The Algerian Republic Democracy and Popular

Ministry of Higher Education and Scientific Research

UNIVERSITY CENTER SALHI AHMED NAAMA

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF NATURAL AND LIFE SCIENCES

Cours : Hydraulique pastorale et gestion de l'eau

Master 2 : Agro-pastoralisme

Par : **A. RAHMANI**

I) Généralités sur le cycle de l'eau dans la nature

I-1) Introduction :

L'eau recouvre près des trois quarts de la superficie totale du globe.

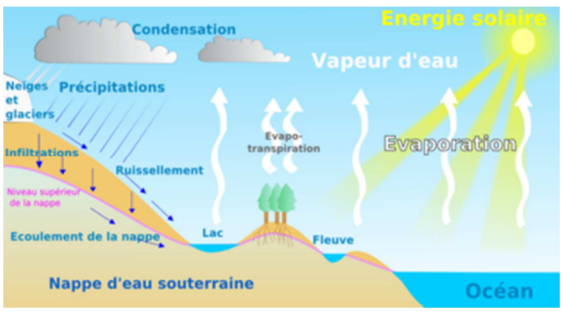
L'évaporation qui s'effectue au-dessus des océans, grâce à l'énergie solaire, conduit à la formation des nuages, lesquels, poussés par les vents, se résolvent en pluie ou en neige à la faveur d'une variation de température, donnant lieu à ce qu'on appelle les précipitations atmosphériques.

Sur les continents, l'eau ainsi tombée a des destinées diverses : une partie s'évapore, une autre ruisselle ; une autre s'infiltre. Ces manifestations se produisent suivant des proportions variables, où interviennent la topographie, la constitution géologique du sol, le climat, la température, etc…

Finalement toute les eaux retournent à la mer par un système d'hydrographie de surface ou souterraine plus ou moins complexe.

Donc l'eau obéit dans la nature à un cycle, l'origine est matérialisée par les précipitations.

L'hydrologie est la science qui étudie ce cycle ainsi que ses paramètres fondamentaux : pluie, ruissellement, infiltration, évapotranspiration.



<u>Les différents utilisateurs de l'eau :</u>

- L'Alimentation en Eau Potable (AEP) : Hydraulique urbaine
- Le pastoralisme : Hydraulique pastorale
- L'irrigation : Hydraulique agricole
- L'industrie.

<u>Classification des systèmes pastoraux :</u>

De manière globale leur classification se résume en :

- Un système de pâturage vert, associé à l'exploitation des eaux de surface.
- Un système de pâturage sec, associé à l'exploitation des eaux souterraines.

I-2) le cycle de l'eau dans la nature :

Le cycle de l'eau dans la nature peut être traduit par cette équation bilan :

$$\mathbf{P = E + R + I} \quad \text{avec}$$

P = précipitations (mm/an)

E = évapotranspiration (mm/an)

R = ruissellement (mm/an)

I = infiltration (mm/an)

*** Précipitations** :

Elles sont mesurées à l'aide d'un pluviomètre ou pluviographe. La pluie mensuelle est la somme des pluies journalières, la pluie annuelle est la somme des pluies mensuelles.

En termes de moyenne et de même que pour les autres paramètres climatiques l'OMM (organisation mondiale de météorologie) propose une série d'au moins 30 ans dans la série chronologique pour que la moyenne ait une signification statistique.

*** Ruissellement** :

C'est l'écoulement en surface et qui est favorisé par un sol imperméable et une pente assez importante. Ce paramètre est déterminé par jaugeage au niveau des cours d'eau. Le ruissellement alimente les barrages, et les retenues collinaires….

*** Infiltration** :

C'est la partie d'eau qui rejoint le sous-sol pour alimenter les nappes d'eau souterraines. Ce paramètre n'est pas mesuré mais il est souvent déterminé par des méthodes indirectes (surtout par des modèles de simulation hydrogéologiques).

***Évapotranspiration** :

Ce facteur est la résultante de deux paramètres.

- L'évaporation : perte d'eau dans l'atmosphère qui se produit sur un sol nu.

-**Transpiration** : phénomène biologique qui se produit à l'intérieur des plantes; celles-ci puisent dans le sol par leurs racines l'eau nécessaire à leur développement et la rejettent par leur système foliaire dans l'atmosphère.

Les agronomes distinguent deux types d'évapotranspiration:

**** L'évapotranspiration potentielle. (ETP)** : c'est l'évapotranspiration qui se produirait lorsque le sol est suffisamment humide et que la surface n'impose aucune contrainte restrictive au flux de vapeur. C'est donc en fait la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales.

**** L'évapotranspiration réelle : (ETR)** : celle que l'on obtient réellement lorsqu'il y a des contraintes (ex : pluies insuffisantes)

Les paramètres qui régissent l'évapotranspiration sont :

- La température
- Le vent
- L'hygrométrie (état d'humidité)
- Le rayonnement
- Le type de végétation et l'état hydrique du sol

ETP et ETR peuvent être calculées par des formules empiriques ex : formule de TURC

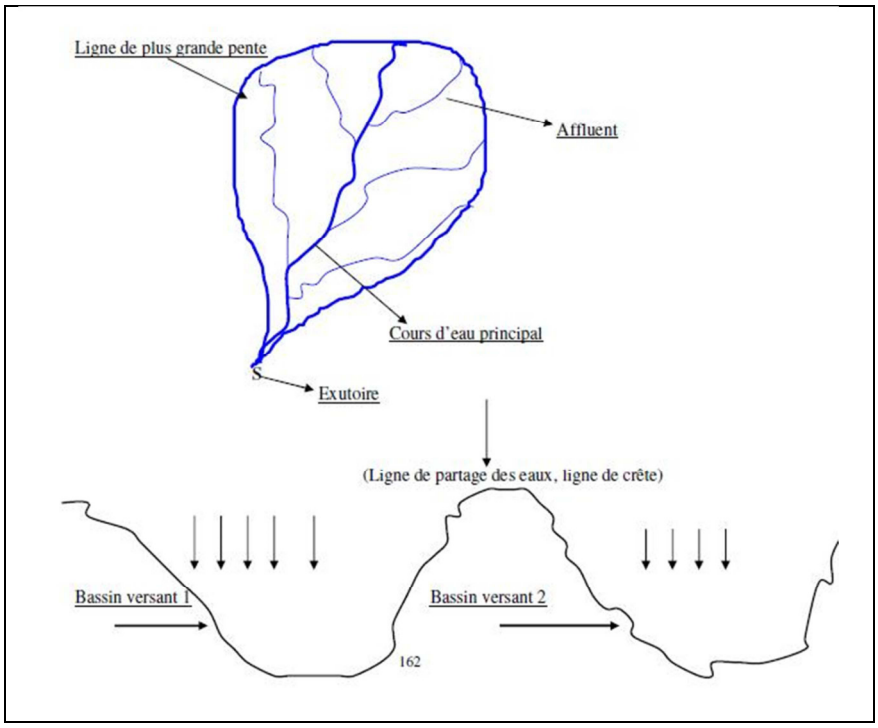
Pour les différentes composantes du cycle de l'eau, on définit :

- Coefficient de ruissellement : $C_R = \frac{R}{P} \times 100$
- Coefficient d'infiltration : $C_I = \frac{I}{P} \times 100$
- Coefficient d'évapotranspiration : $C_E = \frac{E}{P} \times 100$

II) Notion de bassin versant :

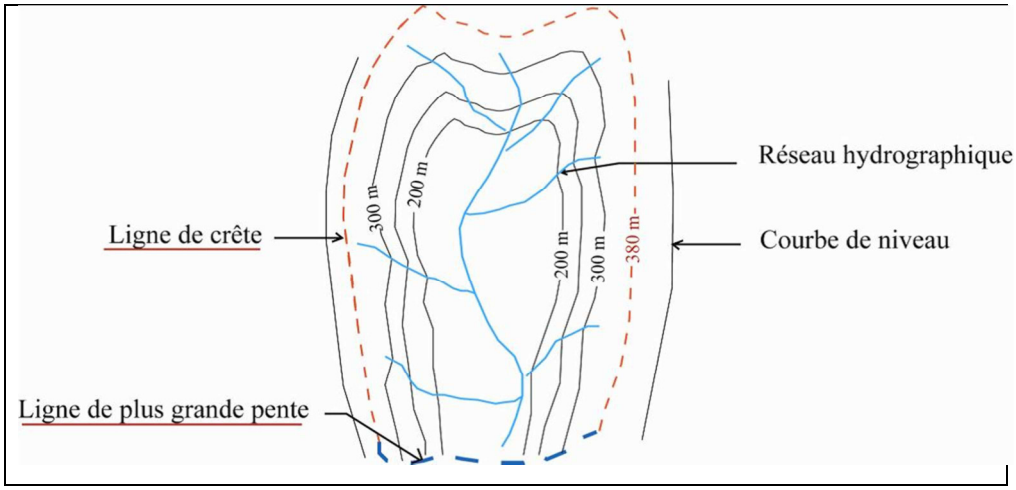
II-1) Définition d'un bassin versant :

Le bassin versant est l'unité de base pour la détermination du bilan hydrologique. Il est défini comme la surface parcourue par un cours d'eau et ses affluents. Un cours d'eau prend généralement naissance dans une zone à reliefs et draine la surface topographique. Les écoulements convergent vers la section la plus basse du cours d'eau appelée exutoire.



II-2) Comment délimiter un bassin versant ?

Les limites du bassin versant sont définies par la ligne de crête (ligne de plus grande altitude) et par la ligne de plus grande pente.



II-3) Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant

A- La surface

La surface constitue l'aire de réception des précipitations qui alimentent un cours d'eau par écoulement. Le débit du cours d'eau à l'exutoire dépend donc en partie de la surface.

La surface peut être mesurée en km^2 par l'utilisation d'un planimètre, ou par des méthodes numériques.

B- Le périmètre

Le périmètre est la caractéristique de longueur la plus utilisée. Le périmètre peut être mesuré directement sur la carte topographique par curvimétrage ou de manière indirecte en utilisant la longueur du rectangle équivalent.

Actuellement les fonds topographiques sont scannés et la délimitation se fait sur PC grâce à des logiciels (SIG) de type Mapinfo, Arc Gis, ces logiciels permettent également de calculer les surfaces et périmètres de bassins versants.

C- La forme :

a- Coefficient K_G de Gravelius = Coefficient de compacité

La forme du bassin versant a une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, cette caractéristique est donnée par l'indice de Gravelius

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

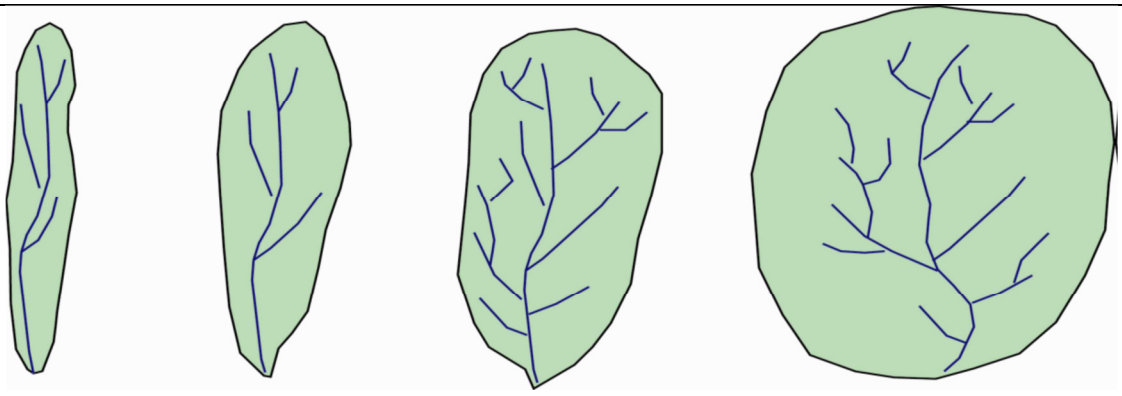
P : périmètre en Km

A : Surface en Km^2

Le coefficient K_G de Gravelius est supérieur à 1 lorsque la forme du bassin est allongée, et proche de 1 pour un bassin versant de forme circulaire ou ramassée.

$1,12 < K_G < 1,8$: Bassin de forme allongée. Cette forme favorise les faibles débits de pointe de crue en raison du temps élevé de concentration ou d'acheminement de l'eau jusqu'à l'exutoire.

$1,0 < K_G < 1,12$: Bassin de forme circulaire ou ramassée.



KG = 1.6 KG = 1.3 KG = 1.2 KG = 1.1

Indice de Gravelius et caractérisation de la forme des bassins versants (Musy, 2005)

b- Le rectangle équivalent :

C'est le rectangle de longueur L et de largeur l qui a la même surface et le même périmètre que le bassin versant.

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petit côté du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.

En combinant les trois relations, surface, périmètre et le coefficient de Gravelius, on obtient : la longueur et la largeur du périmètre.

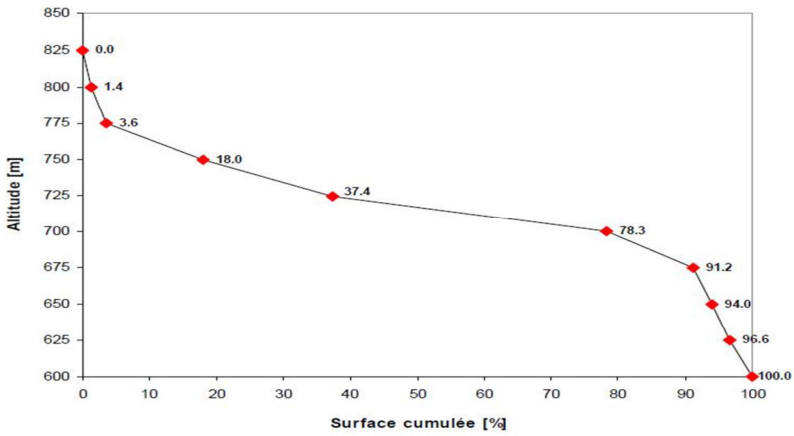
$$L = \frac{K_G\sqrt{A}}{1.12}\left[1+\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2}\right] \qquad l = \frac{K_G\sqrt{A}}{1.12}\left[1-\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2}\right]$$

III) Caractéristiques de relief d'un bassin versant

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin.

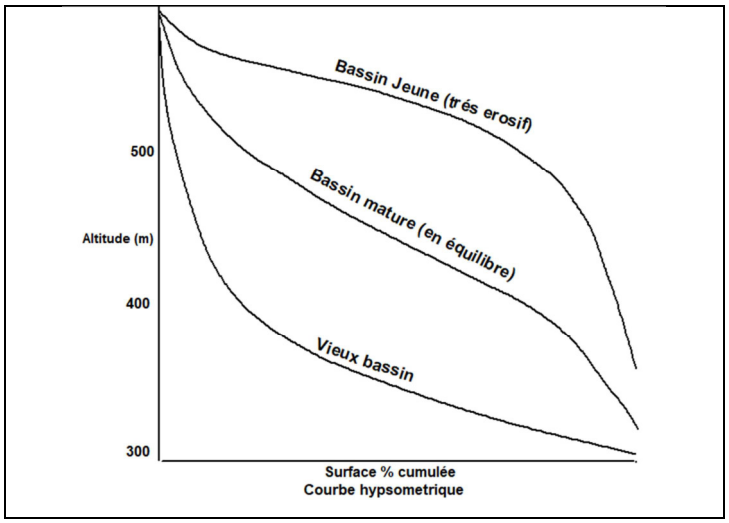
L'altitude est décrite par la courbe hypsométrique qui représente la surface en km^2 (ou le pourcentage de la surface cumulée) en fonction des altitudes supérieures à une côte Z donnée. Il est intéressant d'étudier l'hypsométrie du bassin versant par tranche d'altitude.

Tranche d'Altitude	% Surface	% surface cumulée
825 - 800	1.4	1.4
800 - 775	2.2	3.6
775 - 750	14.5	18.1
750 - 725	19.4	37.5
725 - 700	40.9	78.4
700 -675	12.9	91.3
675 - 650	2.7	94
650 – 625	2.6	96.6
625 – 600	2.3	98.9
< 600	1.1	100



La courbe hypsométrique est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante.

Cette courbe traduit la répartition des altitudes à l'intérieur du bassin versant et permet, en outre, de déterminer les altitudes caractéristiques. Elle donne l'état de maturité du relief (jeune, équilibré, vieux).



- **Altitude Moyenne**

$$Hmoy = \frac{1}{A}\sum\left[Si\,\frac{Hi + Hi + 1}{2}\right]$$

-H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant en (m).

- A : Surface totale du bassin versant en (Km^2).

- S_i : La surface comprise entre deux courbes de niveau en (Km^2).

- h_i, h_{i+1} : Altitudes haut et bas qui délimite la surface S_i en (m).

- **Altitude médiane** : Correspond au point d'abscisse 50 % sur la courbe hypsométrique.
- **L'altitude maximale et minimale du bassin**
- **D : Dénivelée $H_{5\%}$% - H_{95}%** définie sur la courbe hypsométrique entre 5% et 95%

Les indices de pente :

L'Indice de pente global Ig : est utilisé pour déterminer la dénivelée spécifique du bassin. Il permet de caractériser et de classer le relief du bassin versant.

$$\boldsymbol{Ig = \frac{D}{L}}$$

D : Dénivelée **$H_{5\%}$% - H_{95}%** (m)

L : Longueur du rectangle équivalent (m)

La dénivelée spécifique (Ds) : permet de se prononcer sur le relief suivant la classification de l'Office de Recherche Scientifique d'Outre-Mer (ORSTOM).

$$\boldsymbol{Ds = D\sqrt{\frac{l}{L}}}$$

D : Dénivelée **$H_{5\%}$% - H_{95}%** (m)

L : Longueur (Km)

l : Largeur (Km)

*Classification d'après l'O.R.S.T.O.M (*Office de **R**echerche **S**cientifique de **T**erritoire d'**O**utre **M**er)

Relief	**Ig (m/Km) ou ‰**	**Ds (m)**
Très faible	< 2	<10
Faible	2 < Ig < 5	10 < Ds < 25
Assez faible	5 < Ig < 10	25 < Ds < 50
Modéré	10 < Ig < 20	50 < Ds < 100
Assez fort	20 < Ig < 50	100 < Ds < 250
Fort	50 < Ig < 100	250 < Ds < 500
Très fort	Ig >100	> 500

Pente moyenne : donne une bonne indication sur le temps de parcours de ruissellement direct donc le temps de concentration.

$$\boldsymbol{S = \frac{2Hmoy}{L}\ (m/Km)}$$

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

L : Longueur du périmètre (Km)

LES RESSOURCES EN EAU :

Ces ressources sont soit stables, soit variables.

- *Les ressources stables* sont les sources, cours d'eau permanents, fleuves, lacs, mares pérennes et nappes profondes qui alimentent les puits, et forages qui constituent les éléments permanents et l'ultime recours avant le retour des pluies.
- *Les ressources variables* : elles sont tributaires des pluies estivales qui reviennent chaque année, aussi irrégulières soient-elles. Elles consistent en eaux de surface renouvelées chaque année dans les mares et en nappes superficielles rechargées à chaque saison des pluies qui alimentent les puits, souvent asséchés avant le retour des pluies.

A) LES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES :

Appelé aussi eau de surface : sont constituées, par de l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère issues du ruissellement.

Parmi les eaux de surface, on peut citer :

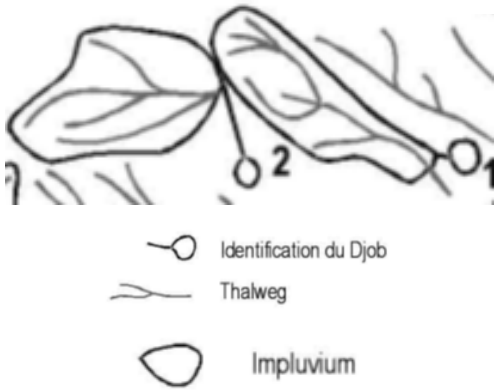
a) Les cours d'eau (permanents ou temporaire) qui prennent naissance généralement dans les régions montagneuses.

b) Les lacs : sont constitués, compte tenu du relief souvent très plat, notamment dans les zones sahariennes, sahéliennes et steppiques. Ils représentent de vastes points d'eau permanents que les grandes sècheresses, ne parviennent pas à tarir.

c) Les mares : dans les dépressions, l'eau peut s'accumuler en collections trop petites pour que l'on puisse parler de lacs. Certaines sont permanents, d'autres ne subsistent que quelques mois après la fin des pluies et sont donc temporaires.

La formation d'une mare dépend de la présence d'une dépression sans exutoire, dont le fond est suffisamment imperméable pour retenir l'eau.

d) le Djob (ou Jebboub) : un système de capture des eaux de ruissellement. C'est un creux dans la roche ou une petite retenue à travers un petit thalweg qui permet d'emmagasiner une quantité appréciable d'eau et suffisante à accès facile.



Emplacement de quelques Djobs

Type de Djob dans une zone steppique

B) LES EAUX SOUTERRAINES

I) Généralités sur les eaux souterraines

La plupart des eaux souterraines ont une origine météorique, proviennent des précipitations (pluie, neige) et de leur infiltration dans le sol.

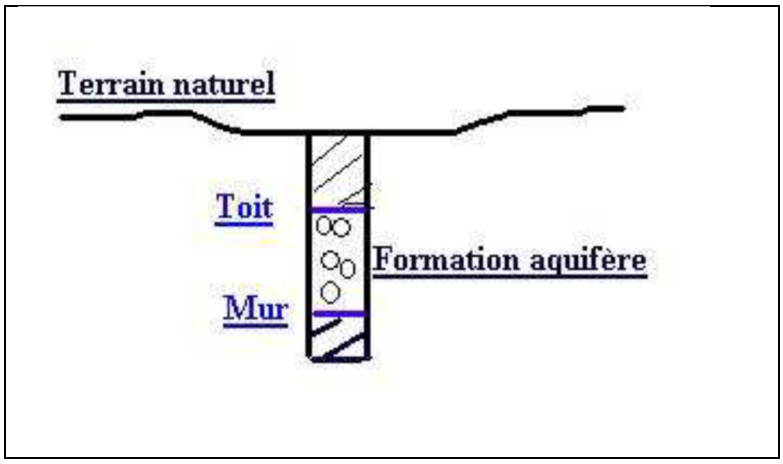
1) Nappe ou aquifère :

Une nappe d'eau souterraine ou aquifère est un réservoir d'eau souterraine continu avec des circulations d'eau plus ou moins importantes dans une roche magasin. Ex : sable, calcaires fissurés….

Un aquifère doit donc remplir deux fonctions :

- une fonction de stockage : (emmagasinement)
- une fonction de transfert (perméabilité transversale).

Une formation aquifère est caractérisée par un toit et un mur. Le toit est le sommet de la formation, tandis que le mur est la base.



2- Facteurs d'existence d'une nappe

L'existence d'une nappe est conditionnée par la conjonction de trois facteurs :

- facteur lithologique : il doit exister une roche "réservoir" à la fois poreuse et perméable qui constituera le terrain aquifère. Cette roche doit avoir à sa base un mur imperméable (ex. argile, marne) pour soutenir la nappe ou plus simplement qui servira de fond "étanche" au réceptacle constitué par le réservoir.
- facteur d'alimentation : il faut que de l'eau puisse venir remplir les pores de la nappe.
- facteur de structure : il est nécessaire d'avoir une structure favorable à l'accumulation de l'eau (une structure anticlinale est défavorable).

Ces trois facteurs ont une influence variable selon les types de nappes rencontrées. Les conditions d'alimentation, lithologiques et structurales ne peuvent pas être considérées isolément.

3- Alimentation

Les nappes peuvent avoir plusieurs modes d'alimentation :

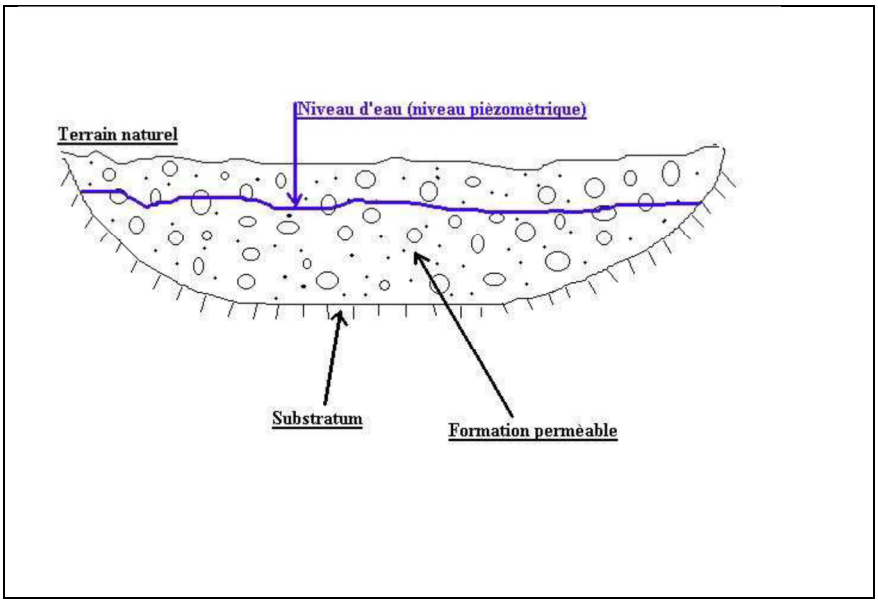
- par infiltration directe de la pluie lorsque l'aquifère est à l'affleurement, par drainage d'un cours d'eau de surface,
- par déversement d'une nappe sus-jacente,
- par drainance à travers des terrains semi-perméables lorsque deux nappes ne sont pas en équilibre

4- Types de nappes

En fonction du contexte géologique on distingue 02 nappes:

- **Une nappe libre :**

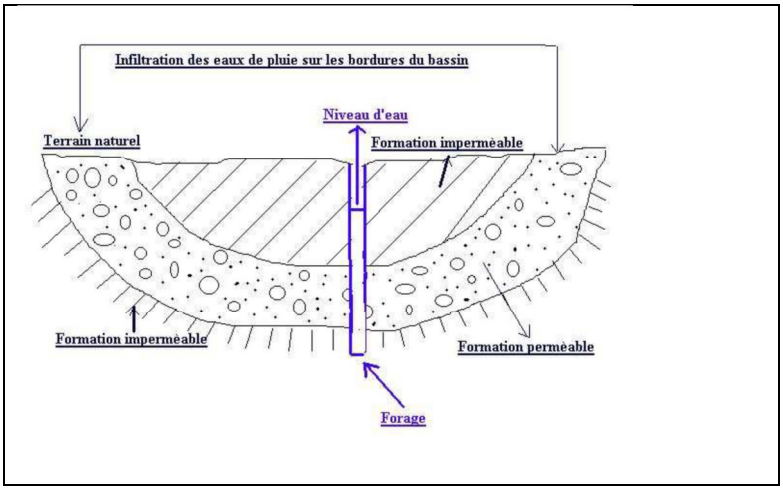
C'est une nappe qui circule dans une formation perméable et repose sur une couche imperméable appelée encore substratum de la nappe.



- **Une nappe captive :**

C'est une nappe qui circule dans une formation perméable et qui est emprisonnée entre deux couches imperméables. C'est donc une nappe ou l'eau est en charge : sous pression.

Si on fait un forage dans cette nappe, le niveau d'eau va se situer dans les formations sus jacentes (supérieures). Le forage met en communication la pression du terrain et la pression atmosphérique. La pression du terrain est supérieure à la pression atmosphérique, ceci entraîne la remontée de l'eau par capillarité jusqu'à ce qu'il y ait un équilibre de pression et stabilité du niveau d'eau. Le forage peut être artésien si la pression est importante.



5- L'exutoire :

Après avoir circulé dans le sous -sol, l'eau doit sortir et se déverser au droit des points les plus bas topographiquement. L'exutoire peut être matérialisé par des sources ou la mer dans le cas d'une nappe côtière.

Paramètres régissant un besoin en eau :

Un besoin en eau quel qu'en soit la nature est exprimé par le biais de deux grandeurs : la quantité et la qualité.

- la quantité est exprimée par **le débit**.

Le débit : un volume d'eau traversant une section de cours d'eau pendant une unité de temps (m3/s). Il est la résultante de 02 parametres (les facteurs qui influent le debit) :

- La section du cours d'eau
- La vitesse du courant

$Q = \frac{Volume}{temps}$ Volume = Section x Longueur donc $Q = \frac{S.l}{t}$ et $Vitesse = \frac{l}{t}$

donc $\boldsymbol{Q = V.S}$

V : Vitesse m/s

S : Section (m^2) donc Q (m^3/s)

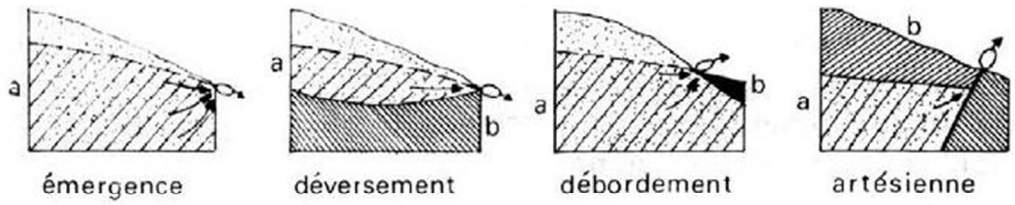
- la qualité de l'eau dépend de l'usage prévu.

II) Exploitation des eaux souterraines :

L'exploitation des eaux souterraines se fait à partir de : sources, puits ou forages.

- **Les sources** correspondent à une sortie naturelle des eaux souterraines lorsque les conditions hydrogéologiques le permettent. Les sources assurent donc un pompage gratuit (sans mettre en jeu une énergie motrice).

Les sources peuvent se classer selon leur position structurale :



Principaux types de sources. D'après J. Bodelle et J. Margat (1980).
a, aquifère ; b, formation hydrogéologique imperméable.

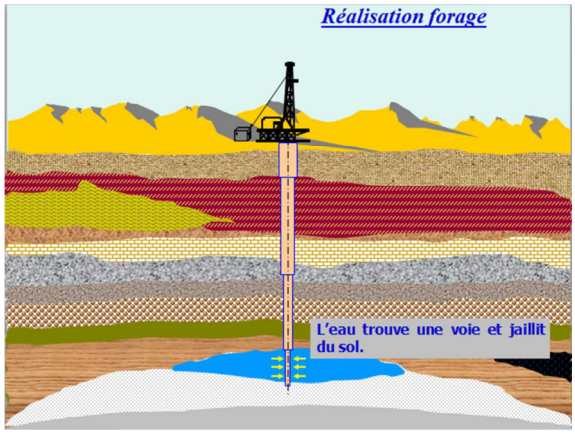
- **Les puits** sont des ouvrages moins profonds (ils dépassent rarement 50m), leur diamètre est très grand : 1m à 2m.

- **Les forages** sont des ouvrages profonds et avec un diamètre inférieur à celui des puits, de l'ordre de 9'', 12'' ou 13'' pouces (1 pouce = 2.54 cm).

L'équipement technique d'un forage comporte 02 éléments essentiels :

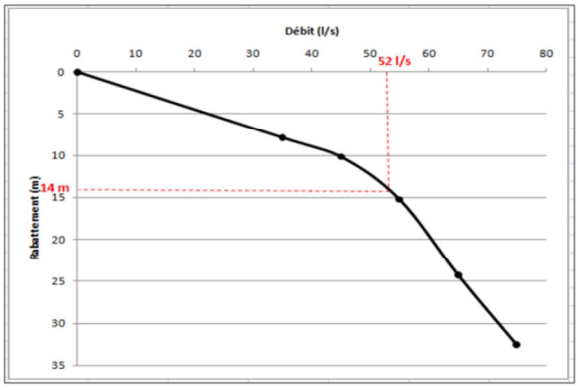
- la colonne ascensionnelle, constituée d'un tube unique ou éléments télescopiques, soutient la paroi du trou. L'espace annulaire entre le tubage et le terrain, est obstrué par une colonne de ciment.

- La partie captante comporte une crépine, dont l'espace avec le terrain naturel est rempli de gravier siliceux calibré, jouant un rôle de filtre retenant les éléments fins et augmentant la perméabilité au voisinage de l'ouvrage.



Pour l'évaluation du débit d'exploitation d'un ouvrage, un essai de pompage par palier est effectué, en mesurant pour chaque débit son rabattement.

A partir de ces données une courbe caractéristique du forage débit/rabattement est établie. Elle détermine le débit maximum d'exploitation en fonction d'un rabattement maximal admissible.



Courbe caractéristique d'un forage

Pour la productivité : connaissant le débit d'exploitation, on doit savoir les heures de pompage : journalières, mensuelles et annuelles.

Exemple :

Un forage d'un débit Q= 20 l/s est exploité 5 heures par jour, donc sa production journalière en m^3/ j est de : 20 x 60 x 60 x 5 h= 20 x 3,6 x 5 = 360 m^3/j.

Pour la production mensuelle : 360 m^3/j x 30 jours = 10800 m^3/mois

La production annuelle : 360 m^3/j x 365 jours = 131400 m^3/an.

QUALITE DE L'EAU

I) Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

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.

Paramètres hydrochimiques :

Composition chimique :

La minéralisation : au cours de son cheminement souterrain, l'eau se charge d'un certain nombre d'éléments minéraux en liaison avec la nature du terrain traversé.

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

Cations	Anions
Calcium Ca^{++}	Chlorures Cl^{-}
Magnésium Mg^{++}	Sulfates SO_4^{--}
Sodium Na^{+}	Bicarbonates HCO_3^{-}
Potassium K^{+}	Nitrates NO_3^{-}

Nombre de milliéquivalents :

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

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

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

Elément	Equivalent chimique
Calcium Ca^{++}	20
Magnésium Mg^{++}	12.1
Sodium Na^{+}	23
Potassium K^{+}	39.1
Chlorures Cl^{-}	35.5
Sulfates SO_4^{--}	48
Bicarbonates HCO_3^{-}	61
Nitrates NO_3^{-}	62

Test de fiabilité d'une analyse chimique :

Avant de traiter et d'interpréter les résultats d'analyses des eaux prélevées, il faut analyser leur fiabilité. La méthode utilisée est la Balance Ionique (B.I.).

$$BI = \frac{|\Sigma r^{+} - \Sigma r^{-}|}{\Sigma r^{+} + \Sigma r^{-}} \times 100$$

Avec :

Σr+: somme des concentrations des cations en meq/L,

Σr-: somme des concentrations des anions en meq/L.

Cette relation permet de définir trois classes comme suit :

B.I. < 2 % : Bonne analyse.

2 % < B.I. < 5 % : Analyse acceptable.

5 % < B.I. : Mauvaise analyse.

La conductivité (µs/cm) permet de faire une estimation de sa minéralisation. Elle est directement proportionnelle à la quantité les sels minéraux dissous dans l'eau et s'exprime en **µS/cm.**

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 la minéralisation à la conductivité électrique de l'eau (mesurée avec des conductimètres).

Minéralisation (mg/l) = 0, 7 x C (µS/cm).

Titre hydrotimétrique ou dureté de l'eau (T.H): Elle est surtout due aux ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+}. Elle s'exprime en (degré hydrotimétrique) également

appelé degré français (°F). 1 °TH correspond à 4 mg de Ca^{2+} et à 2 mg de Mg^{2+} par litre d'eau. Il équivaut à la présence, dans 1 litre d'eau, de 10 mg/L de $CaCO_3$.

$$\mathbf{T.H\ (°F) = (r\ (Ca^{++}) + r\ (Mg^{++})\ x\ 5}$$ **(**T.H en degré Français.)

Si T.H > 32 °F, on dit qu'il s'agit d'une eau dure**.**

Valeurs de la dureté suivant l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

TH (°F)	0 à 7	7 à 22	22 à 32	32 à 54	> 54
Dureté	douce	Modérément douce	Assez dure	Dure	Très dure

L'appréciation des limites de potabilité est celle des « Normes Algériennes de Potabilité » suivant le Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

Exemple : Les Chlorures au-delà de 500 mg/l l'eau a un très mauvais goût.

II) Exigence de qualité d'eau pour le bétail

Tolérance au sel des différentes espèces animales

Les animaux ont besoin d'une eau de certaine qualité pour conserver une bonne santé et assurer une production de viande en quantité satisfaisante. Les teneurs en sel et en magnésium sont les plus importants pour cette qualité.

Une absorption excessive de sel peut provoquer de sérieux malaises mais la tolérance au sel varie suivant les espèces.

Suivant des observations faites en Australie occidentale, les valeurs limites pour les ovins et les bovins se situent : pour la minéralisation entre 7000 et 12000 mg/L et pour le Magnésium entre 250 et 500 Mg/l.

Les animaux peuvent encore boire une eau beaucoup plus chargée en chlorures, et l'on cite des concentrations de 3000 à 4000 mg/l relevées dans certaines eaux utilisées pour l'alimentation du bétail.

III) Eau destiné à l'irrigation :

La qualité de l'eau et sa composition sont des facteurs qui ne peuvent certainement pas être sous-estimés; en fait, ils affectent le développement de la plante, la structure du sol et le système d'irrigation lui-même. La qualité de l'eau d'irrigation se rapporte principalement à la composition physico-chimique de l'eau, ou plus précisément à la composition minérale de l'eau et à la présence de substances solides ou organiques dans l'eau. Les critères de qualité

pour l'eau d'irrigation sont complètement différents des critères pour l'eau potable ; en outre, les critères de qualité peuvent varier d'une culture à l'autre, car différentes cultures ont une sensibilité différente à certains minéraux ou à certaines propriétés de l'eau.

Les besoins en eau d'irrigation dépendent du type de sol, des plantes et de la qualité de l'eau. Le degré de salinité de l'eau d'irrigation est généralement exprimé par des classes de convenance relative: une eau très minéralisée peut présenter un danger de salinisation et d'alcalinisation des sols, par remplacement des ions de calcium et de magnésium par l'ion de sodium.

L'eau destinée à l'irrigation, peut être évaluée par quelques indices qui peuvent donner des indications pertinentes sur sa qualité ainsi que sur l'usage auquel elle est destinée.

- **La conductivité (µs/cm)**
- **La dureté** : Les inconvénients d'une eau dure sont les dépôts solides dans les canalisations. Lorsque l'alcalinité est élevée, le calcium et le magnésium sont les deux principaux éléments qui causent des problèmes d'eau incrustante et qui peuvent progressivement obstrués les goutteurs par des dépôts calcaires.
- **Le SAR (Sodium Adsorption Ratio):** étudié par U.S.S.L (United State of Salinity 1954). Les teneurs élevées en Sodium dans l'eau d'irrigation provoquent la détérioration de la structure du sol le rendant imperméable à l'eau et à l'air, donc un manque d'infiltration dans le sol.

  En raison de l'effet de leurs éléments minéraux sur les végétaux, la méthode du taux d'absorption du sodium, mis au point en 1969 par le Geological Survey a été appliquée. Cette méthode fait intervenir la salinité et le risque d'alcalinisation des sols.

  Le SAR est un paramètre de qualité de l'eau d'irrigation qui aide à estimer le potentiel du sodium dans l'eau à absorber les particules du sol, en relation avec le calcium et le magnésium. L'irrigation avec de l'eau avec une forte valeur du SAR peut entraîner une perte de la structure du sol et de sa capacité d'infiltration. Cela est particulièrement vrai pour les sols à concentration relativement élevée d'argile.

Le S.A.R est donné par la formule : $$S.A.R. = \frac{rNa^{+}}{\sqrt{(rCa^{2+} + rMg^{2+})/2}}$$

Les concentrations en (meq/L).

SAR	**SAR < 10**	**10 < SAR < 18**	**18 < SAR < 26**	**SAR > 26**
Classe	excellente	bonne	convenable	médiocre

- **Le pourcentage en sodium (% Na)** : II est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium.

Le pourcentage en sodium (% Na) est donné par : $$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} * 100$$

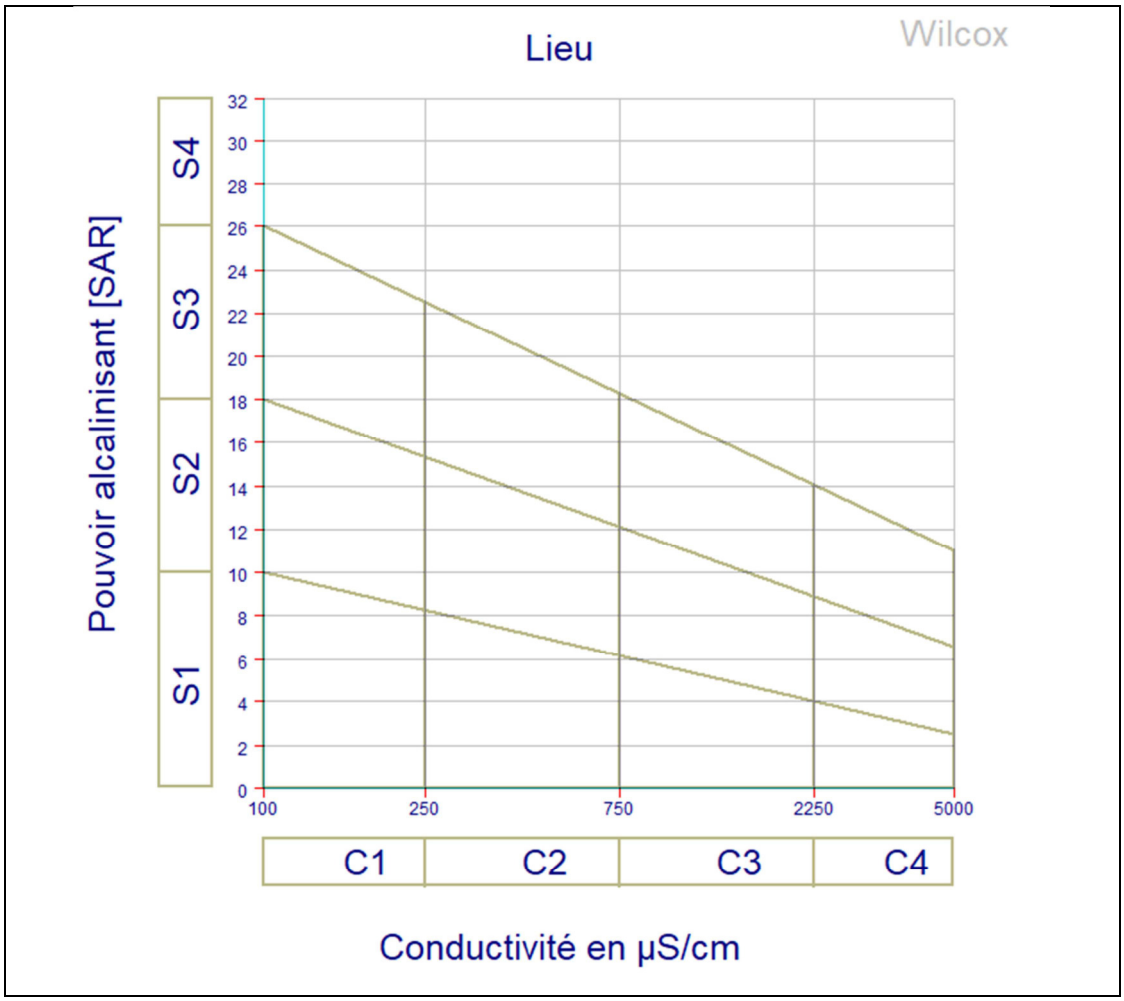
Les concentrations en (meq/L).

Classification des eaux d'irrigation, selon les (% Na)

%Na	< 20	20 - 40	40 - 60	60 – 80	>80
Classe	Excellente	Bonne	Admissible	Médiocre	Mauvaise

Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation en Algérie sont appréciées suivant l'arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 02 janvier 2012.

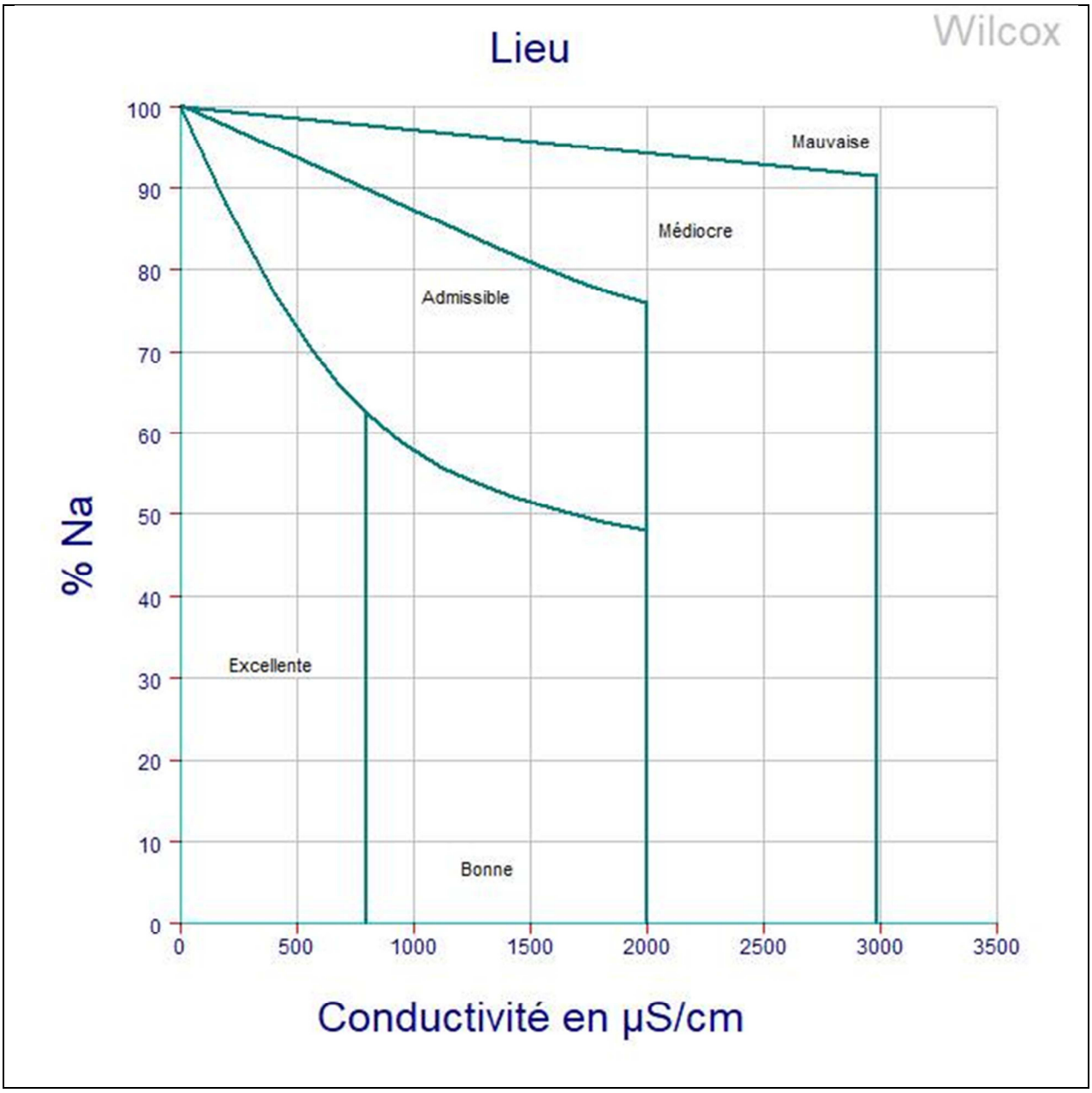
Des diagrammes (Wilcox, Riverside) permettent de donner la qualité des eaux d'irrigation suivant la relation conductivité et le SAR et / ou le %Na



Qualité des eaux d'irrigation, calculée par le S.A.R
(Diagramme de Wilcox log)

Classification des eaux d'irrigation d'après J. Servant, 1975, (U.S.Salinity L.A.B.)

Degré	Qualité	Classes	Description
1	Excellente	C1- S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols
2	Bonne	C2 – S1 C2 – S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à fortes capacités d'échange d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3 – S1	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4 – S1 C4 – S2 C3 – S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3 – S4 C4 – S3 C4 – S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.



Qualité des eaux d'irrigation, calculée par le % Na
(Diagramme de Wilcox)

Pour l'analyse des données physico-chimiques d'un échantillon de points d'eau, un Logiciel d'hydrochimie téléchargeable ***« D I A G R A M M E S »*** est disponible au site : **http://www.lha.univ-avignon.fr/**