neutre, le PH peut être inférieur à 7, dans ce cas, l'eau est légèrement acide. On dit également qu'elle est agressive du fait qu'elle peut attaquer le métal dans lequel elle transite. Le PH peut être supérieur à 7, dans ce cas l'eau a un comportement basique.

B.7) Radioactivité :

L'eau peut contenir des particules émettrices de rayonnements radioactifs (α, β, δ). Les rayons δ sont les plus pénétrants. Les normes fixées par l'OMS pour la radioactivité sont :

- Emetteurs de rayons α : 10^{-9} millimicro curies/ cm^3 .
- Emetteurs de rayons β : 10^{-8} millimicro curies/ mm^3 .

B.8) Eutrophisation de l'eau :

Un excès d'azote et de phosphore dans l'eau (généralement dû à un apport des eaux résiduaires domestiques et industrielles) favorise le développement d'une végétation aquatique. La croissance de cette végétation appauvrit l'eau en oxygène avec une production de méthane et d'hydrogène sulfuré. Ceci s'accompagne également avec des odeurs nauséabondes et un mauvais goût. On dit que l'eau est devenue eutrophe et c'est le phénomène d'eutrophisation. On peut souvent observer ça au niveau des retenues de barrages ne recevant pas d'apports de crues. Pour quantifier ce phénomène on pratique le dosage du phytoplancton (mg de chl a/m³) : chlorophylle algal par m³. Ce phénomène croît avec la profondeur.

Parmi les conséquences de l'eutrophisation, on peut citer :

- diminution de la transparence de l'eau.
- Le colmatage des filtres au niveau des stations de traitement de l'eau potable.
- La corrosion des conduites.
- La disparition de certaines espèces de poissons dans les retenues de barrages.

On introduit souvent la carpe chinoise qui est un poisson algivore pour améliorer la qualité de l'eau.

B.9) Faciès chimique de l'eau :

Il caractérise la prédominance en matière d'anions et de cations. Le faciès chimique reflète le gisement de l'eau dans la roche magasin et notamment pour les eaux souterraines. On représente souvent le faciès chimique sur le diagramme de schoeller-Berkaloff.

Remarque : les eaux souterraines ayant une même origine ont des diagrammes parallèles.

B.10) Les eaux minérales et thermo minérales :

B.10.1) Les eaux minérales :

Leur étude est un chapitre particulièrement important, il repose sur diverses considérations géologiques, chimiques et surtout médicales, en effet c'est l'aspect thérapeutique qui domine et c'est le seul critère qui reste finalement valable pour définir une "eau minérale" on plus exactement une eau " médicinale.

Les eaux minérales sont étudiées par une branche de la médecine appelé : hydrologie médicale. Elles sont utilisées d'après leur composition pour des applications cliniques. On appelle également hydrothérapie toutes les cures pratiquées avec l'eau.

En fait la nomination d'eau minérale à toute eau mise en bouteille est impropre. Cette définition doit être réservée aux eaux ayant des propriétés thérapeutiques. Sinon il s'agit alors d'eau de table où la caractéristique principale est le résidu sec moins élevé (ex : Sidi Harazem (820 mg/l) ; Sidi Ali (215 mg/l), Evian, Lanjaron.

La classification d'après la composition chimique est faite selon le résidu sec à 180°C.

- * Eau oligo-minérale (résidu sec inférieur à 200 mg/l)
- * Eau médio-minérale (résidu sec entre 200 et 1000 mg/l)
- * Eau minérale (résidu sec supérieur à 1000 mg/l).

La classification des eaux minérales peut être faite selon le faciès chimique de l'eau :

* **Sources bicarbonatées** : caractérisées par un excès d'anhydride carbonique et une grosse proportion de bicarbonates.

* **Sources sulfatées** : caractérisées par un excès de sulfates.

* **Sources chlorurées sodiques** : leur élément prédominant est le chlorure de sodium plus ou moins additionné de sels terreux (calcium, magnésium).

Rappel : si dans une solution, le cation sodium prédomine, on dit qu'elle est alcaline. Si au contraire, c'est le Ca^{2+} ou Mg^{2+} qui prédomine, on dit qu'elle est alcalino-terreuse.

* **Sources ferrugineuses** : beaucoup d'eaux contiennent du fer, aussi estime-t-on que pour être dites ferrugineuses, elles doivent renfermer plus de 10mg de fer par litre.

Selon le faciès chimique de l'eau minérale, l'effet thérapeutique est différent. Pour cette raison, il n'est pas recommandé de boire perpétuellement une eau minérale pour un sujet sain. Lorsqu'il s'agit d'une eau de table commercialisée, il faudra choisir la moins minéralisée pour ne pas intensifier le travail des reins sinon on risque de former des calculs.

Faciès sulfaté calcique

Lieu

Schöeller
Berkaloff

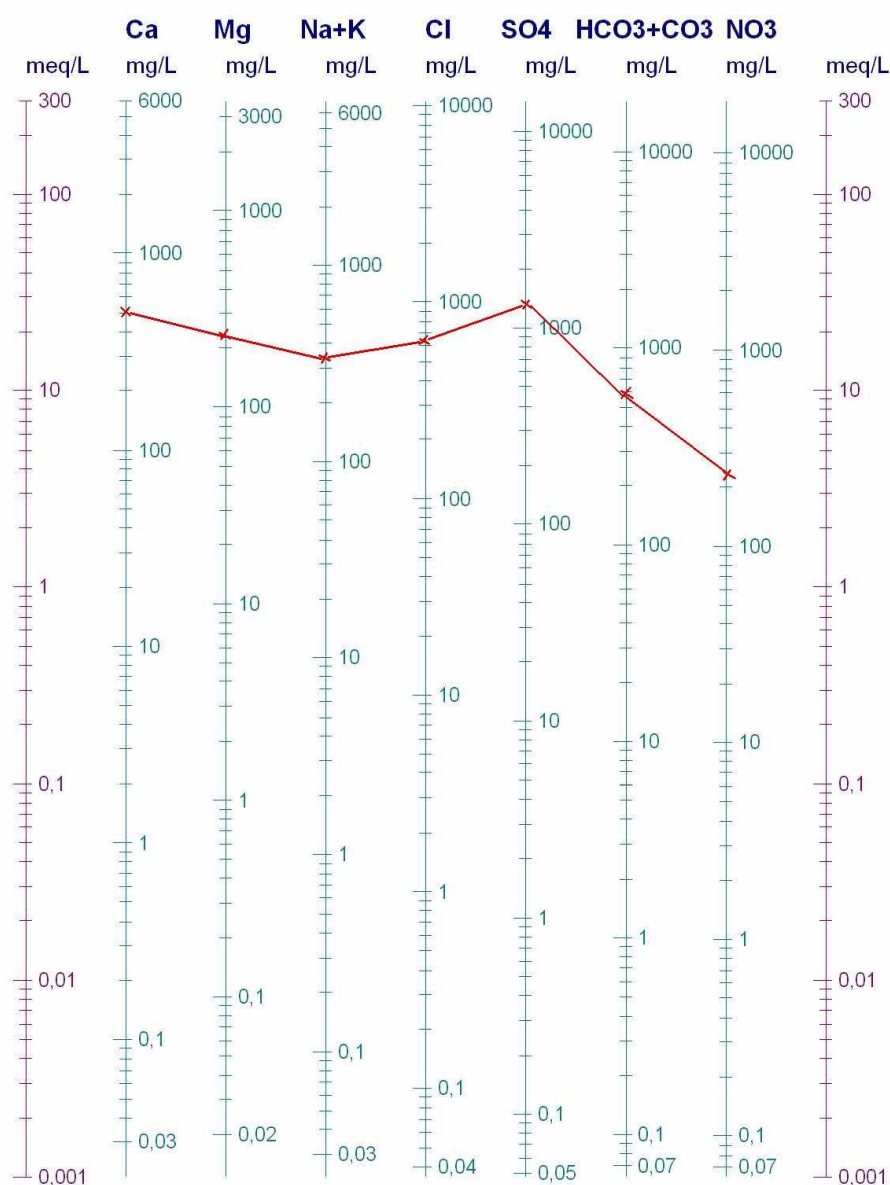
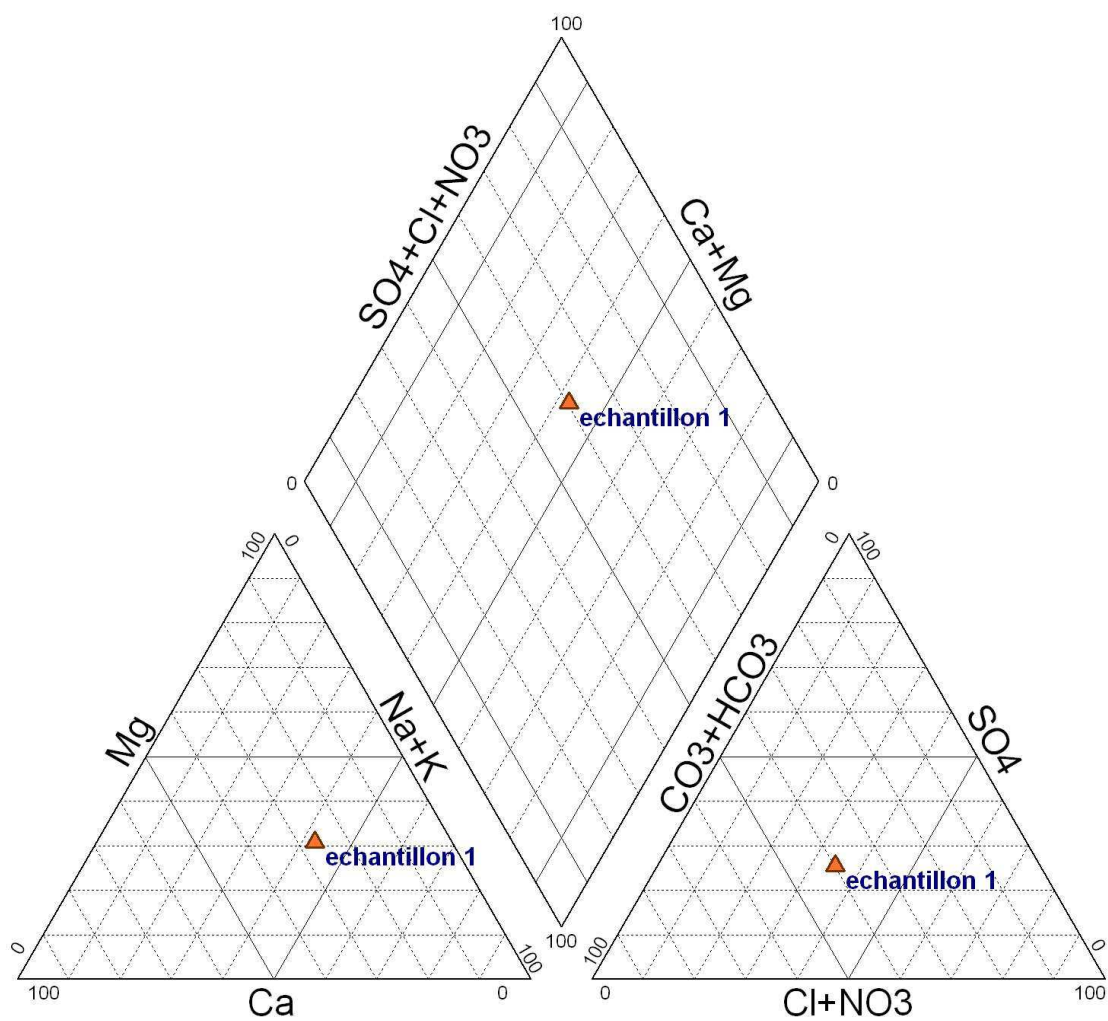


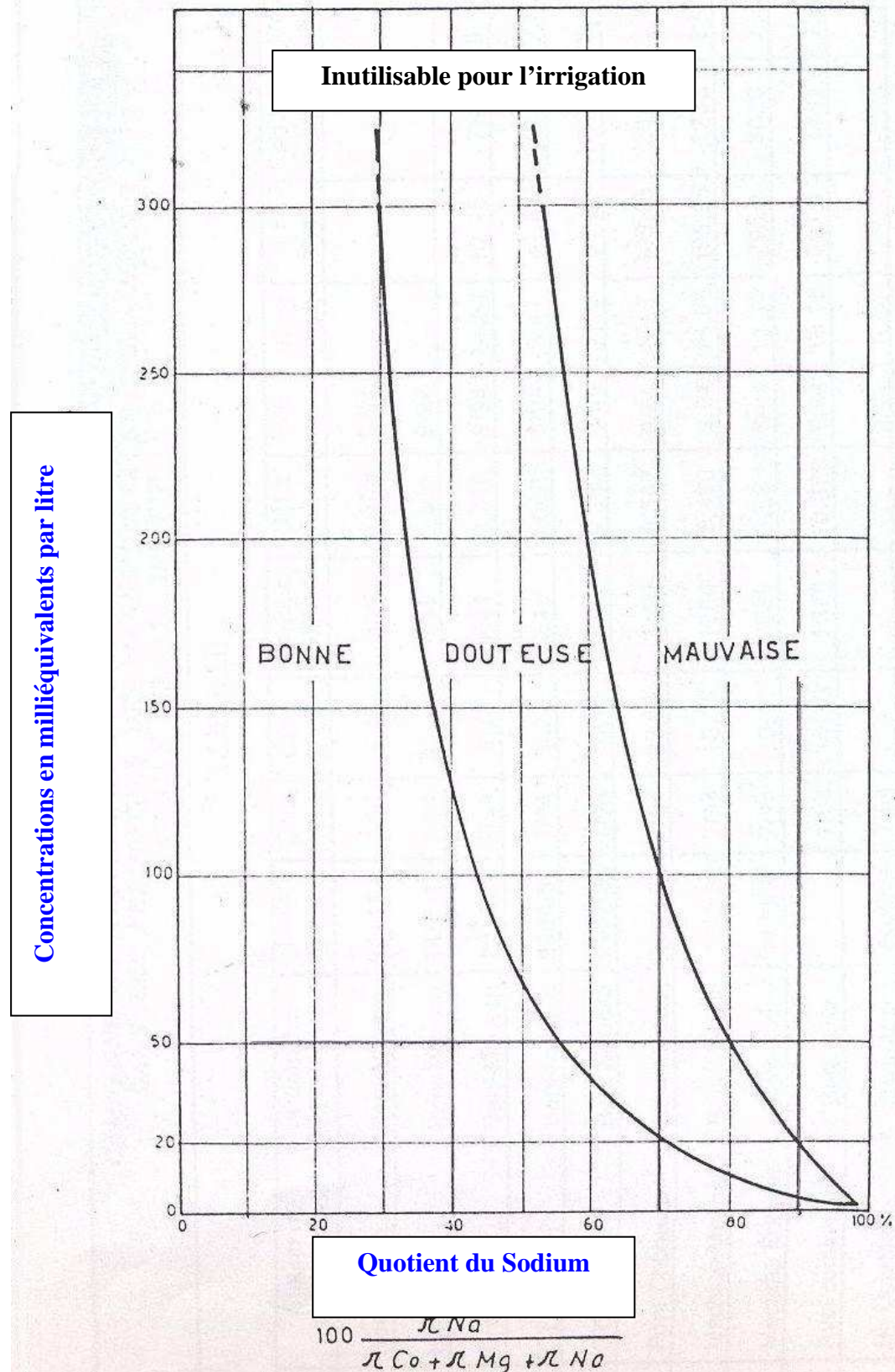
Diagramme de Piper



Nappe du Haouz

Diagramme de Green

Qualité de l'eau d'irrigation en fonction du quotient de sodium et de la concentration. D'après H.Green (1948)



Composition chimique de quelques eaux connues (mg/l)

Eau	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Observations
Sidi Harazem (Maroc)	70	40	120	8	220	4	20	335	Eau de table de faciès carbonaté potasso-sodique
Moulay Yacoub (Maroc)	1120	314,6	9384	332,3	17572	-	36	-	Eau thermo-minérale, t= 45°C
Oulmés (Maroc)	175	52,3	228	24	300	-	5,8	-	Eau radioactive
Vichy (France)	90	9	1265	71	227	2	129	3245	Eau très conseillée pour les maux gastriques (eau minérale)
Lanjaron (Espagne)	33	11	-	1	-	-	24	123	Eau de table
Font Vella (Espagne)	27,6	6,3	10	-	7,1	-	8,8	120,8	Eau de table
Valtore (Espagne)	39,7	14,2	38,1	2,9	86,4	-	-	97,8	Eau de table

*** Quelques effets thérapeutiques des eaux minérales :**

* Les eaux chlorurées sodiques et sulfatées alcalines agissent sur le foie et de même, elles améliorent la sécrétion gastrique.

* Les eaux bicarbonatées sont les plus indiquées pour les affections gastro-intestinales.

* les eaux ferrugineuses sont conseillées pour certains traitements de l'anémie.

* Pour l'asthme, il est conseillé de prendre les eaux radioactives et sulfureuses, ex: Oulmes.

B.10.2) Eaux Thermo-minérales :

En plus des caractéristiques physico-chimiques que peut avoir l'eau, il y a sa température. A cet effet les eaux sont classées en 3 catégories :

- * Les eaux froides (θ inférieur à 20°C).
- * Les eaux hypo-thermales (θ entre 20°C et 30°C).
- * Homéo-thermales (θ entre 30°C et 40°C).
- * Hyperthermales (θ supérieur à 40°C) .

Une station thermale revêt soit un aspect curatif lorsque la composition chimique de l'eau le permet soit tout simplement un aspect touristique lorsque la composition chimique n'a rien de particulier mais la température est relativement élevée: baignade dans une piscine chaude.

Le thermalisme a deux origines :

* **Le gradient géothermique** : Augmentation moyenne de la t° de $3^{\circ}/100m$.

* **Le volcanisme** : Lorsqu'il s'agit d'un volcanisme récent et que l'eau traverse des roches volcaniques.

Les zones de thermalisme peuvent se rencontrer au niveau de forages profonds captant des nappes captives profondes ex: Moulay Yacoub dans la plaine de saïss ou les forages dépassent 1000 pour capter des calcaires liasiques.

On peut également avoir des sources à la surface du sol mais qui doivent leur origine à des failles faisant communiquer des réservoirs profonds avec la surface du sol et faisant que l'eau thermale monte par captivité.

IV) Aspects de quelques nuisances dues à la qualité chimique d'une eau :

* **Matières en suspension** :

L'abondance des matières en suspension dans l'eau réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau. Dans le même temps, elle entraîne une chute en oxygène dissous en freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la reaération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matière organique consommatrice d'oxygène. En revanche, la présence de boues vivantes agissant comme " bio flocc " diminue la DBO (demande biologique en oxygène) transportée: cette contribution peut être parfois supérieure à la quantité normale de dégradation des matières organiques. Ces boues décantables se déposent dans les zones calmes et on peut assister à une décomposition anaérobie des matières organiques s'accompagnant de dégagements gazeux.

* **Chlore** :

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables, l'origine peut être naturelle :

- Percolation à travers des terrains salés.
- Infiltration d'eaux marines dans les nappes phréatiques ou profondes.
- Rejets humains (urine).
- Industries extractives et dérivées (Soudières, salines, mines de potasse.....)

La concentration maximale admissible est de 500 mg/l, au delà ça peut être préjudiciable aux personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires ou rénales.

* **Sulfates** :

L'origine est due à la nature des roches lessivées. Ex : dissolution du gypse. ($BaSO_4$), au delà de 200 mg/l (CMA), on assiste à des troubles diarrhéiques.

*** Nitrates :**

L'origine est due par ex aux engrais fertilisants et au fumier, au delà de 45 mg/l l'eau devient dangereuse pour les nourrissons, pour les adultes, on estime que l'absorption de 500 mg de nitrate peut provoquer une inflammation des muqueuses intestinales.

*** Les fluorures :**

Les fluorures sont des agents toxiques pour l'homme. Des doses de 250 à 450 mg/l conduisent à des symptômes très nets d'intoxication et à partir de 3g une issue fatale est à redouter.

*** Le plomb :**

Le plomb peut arriver dans le corps humain par l'alimentation, la respiration, la boisson.....etc. On ne connaît pas la dose précise de plomb qui est ingérée par l'homme mais on peut supposer qu'elle correspond à environ 0.3 à 0.5 mg/jour. Le plomb est pour l'homme un toxique à effet cumulatif, les intoxications (saturnisme) sont conditionnées par la longue rétention du plomb dans l'organisme ce qui en fait un poison typiquement cumulatif.

III) les caractéristiques physiques de l'eau :

Il s'agit principalement de :

- la turbidité ou teneur en matières en suspension. ce phénomène agit sur la transparence de l'eau, la mesure de ce paramètre se base sur des méthodes optiques et en particulier sur la méthode néphélométrique.

Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

- La couleur
- L'odeur
- La saveur

Caractéristiques biologiques de l'eau

I) Introduction :

L'eau peut contenir des micro-organismes et des germes provenant d'une contamination fécale. Le fait d'attraper des germes se manifeste par des diarrhées, des vomissements et de la fièvre. Parmi les maladies d'origine hydrique, on cite le choléra, la poliomyélite, l'amibiase, la bilharziose.

On appelle germes aérobies, ceux qui ne se développent qu'en présence de l'oxygène de l'air, sinon on parle de germes anaérobies.

La charge polluante d'un effluent s'exprime à partir des concentrations en :

- Matières en suspension (MES) : une concentration élevée est souvent attribuée au fait que les réseaux sont de type unitaire
- Charge organique (DBO_5 , DCO), ces grandeurs seront précisées par la suite.
- Substances azotées et phosphorées : (éléments activant le phénomène d'eutrophisation).
- Germes témoins de contamination fécale (GT, SF, CF) : germes totaux, streptocoques fécaux, coliformes fécaux.
- Oeufs d'helminthes (OH).

II) Les indicateurs de pollution :

La matière organique en quantité anormale est un signe de pollution, ceci est de même pour les éléments dérivés des matières organiques et qui sont : l'ammoniaque (NH_3), les nitrites (NO_2^-) et les nitrates (NO_3^-).

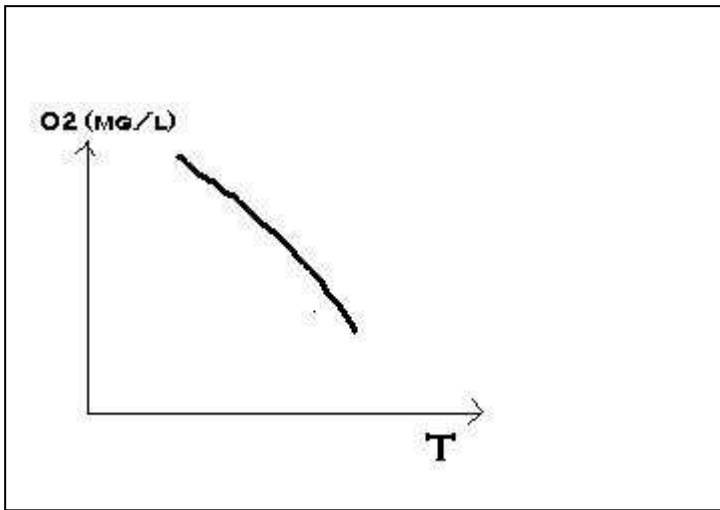
Pour faire une analyse bactériologique, il faut que des précautions préalables soient prises :

- le flacon qui va contenir l'échantillon doit être stérilisé avant le prélèvement.
- Transporter l'échantillon dans une boîte contenant de la glace afin d'éviter une prolifération microbienne plus intense à une température supérieure à celle de l'eau à sa source.
- Faire l'analyse le plutôt possible, au-delà de 24 heures, il ne faut plus espérer des résultats fiables.

II.1) l'oxygène dissous :

Une eau saine doit contenir de l'oxygène. En absence de cet élément, on peut supposer qu'elle a été le siège d'une intense vie microbienne qui a pour effet de détruire les déchets organiques en les oxydant. D'où une diminution de la teneur en oxygène de l'eau. Ce fait est parfois observé dans des lacs ou rivières appauvris en oxygène et où les poissons remontent en surface pour des « bouffées » d'oxygène.

La teneur en oxygène dissous diminue avec l'augmentation de température.



II.2) germes pathogènes :

Une eau potable doit être bactériologiquement saine. La contamination fécale de l'eau se traduit par la présence d'*Escherichia coli* ou de streptocoques fécaux. Ainsi, on doit avoir :

- *Escherichia coli* (colibacille) : 0 germes par 100 ml d'eau
- Streptocoques fécaux : 0 germes par 50 ml d'eau.
- Germes anaérobies : 0 germes par 20 ml d'eau.
- Salmonelles : 0 germes dans 5 litres (leur présence provoque la salmonellose).
- Coliformes fécaux : 0 germes dans 100 ml d'eau

III) Mesure de la pollution :

III.1) la DBO :

La demande biologique en oxygène est un bon indicateur en matière de présence de la matière organique biodégradable. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène consommée par les eaux usées pour oxyder la matière organique. Il s'agit d'une réaction lente et dépend de la température, raison pour laquelle cette grandeur est généralement calculée au bout de 5 jours à 20 °C et dans le noir (en absence de lumière pour éviter toute photosynthèse parasite). On parle alors de DBO_5 . On démontre qu'au bout de 5 jours, la demande en oxygène représente environ les 2/3 de la demande d'oxygène complète. La DBO_5 s'exprime en mg d' O_2 /litre. De nombreuses expériences ont montré que la DBO_5 d'un effluent est généralement comprise entre 50 et 80 mg d'oxygène par habitant et par jour. Elle est par contre très élevée en cas d'un effluent industriel très pollué.

III.2) la DCO :

La demande chimique en oxygène (DCO) est un paramètre permettant d'évaluer la charge polluante d'un effluent. C'est la consommation en oxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder la totalité des substances organiques et minérales de l'eau. L'oxydant le plus utilisé est le dichromate de potassium à chaud et en milieu acide. Cette grandeur présente une précision plus grande que la DBO_5 et s'en différencie par la rapidité de mise en œuvre : 2 heures au lieu de 5 jours.

Remarque : Au Maroc, et pour un effluent urbain, on a généralement $DCO/DBO_5 = 2,5$ à 3 traduisant ainsi le caractère domestique dominant et biodégradable. Cependant il peut atteindre des valeurs élevées (5 à 6) en cas d'existence d'huileries et d'abattoirs rejetant leurs déchets dans le réseau d'eaux usées.

On introduit souvent une grandeur (MO : matières oxydables) définie comme suit :

$$\text{MO} = (\text{DCO} + 2 \text{ DBO}_5) / 3$$

Les ratios retenus au Maroc pour l'évaluation des différents flux de pollution domestique sont comme suit :

- **76 g de MO/hab/jour.**
- **55 g de MES/hab/jour.**
- **9 g de matière azotée /hab/jour.**

Compte tenu du fait qu'on ne dispose pas toujours de mesures relatives à la qualité des eaux usées domestique, le laboratoire de l'ONEP en coordination avec l'OMS a depuis 1990 entrepris un certain nombre d'analyses qui ont conduit « statistiquement » aux valeurs suivantes :

Paramètre (mg/l)	Centre < 20 000 habitants	20 000 < hab < 100 000	> 100 000
DBO ₅	400	350	300
DCO	1000	950	850
MES	500	400	300

Les ratios européens pour des rejets d'eaux résiduares de 150 l/j/habitant sont les suivants :

- * DBO₅ = 54g/h/j
- * DCO = 75-100g/h/j
- * MES = 90g/h/j
- * NTK = 15g/h/j (azote Total Kjeldahl)
- * PT = 4g/h/j (phosphore total)

La dernière réglementation Marocaine pour le rejet des eaux usées domestiques est comme suit

DBO₅: 120 mg O₂/l
DCO: 250 mg O₂/l
MES : 150 mg/l

Pour les rejets d'effluents industriels, les limites de concentrations sont comme suit :

élément	Valeur limite
Température	5 à 30 °C
PH	6 à 9
MES	500 mg/l
DCO	1000 mg/l
DBO ₅	500 mg/l
Azote total	150 mg/l
Sulfates	400 mg/l
Cyanures	1 mg/l
Mercure	0,05 mg/l
Chrome total	2 mg/l
Plomb	0,5 mg/l

Pour évaluer approximativement la charge polluante des eaux usées d'une agglomération, le moyen couramment utilisé lorsqu'il n'y a pas d'analyses disponibles, consiste à multiplier la charge polluante rejetée quotidiennement par un habitant (en g/jour) par le nombre d'habitants raccordés au réseau.

Exemple : (données pour Ain Taoujdade pour 1996)

Hypothèse : $\text{DBO}_5 = 300 \text{ mg/l}$

Années	1995	2000	2005	2010
Débit des eaux usées En m^3 / j	760	1160	1525	1900
Charge polluante en Kg/j	230	350	460	570

Explication : exemple 1995

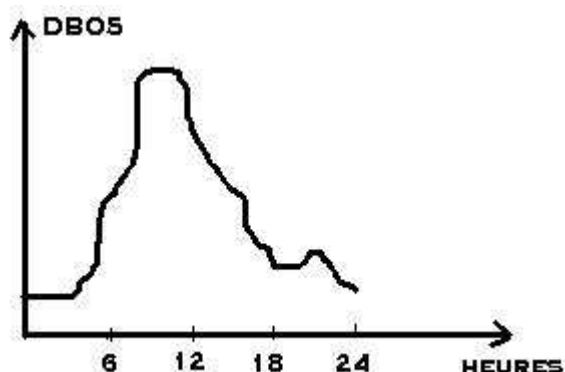
$$230 = 760 \times 0,3$$

Notion d'équivalent-habitant : (Eq/Hab)

Si on considère qu'un habitant rejette 54g de DBO_5 par jour, on peut exprimer la DBO_5 d'un rejet en équivalent habitant et ce par le rapport **Poids DBO_5 du rejet(g)/ 54**. Pour la ville de Marrakech en 2006, la pollution était de 1.300.000 Eq-Habitant .Les opérations de mesures des charges polluantes ne sont pas toujours fiables. L'expérience montre que des prélèvements et analyses effectués sur un même site, peuvent donner des résultats très variables. Les causes en sont principalement :

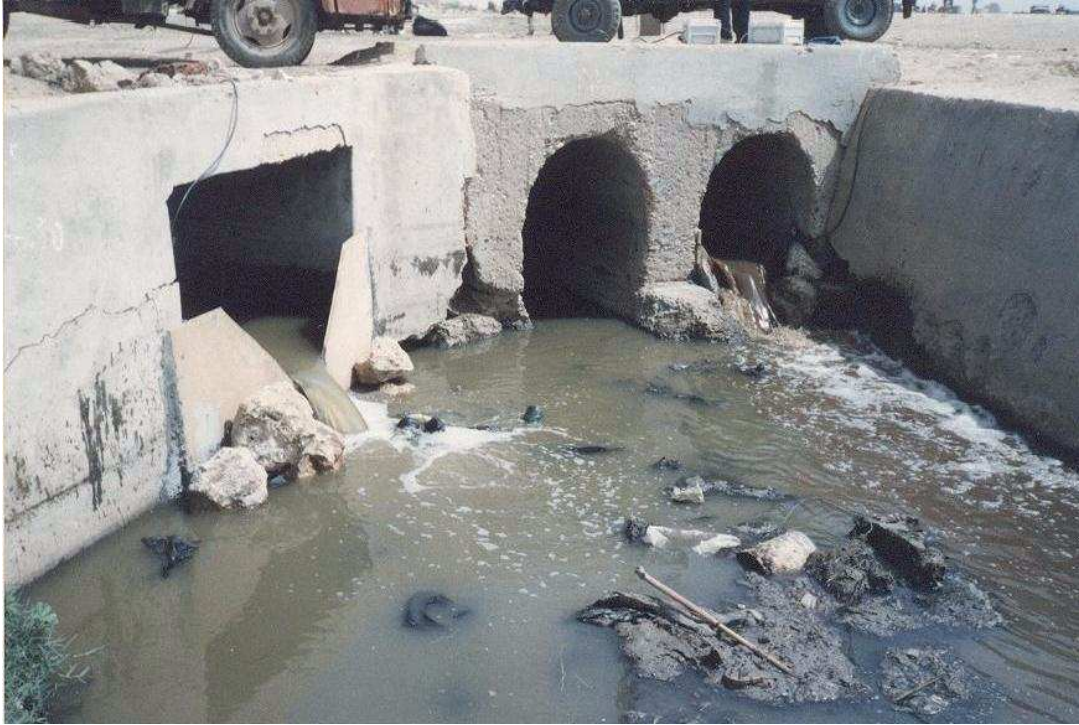
- Les arrivées massives de flux polluant provenant de vidange, de rejets industriels, de déplacements de dépôts sous un effet de chasse.
- Les différents niveaux de prélèvement : radier ou mi-hauteur de l'effluent, fond, milieu ou dessus dans la bache d'un poste de refoulement.
- Les perturbations dues à l'instrumentation.

Les résultats d'analyse dépendent également des heures de prélèvement, la courbe ci-après établie à partir de moyennes, illustre les variations des flux de DBO_5 des eaux usées d'un secteur urbain de 5000 habitants.



Les facteurs influant sur la composition de l'eau en matière de pollution sont nombreux. Les principaux sont : la topographie du site, l'occupation des sols, les activités humaines, le climat, la fréquence des pluies, le nettoyage des rues. Les caractéristiques du réseau sont également déterminantes, qu'il s'agisse d'un réseau séparatif ou unitaire, avec bouches de décantation, panier sélectif,...Interviennent aussi les conditions d'écoulements, d'auto curage, les modalités d'entretien...

Collecteur d'eaux usées dans la ville de Fkih ben Salah



Exemple d'une campagne d'analyses chimiques et bactériologiques dans le bassin de l'Oum Errbia (1995)

Site	Date et heure de prélèvement	Conductivité à 25°C en $\mu\text{S/cm}$	DBO ₅ en mg O ₂ / litre	DCO en mg O ₂ / litre	MES en mg/l : matières en suspension	PT en mg/l : phosphore total	PO ₄ ³⁻ en mg/l	F/100 ml : coliformes fécaux	NO ₃ ⁻ en mg/l
Rejet 1 : kasba Tadla	09/03/95 à 10 h 30 min	2520	186,30	661,13	340	14,63	22,79	21.10 ⁵	0
Rejet 1 : kasba Tadla	09/03/95 à 12 h 30 min	2520	157,10	619,18	260	14,63	24,42	-	0
Rejet 1 : kasba Tadla	09/03/95 à 18 h 17 min	2030	233,2	860,12	530	12,63	20,35	-	0
Rejet 2 : kasba Tadla	09/03/95 à 15 h 05 min	2050	351,7	1280	920	17,29	30,52	11.10 ⁶	0
Rejet 2 : kasba Tadla	09/03/95 à 18 h 30 min	1820	233,3	730,13	780	12,63	23,40	-	0
Rejet 1 : kasba Tadla	13/03/95 à 17 h 15 min	1985	226,3	794,56	390	24,11	38,66	-	3
Rejet 2 : kasba Tadla	13/03/95 à 17 h 25 min	2620	185,1	667,28	120	17,33	30,53	-	0
Rejet 2 : kasba Tadla	14/03/95 à 09 h 40 min	2230	270,8	944,32	700	33,60	52,90	-	7
Rejet 1 : kasba Tadla	14/03/95 à 10 h 0 min	2132	265,10	944,32	835	23,33	39,88	-	0
Souk Sebt	15/03/95 à 10 h 0 min	1983	187,4	663,26	190	10,15	19,94	-	0
Souk Sebt	15/03/95 à 13 h 30min	2034	240,1	867,13	875	29,11	39,88	-	5
Souk Sebt	15/03/95 à 18 h 15min	2090	196,1	693,16	370	26,95	38,25	-	0
Ouaouizarth	17/03/95 à 10 h 10min	1210	215,3	813,16	380	15,24	22,79	-	3

Ouaouizarth	17/03/95 à 12 h 00min	1505	198,10	717,16	410	24,33	36,63	-	7
Ouaouizarth	17/03/95 à 17 h 00min	1118	199,30	720,17	430	17,93	26,05	-	0
Souk Sebt	18/03/95 à 09 h 30min	2080	197,40	736,18	425	15,28	22,38	-	0
Souk Sebt	18/03/95 à 12 h 00min	2540	193,1	748,19	520	25,15	38,66	-	2
Souk Sebt	18/03/95 à 16 h 15min	2230	195,3	693,16	360	25,17	35,40	-	0
Azilal 1	21/03/95 à 10 h 30min	1532	196,1	691 ,28	320	15,05	23,19	-	0
Azilal 2	21/03/95 à 11 h 10min	1934	199,9	763,37	580	28,62	39,88	-	0
Azilal 1	21/03/95 à 14 h 30min	1298	185,3	683,16	310	11,28	18,31	-	0
Azilal 2	21/03/95 à 14 h 45min	2500	450,3	1580	1020	36,69	52,90	-	0
Azilal 2	21/03/95 à 18 h 00min	1960	346,1	1263	680	27,43	38,66	-	0

Traitement des eaux potables

I) Introduction :

Les eaux captées dans la nature ne présentent pas toujours les qualités physiques, chimiques et biologiques désirables. Avant de les utiliser pour la consommation humaine, elles doivent être traitées afin de rendre leur qualité conforme aux normes admises. Ceci se passe au niveau d'une station de traitement et qui est dimensionnée pour un certain débit susceptible de satisfaire les besoins. (Exemple : la station de Marrakech est dimensionnée pour 1400 l/s, elle est actuellement saturée et une extension de 700 l/s est en cours).

La plus grande station de traitement au Maroc est celle du complexe de Bouregreg qui alimente Rabat, Salé, Casablanca, et centres avoisinants (Temara, Skhirat, Bouznika, Ain Aouda, Rommani). Elle compte également parmi les 10 premières stations au monde. Sa capacité de production est de :

- 720.000 m³ /jour (8,3 m³ /s) actuellement.
- 1.000.000 m³ /jour (11,5 m³ /s) en 2010.

II) Traitement des eaux potables :

Trois phases fondamentales sont à prévoir pour avoir une eau répondant aux normes d'hygiène :

- l'élimination des particules en suspension par décantation et filtration.
- La stérilisation et ce par le chlore ou ses dérivés ou bien encore par l'ozone.
- L'amélioration qui consiste à corriger les propriétés chimiques de l'eau captée, soit par addition de corps chimiques appropriés, soit par adsorption de corps à supprimer.

A) Élimination des éléments en suspension :

Ces particules ont pour origine le transport solide des rivières ou les grains de roches au niveau des forages. C'est ce phénomène qui est responsable de la turbidité de l'eau. On commence généralement par une phase de prétraitement qui consiste à un dégrillage, un tamisage puis stockage en bassins.

1) Décantation :

Le principe est basé sur la différence de densité entre l'eau et les particules en suspension. Selon la granulométrie des éléments, on considère deux types de décantation :

1.1) la décantation simple :

Les particules sont assez grosses – (quelques dizaines de microns) -, les éléments se déposent facilement au fond. L'opération s'effectue dans de grands bassins ou dans des canaux à grande section ou l'eau circule à faible vitesse. Il est nécessaire d'évacuer les boues déposées soit par raclage, soit par écoulement.

1.2) la décantation assistée :

Lorsque les particules sont fines, la décantation se fait en agglutinant les éléments au moyen de coagulants. Ceci donne lieu à des flocons qui précipitent au fond. Le flocculant le plus utilisé est le sulfate d'alumine à des doses variant entre 5 mg/l à 100 mg/l.

Un décanteur



2) la filtration :

Le procédé consiste à faire écouler l'eau à travers un filtre. C'est généralement une couche de sable épaisse de plusieurs décimètres. Les espaces intersticiels permettent le passage de l'eau et la rétention des éléments plus ou moins grossiers. On distingue deux types de filtration :

2.1) la filtration lente :

La vitesse de filtration est comprise entre 10 et 80 cm/heure. A cette faible vitesse, les matières en suspension retenues dans les premiers centimètres d'épaisseur du filtre constituent au bout de quelques jours une couche biologique siège d'une vie intense et capable d'arrêter les particules extrêmement fines et de retenir une très forte proportion de bactéries présentes dans l'eau à traiter (jusqu'à 99%). Ce type de filtre ne devient donc efficace qu'au bout de plusieurs jours.

2.2) la filtration rapide :

Les filtres rapides sont les plus répandus car moins onéreux. Leur vitesse de filtration atteint en exploitation 6 mètres/heure. De par le colmatage, la perméabilité diminue et le débit également. Ceci nécessite au bout de quelques jours un lavage à courant (par un mélange d'eau et d'air qui brasse le sable et nettoie le filtrat de façon homogène).

B) la stérilisation :

Cette opération a pour but de supprimer les germes pathogènes contenus dans l'eau. Ceci se fait par addition de chlore ou de ses dérivés. La quantité de chlore nécessaire à une bonne stérilisation est dans les cas usuels de 0,2 à 0,4 ml/l et le temps de contact nécessaire est de 1 à 2 heures.

L'ozone est également un moyen très efficace pour stériliser l'eau (O_3) mais son utilisation coûte relativement cher, il oxyde la matière organique et détruit presque instantanément tous les microbes. Il fait disparaître également les goûts et couleurs dus à certaines matières organiques présentes dans l'eau. La dose d'ozone à utiliser est de l'ordre de 0,5 à 5g/m³ d'eau.

Un autre moyen pouvant être utilisé mais encore plus cher est le traitement par rayons ultraviolets

C) Amélioration des eaux potables :

Cette opération correspond à trois phases : la neutralisation, l'adoucissement, et la suppression des polluants organiques.

1) la neutralisation :

Lorsqu'une eau est légèrement acide, on corrige le PH par addition de chaux. En pratique, on fait circuler l'eau sur des filtres chargés de calcaires naturels concassés et qui doivent être renouvelés au fur et à mesure qu'ils sont consommés.

2) l'adoucissement :

Il s'agit de réduire la dureté de l'eau lorsque celle-ci est élevée : dépôts et incrustations dans les conduites. L'adoucissement peut se faire par la chaux. Celle-ci permet de précipiter les sels calcaires. Le précipité doit alors être retenu par des filtres.

3) suppression des polluants organiques :

De nombreux polluants de nature organique ne sont pas éliminés par les opérations de décantation et de filtration : bois, pâte à papier, hydrocarbures....ces résidus peuvent être éliminés par adsorption (fixation des molécules du polluant à la surface du corps adsorbant), **exemple** : utilisation du charbon actif

Remarque : le charbon actif élimine également les mauvaises odeurs et les mauvais goûts.

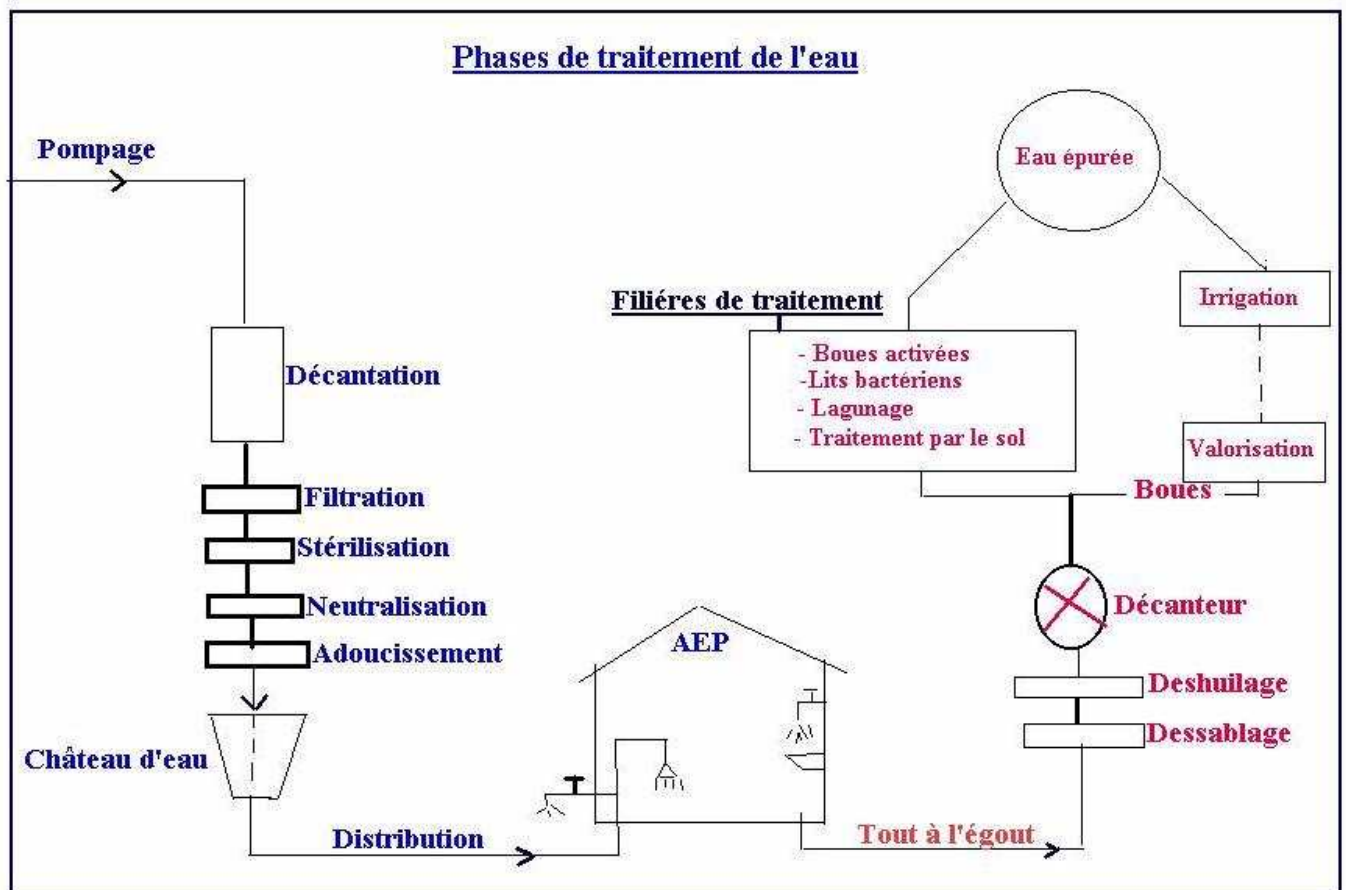
Rappel : le charbon actif est un charbon très poreux, obtenu par chauffage à très haute température de substances organiques (bitume, houille, bois, tourbe).

NB : dans toute station de traitement, il y a un laboratoire de contrôle de la qualité de l'eau après traitement.

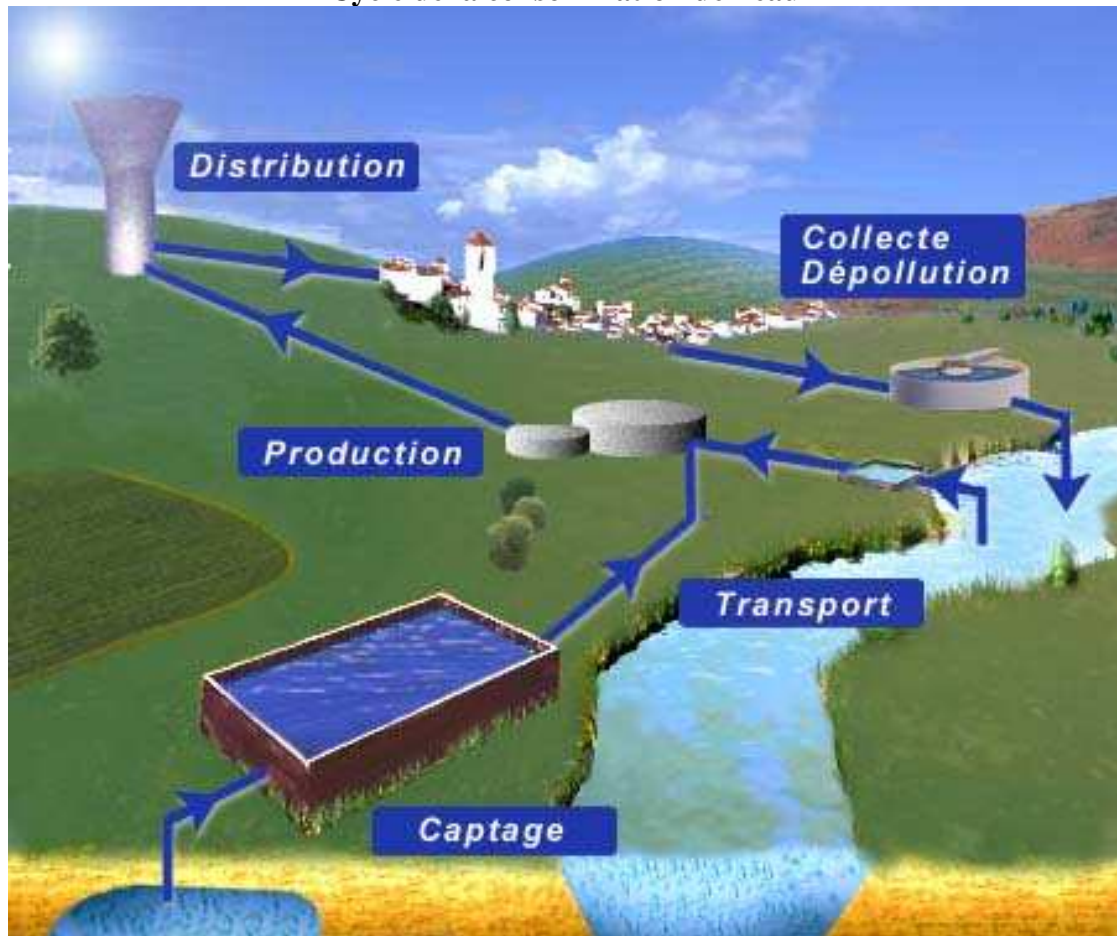
Station de traitement de Marrakech



Station de traitement de Ouarzazate



Cycle de la consommation de l'eau



La pollution de l'eau

I) Introduction :

Une eau est dite polluée lorsque sa qualité initiale a été dégradée sur le plan chimique ou bactériologique, on peut parler également d'une pollution thermique et radioactive. Ce phénomène peut affecter les eaux superficielles (rivières, retenues de barrages, lacs) ainsi que les eaux souterraines (nappes et aquifères). La pollution peut être :

- **Permanente** : phénomène continu dans le temps (exemple : rejet d'une eau usée dans une rivière).
- **Périodique ou saisonnière** : qui ne se manifeste que pendant une certaine période (exemple d'une usine qui ne fonctionne que pendant une période donnée : cas des sucreries).
- **Accidentelle** : en ce sens qu'elle est localisée dans le temps et l'espace (exemple du renversement d'un camion d'hydrocarbure dans la retenue d'un barrage à une date donnée).

On peut définir aussi deux types de pollution :

- **Pollution ponctuelle** : elle affecte une zone bien circonscrite (exemple : un tronçon de rivière).
- **Pollution diffuse** : Elle peut être évolutive dans le temps et généralisée dans l'espace (cas de la contamination d'un aquifère par les engrais fertilisants : excès de nitrates par exemple).

On parle également de polluants biodégradables et non biodégradables. Les agents biodégradables se rapportent aux matières organiques décomposables par les organismes vivants (bactéries, champignons). Par contre certains produits comme les métaux et certains pesticides ne sont pas ou peu biodégradables.

Rappel : les pesticides sont des produits utilisés en agriculture pour lutter contre les parasites animaux et végétaux menaçant les cultures, exemple de produits phytosanitaires. Les pesticides sont toxiques pour l'homme. Les herbicides luttent contre les mauvaises herbes, les fongicides contre les champignons, les insecticides contre les insectes et les raticides contre les rongeurs.

Deux paramètres fondamentaux conditionnent la pollution :

- les sources ou foyers de pollution dont il faut faire l'inventaire.
- La vulnérabilité des ressources en eau et écosystèmes aquatiques vis-à-vis de la pollution.

II) la pollution des eaux de surface :

Les sources de pollution sont généralement :

- les rejets d'eaux usées domestiques.
- Le lixiviat « jus » provenant des décharges d'ordures ménagères.

- Les rejets d'effluents industriels.

Ces rejets sont parfois la cause principale de l'eutrophisation de rivières, de lacs et même de retenue de barrage.

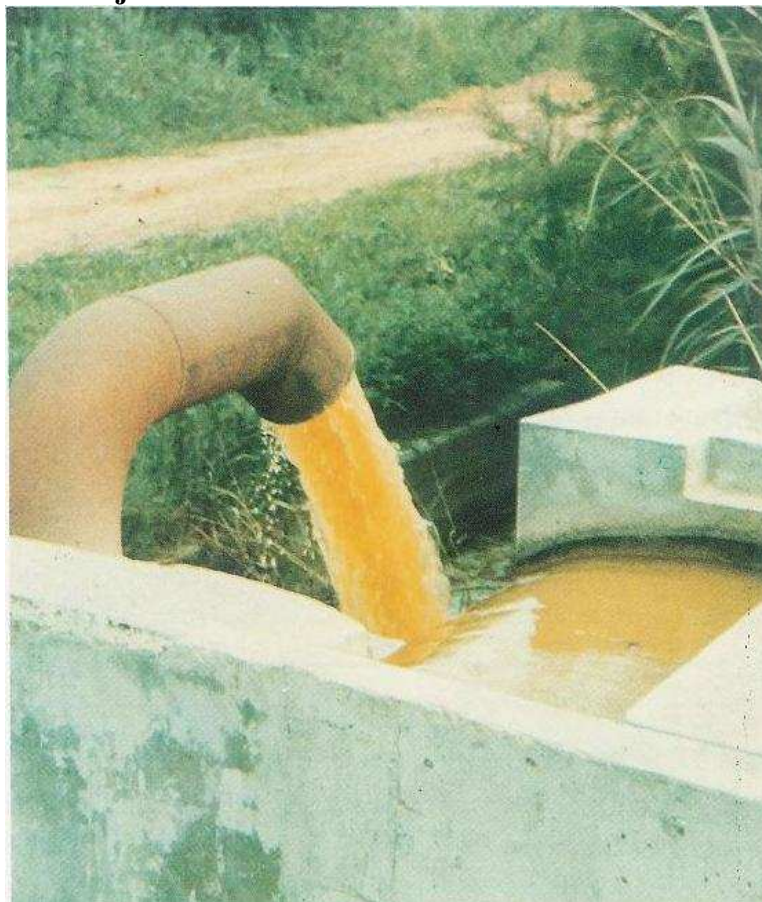
Un effluent rejeté dans un cours d'eau peut ne pas produire de nuisances. En effet si le débit du cours d'eau est relativement important et la charge polluante de l'effluent faible, il se produit le phénomène de dilution. On parle alors de la capacité auto-épuratrice de la rivière. L'autoépuration est favorisée par une forte teneur en oxygène dissous du cours d'eau : la quantité d'oxygène excédentaire permet d'oxyder la matière organique de l'effluent.

Si la dégradation de la matière organique se fait par voie anaérobie, c'est à dire en absence d'oxygène, il se produit une fermentation qui détruit la flore et la faune aquatique (poissons) en dégageant des odeurs nauséabondes et également du gaz méthane CH_4 .

Dans certains barrages et si l'état de la retenue le permet, on parle de « débit sanitaire » : c'est un débit lâché à partir du barrage pour lessiver les déchets en aval provoquant ainsi une sorte d'épuration de l'écosystème aquatique en aval. Exemple : $Q = 40\,000\text{ m}^3/\text{semaine}$ est lâché à partir de Bin el Ouidane dans l'oued El Abid.

Une grande partie des rejets d'eaux usées marocaines se font dans les rivières et de surcroît, ces eaux ne sont pas traitées. Le cas flagrant est l'oued Sebou qui reçoit beaucoup d'effluents aussi bien domestiques qu'industriels.

Rejet d'une sucrerie dans l'oued Sebou



Exemple de mesures de pollution (impact des sucreries sur les eaux de surface en 1990).

sucrerie	DBO ₅ (Kg/T)	DCO (Kg/
SUBM	3,21	3,35
SUNAT	2,54	3,44
SUTA	9,74	17,20

Le tableau ci-après donne une idée sur la pollution domestique nette due aux rejets de certaines provinces (Année 1992-1993).

Province	Pollution nette rejetée en Kg/j	
	DBO ₅	DCO
Azilal	869	2607
Béni-Mellal	7249	21749
Khénifra	1419	4259
Khouribga	4763	14289
total	14300	42904

Remarque : la pollution de l'eau jusqu'à un certain niveau rend le traitement pour potabilisation difficile et onéreux voire impossible. (L'ONEP rencontre souvent ce problème pour alimenter le centre de Kariat Ba Mohamed).

Une stratégie visant à préserver la qualité de l'eau doit viser la prévention en premier lieu et la dépollution en second lieu.

III) la pollution des eaux souterraines :

III.1) capacité auto-épuratrice du milieu :

Les sources de pollution sont de plus en plus nombreuses compte tenu des activités socio-économiques de l'homme. On distingue également deux types de pollution : chimique et bactériologique.

Le système aquifère a également une capacité auto-épuratrice en fonction d'un certain nombre de mécanismes chimiques et biologiques. A titre d'exemple, on peut citer les cas suivants :

III.1.1) Aspect chimique :

- **Filtration** : en ce qui concerne les matières en suspension.
- **Fixation** : par le sol de certains éléments notamment certains Produits insolubles des hydrocarbures.
- **Réactions chimiques** (oxydo- réduction) et biologiques (biodégradation entre le sol, l'eau et le polluant).

- **Dilution du polluant** au cours de son cheminement notamment pour les éléments chimiques solubles dans l'eau (Cl^- , NO_3^- ...).

III.1.2) Aspect bactérien :

Deux trajets sont empruntés par les bactéries et virus lors de leur cheminement :

- Un trajet vertical dans la zone non saturée (entre le sol et le niveau piézométrique).
- Un trajet quasi horizontal (latéral) en zone saturée généralement. Si le terrain non saturé présente des caractères de filtration tant mécanique que biologique, l'élimination des bactéries et virus est rapide et celles-ci n'atteignent pas la nappe. Mais ceci n'est pas toujours réalisé et on assiste alors à une propagation de la pollution bactérienne dans le sens de l'écoulement.

III .2) les foyers de pollution :

Les agents de pollution sont nombreux, parmi lesquels on cite ;

1- Les hydrocarbures :

Des concentrations assez faibles peuvent rendre une eau inutilisable. A titre indicatif nous dirons que d'après des expériences en Europe et aux U.S.A, 50 l de gasoil peuvent polluer la consommation en eau d'une population de 200.000 personnes pendant 1 an.

2- Les engrais et produits agricoles divers :

La plupart des engrais se composent d'éléments chimiques qui, à des concentrations excessives peuvent revêtir le caractère de pollution en particulier les nitrates et phosphates. L'utilisation non contrôlée d'insecticides et fongicides, toxiques et non biodégradables, peut renforcer largement le risque de pollution. La nappe des Béni Moussa et Béni Amir est contaminée à cause d'un excès en nitrates dépassant souvent 50 mg/l.

3) les margines :

Lors de la période oléicole et après triturations des olives au niveau des unités traditionnelles, les résidus ou margines sont rejetés souvent dans des puits perdus ce qui est à l'origine d'une pollution organique.

4) Etables et excréments animaux :

Ils constituent une pollution importante par les nitrates qu'ils génèrent dans le sous- sol. Cette pollution dans le cas des étables est soutenue et permanente et peut être assez dangereuse.

5) Les dépôts d'ordures et décharges sauvages :

Ils engendrent une pollution à la fois bactérienne, chimique et organique, surtout les déchets alimentaires à travers l'infiltration du lixiviat.

6) Les rejets industriels :

Cette pollution présente en général un caractère permanent, le lessivage par les précipitations et l'infiltration en constitue les principaux éléments moteurs.

7) Les eaux usées :

Les eaux sont répandues, pour les villes grâce au système d'égouts. Les zones d'épandage de ces eaux sont quelques - fois passibles d'infiltrations de substances polluantes.

Il existe d'autres sources de pollutions parmi lesquelles on peut citer brièvement les carrières, les cimetières, les abattoirs, les fosses septiques.

Citons enfin que compte tenu de l'interaction et les échanges qui se font entre les eaux de surface et les eaux souterraines, un aquifère peut être contaminé par une rivière sus-jacente.

IV). Conditions hydrogéologiques favorisant une pollution : (vulnérabilité)

La vulnérabilité d'une nappe à la pollution est sa prédisposition à la contamination par les agents polluants lorsque les conditions hydrogéologiques intrinsèques au milieu physique sont favorables.

a- Nature de la nappe :

Une nappe captive est généralement profonde, de ce fait, elle est beaucoup plus protégée par rapport à une nappe libre.

b- L'épaisseur du milieu non saturée :

Des épaisseurs faibles exposent la nappe à une pollution par rejet direct.

c- La nature des terrains de couverture :

Les terrains perméables favorisent l'accès d'un polluant comparativement à un terrain imperméable.

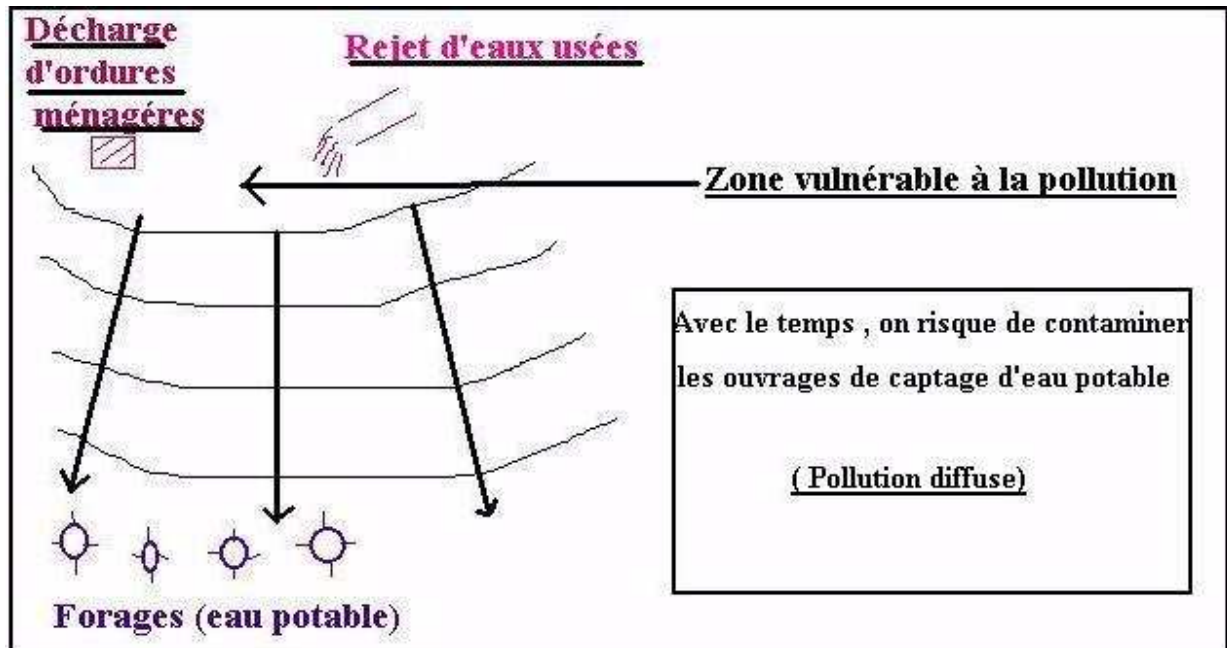
d- La piézométrie :

L'intérêt de la cartographie d'une telle donnée trouve sa justification une fois que la pollution a atteint la nappe. En effet, la pollution se propage en grande partie dans le sens de l'écoulement de la nappe.

e- Paramètres hydrodynamiques :

Tant que la transmissivité d'un terrain est bonne, le temps de parcours d'un polluant pour arriver à un captage d'eau potable est relativement court.

Notons finalement que la prise en considération de tous ces éléments permet au sein d'une nappe de localiser les zones vulnérables à la pollution ce qui permet leur protection et surveillance dans un stade précoce.



V. Notion de périmètres de protections :

La pollution d'une nappe est un phénomène irréversible en ce sens que les agents polluants se propagent, se dispersent et gagnent du terrain ce qui rend la dépollution pratiquement impossible. Aussi, le meilleur moyen est la prévention. Parmi les moyens, on s'intéresse aux périmètres de protection autour des captages d'eau potable.

* **Périmètre de protection immédiat** : Il sert uniquement à assurer la protection du captage et des installations de pompage.

* **Périmètre de protection rapproché** : Il a pour but d'éliminer toute pollution bactérienne. Ce périmètre fait l'objet de procédures législatives très sévères et très précises commençant par l'expropriation de toute habitation existant à l'intérieur.

* **Périmètre de protection éloigné** : destiné à la protection contre les pollutions chimiques, il comprend un périmètre d'appel maximal correspondant aux conditions les plus défavorables. Il comprend le périmètre rapproché et il est fermé à l'amont par une ceinture d'alerte constituée de piézomètres.

