

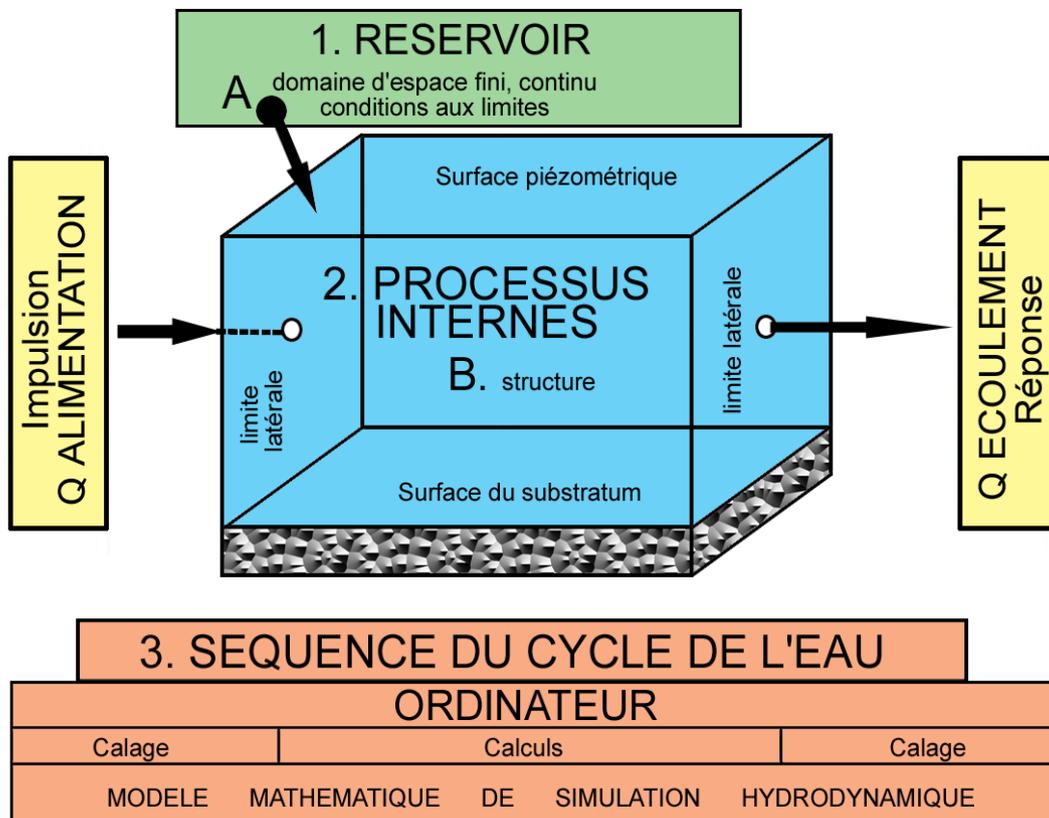
CHAPITRE 4

IDENTIFICATION HYDRODYNAMIQUE

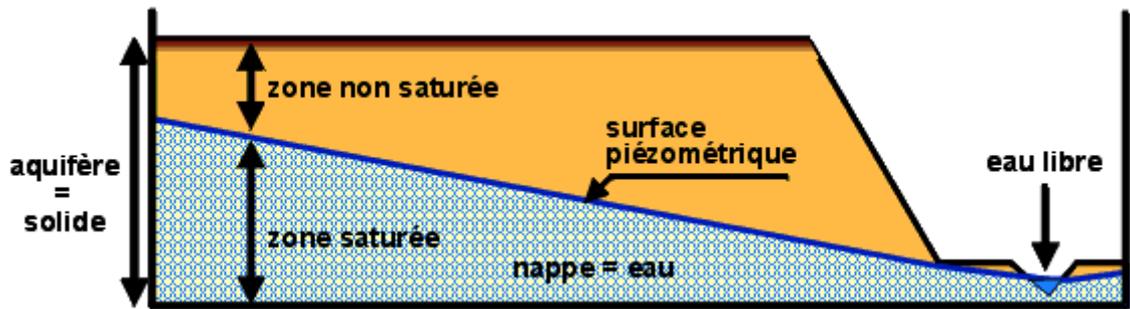
DE L'AQUIFERE

Un aquifère est un système hydrologique, hydrodynamique. Il est donc identifié par 5 ensembles de caractéristiques quantifiables :

- Un réservoir, domaine d'espace fini, caractérisé par ses conditions aux limites et ses dimensions ou configuration et par son organisation interne ou structure. Il est identifié par une (ou une combinaison de) formation hydrogéologique.
- Des processus internes ou mécanismes hydrodynamiques, hydrochimiques et hydrobiologiques, entraînant 3 fonctions du réservoir vis-à-vis de l'eau souterraine : stockage, conduite (transfert de quantités d'eau ou d'énergie) et milieu d'échanges géochimiques.
- Une séquence du cycle de l'eau, avec des interactions avec l'environnement se traduisant par 3 comportements, hydrodynamique, hydrochimique et hydrobiologique. Elle est caractérisée par le couple impulsion/réponse exprimé par une relation ou fonction de transfert.
- La variabilité dans l'espace de ces caractéristiques.
- Des conditions de temps, toutes les mesures de caractéristiques étant rapportées à une date donnée ou à une durée moyenne. Ces dernières, basées sur des historiques, permettent les prévisions.



1. Notion d'aquifère, d'imperméable, de semi-perméable



Un **aquifère** est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée, il peut à la fois stocker et véhiculer de l'eau avec une vitesse suffisante pour permettre le captage de quantités d'eau appréciables.

Les aquifères ont généralement une perméabilité intrinsèque $\geq 10^{-2}$ darcy (conductivité hydraulique $\geq 10^{-5}$ m/s).

Le sable, le gravier, le grès, le calcaire, la dolomie, la coulée de basalte ainsi que les roches métamorphiques fracturées sont connus pour être des formations aquifères.

Par opposition aux aquifères les **imperméables** ou **aquicludes** ont une très faible perméabilité intrinsèque. Une formation géologique est considérée imperméable si sa perméabilité intrinsèque est inférieure à 10^{-2} darcy. Cette limite est en quelque sorte arbitraire, elle est relative aux conditions locales. En effet dans certaines régions formées d'argile de perméabilité intrinsèque égale à 10^{-4} darcy, il est possible de capter par des petits puits des faibles quantités d'eau. Par contre, si cette formation argileuse se localise dans une zone constituée de gravier grossier de perméabilité intrinsèque égale à 100 darcys, elle est alors considérée imperméable.

Le cas extrême de roche imperméable est l'*aquifuge*. C'est un corps de roche totalement imperméable qui ne véhicule aucune eau.

On définit également les **semi-perméables** ou **aquitards** : ce sont des horizons de faible perméabilité (conductivité hydraulique comprise entre 10^{-6} et 10^{-9} m/s) qui peuvent stocker de l'eau, mais l'eau ne peut être prélevée de façon efficace par des puits. Lorsqu'une formation semi-perméable est intercalée entre deux couches aquifères, un écoulement non négligeable peut se produire, amenant de l'eau d'un aquifère à un autre.

On a considéré jusqu'à présent la perméabilité intrinsèque (ou la conductivité hydraulique) comme propriétés d'aquifère caractérisant sa capacité de transmettre l'eau. Les hydrogéologues ont introduit un autre paramètre autant utile que la perméabilité. Il s'agit de la transmissivité d'un aquifère qui est le produit de sa conductivité hydraulique et son épaisseur saturée.

T = Ke

T : transmissivité (LT-2)

K : conductivité hydraulique (LT-1)

e : épaisseur mouillée (L)

La transmissivité d'un aquifère indique la quantité d'eau qui peut être transmise horizontalement à travers une épaisseur et une largeur unitaires et sous l'effet d'un gradient hydraulique égale à l'unité.

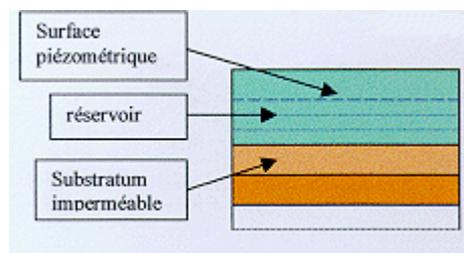
2. Types hydrodynamiques

La configuration ou enveloppe, de l'aquifère porte sur ses dimensions et les caractéristiques de ses limites géologiques et hydrodynamiques.

La base de l'aquifère, appelé substratum, est constituée par une formation hydrogéologique imperméable; Par contre sa limite supérieure est de 3 types :

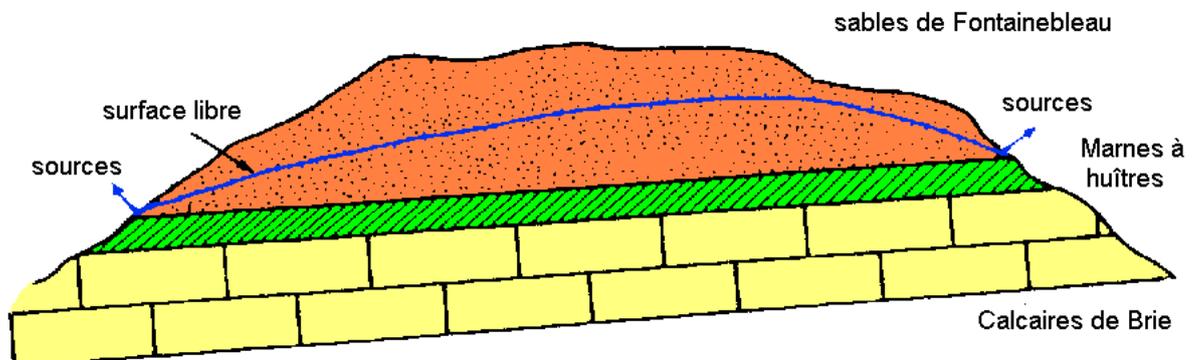
- Hydrodynamique avec fluctuations libres : aquifère à nappe libre
- Géologique imperméable : aquifère à nappe captive
- Géologique semi-perméable : aquifère à nappe semi-captive

2.1 Aquifère à nappe libre

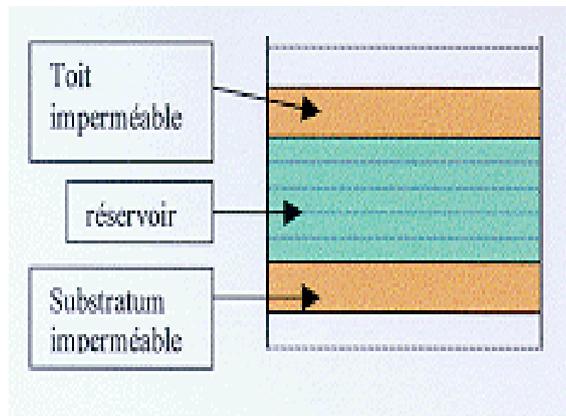


Les puits et sondages du premier aquifère, rencontré sous la surface du sol, présentent un niveau d'eau dont l'altitude est appelé par convention, le niveau piézométrique. Souvent, ce niveau est mesuré dans des ouvrages de petit diamètre, appelés piézomètres. L'ensemble des niveaux piézométriques mesurés en différents points à une date donnée, détermine la surface piézométrique.

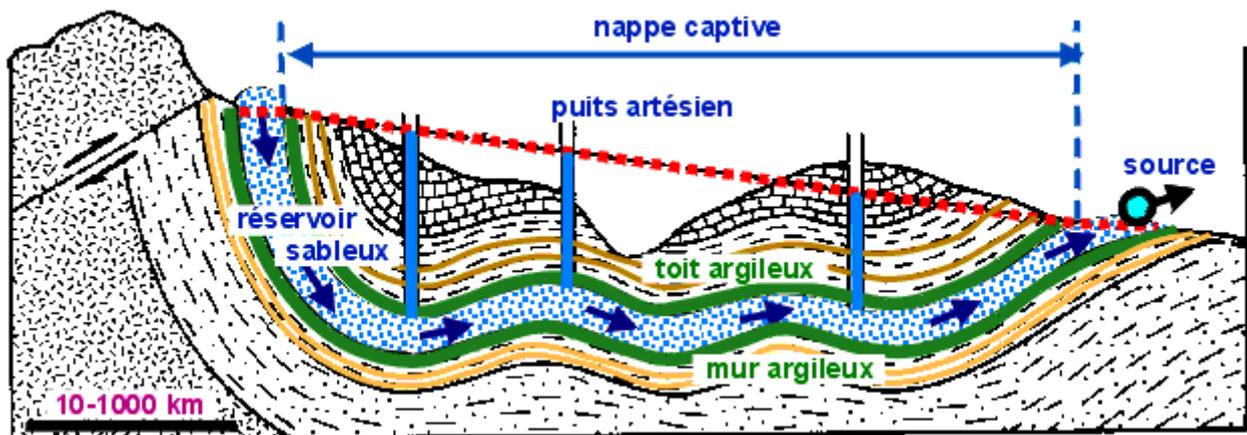
De même que les cotes du niveau du sol permettent de tracer la surface topographique, elle est représentée sur des cartes piézométriques par des courbes d'égal niveau piézométrique ou courbes hydroisohypses. C'est une limite hydrodynamique. Cette surface peut s'élever ou s'abaisser librement dans la formation hydrogéologique perméable, d'où la dénomination d'aquifère à nappe libre.



2.2 Aquifère à nappe captive



Dans les aquifères plus profonds, les eaux souterraines sont emprisonnées dans la formation hydrogéologique perméable, entre 2 formations imperméables fixes : le substratum à la base et le toit au sommet.



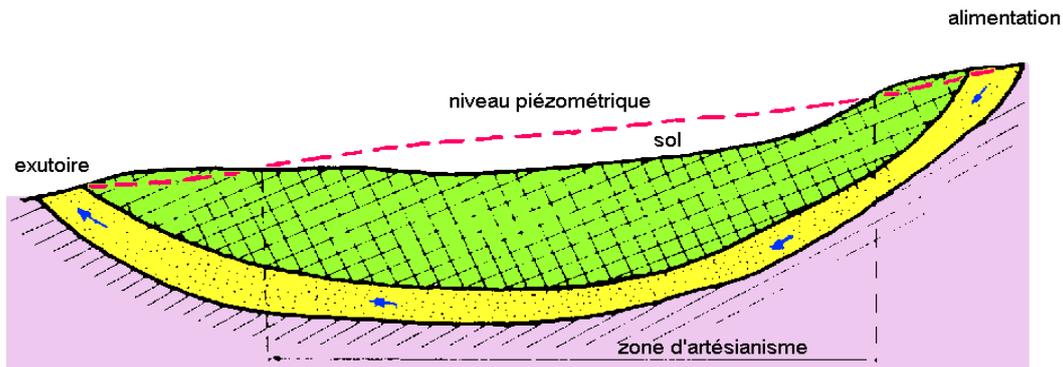
Etant donné la situation en profondeur, l'aquifère subit une pression, dirigée de haut en bas, égal au poids de la colonne de terrains de densité moyenne 2,5 (soit 2,5 bars par tranche de 10m) qui le surmonte jusqu'à la surface du sol. La pression atmosphérique étant négligeable, cette pression, dite géostatique, est équilibrée par la pression de couche ou de pore qui règne à l'intérieur de l'aquifère.

Par exemple, l'aquifère des sables albiens de Paris, dont la base du toit est à 600m de profondeur sous la capitale, la pression de couche est de 150 bars.

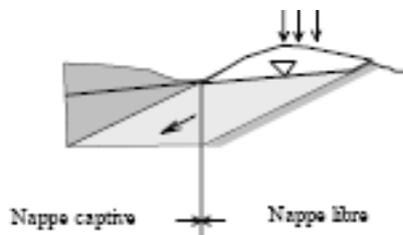
Lorsqu'un sondage perce le toit de l'aquifère la substitution au poids de la colonne de terrain de celui d'une colonne d'eau entraîne une chute de pression dans l'aquifère. D'où décompression du réservoir et de l'eau qui est expulsée; Son niveau se stabilise à une différence de charge entre la zone d'alimentation et l'ouvrage considéré. Ce type est l'aquifère à nappe captive.

Les eaux souterraines sont dites ascendantes. Si le niveau piézométrique se situe au dessus de la surface du sol, l'eau jaillit naturellement. C'est l'artésianisme. Donc, si le captage des aquifères profonds exige des sondages coûteux, leur exploitation s'effectue souvent à faible profondeur et parfois même sans pompage, l'artésianisme produisant un débit naturel en surface.

Comme pour les aquifères à nappe libre, l'ensemble des niveaux piézométriques permet de tracer la surface piézométrique. Mais celle-ci fictive, n'est pas matérialisée sur le terrain. Elle n'indique pas la profondeur de l'eau sous la surface du sol.

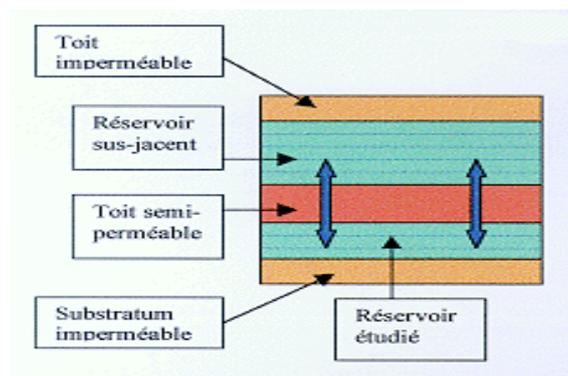


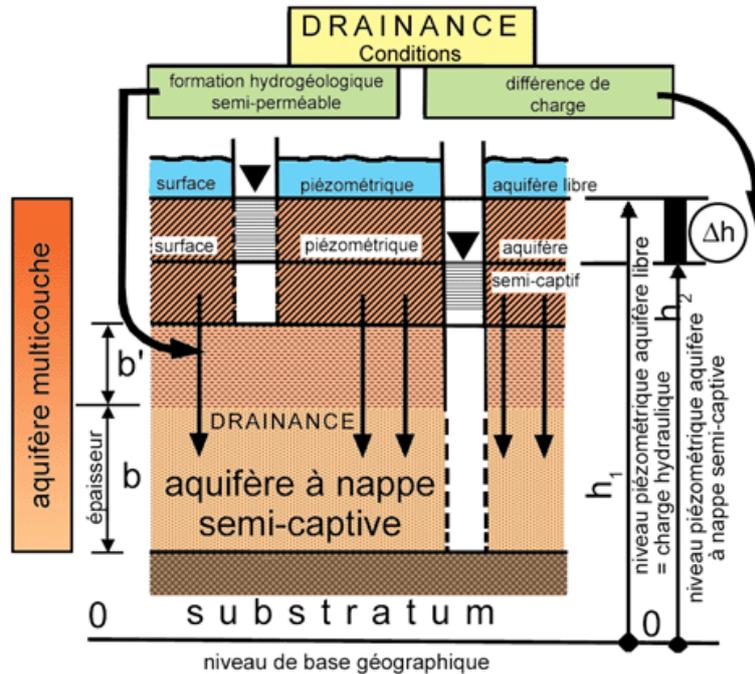
L'alimentation des nappes captives est souvent assurée par l'infiltration des précipitations au niveau des affleurements de la formation aquifère.



2.3 Aquifère multicouche

Un système multicouche est constitué par la superposition de plusieurs couches aquifères perméables entre lesquelles s'intercalent des couches semi-perméables. A travers les horizons semi-perméables des flux non négligeables peuvent être échangés entre nappes superposées. On désigne par **drainance** ces phénomènes d'échange entre couches.





2.4 Notion de dénoyage

Quand on *rabat* une nappe, c'est à dire que l'on fait diminuer sa charge par des prélèvements, deux cas peuvent se présenter :

- lorsque la nappe est libre, l'épaisseur mouillée diminue d'où réduction de la transmissivité et de la section offerte à l'écoulement.
- si la nappe est captive : la section offerte à l'écoulement et la transmissivité restent les mêmes tant que la surface piézométrique reste supérieure à la cote du toit, dans le cas contraire on dit qu'il y a *dénoyage*.

3. Exemples de nappe libre

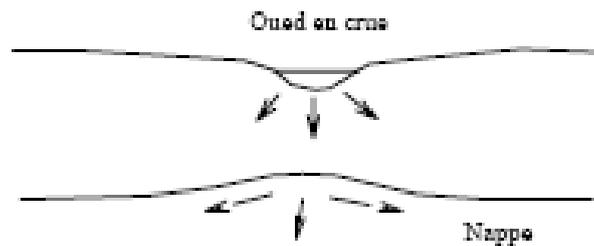
3.1 Nappe de vallée

Si l'on suppose le sol uniformément poreux et perméable (sable ou craie), l'eau de pluie s'infiltre et vient saturer la roche jusqu'à un certain niveau (surface libre) et forme une nappe aquifère. Dans la nappe, l'eau circule vers les exutoires, qui sont les points bas de la topographie (source ou rivière).



La pente de la surface libre indique le sens de circulation de la nappe, mais l'eau circule sur toute l'épaisseur de l'aquifère, mais plus vite en surface qu'en profondeur. L'exutoire n'est pas localisé, c'est toute la surface de la nappe qui affleure et où l'eau sourd (surface de suintement).

En pays aride, l'infiltration de la pluie est faible et inférieure à l'évapotranspiration. Ce sont les eaux de crue des oueds qui constituent la source principale d'alimentation de nappes.



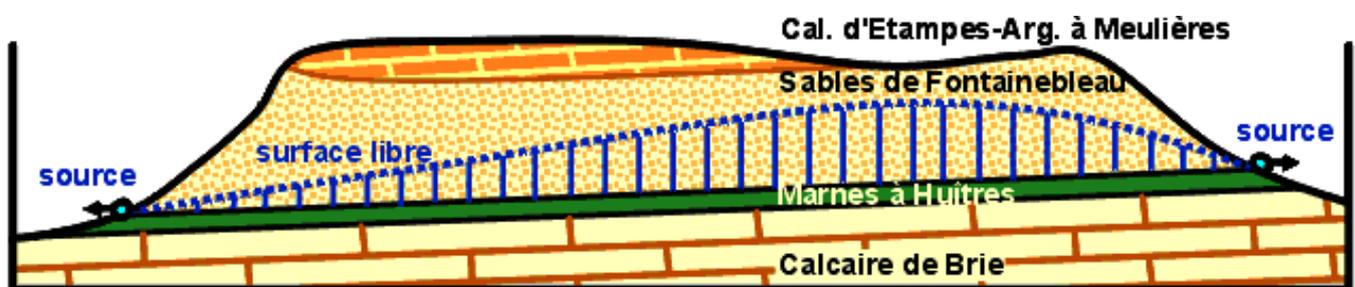
Les oueds peuvent s'écouler soit vers les zones d'épandage où la crue se perd, s'infiltrer et s'évaporer par la suite, soit vers des dépressions formant des lacs temporaires où l'eau s'accumule puis s'évapore, laissant des croûtes salées en surface. On appelle ces zones des chotts ou des sebkhas.

3.2 Nappe alluviale

Les alluvions qui jalonnent un cours d'eau renferment généralement une nappe. A l'entrée de la plaine alluviale, le cours d'eau alimente la nappe. A l'aval c'est la nappe qui est drainée par l'oued, il s'agit souvent d'une zone marécageuse où la surface de la nappe est très proche de la surface du sol. On désigne parfois ces nappes par nappes d'underflow ou d'inféro-flux.

3.3 Nappe perchée

Dans certains cas, une couche de faible perméabilité peut se localiser, sous forme de lentille, au sein d'une formation plus perméable. L'eau de pluie s'infiltrant à travers la zone non saturée, est alors interceptée par cette couche. L'eau s'accumule au sommet de la lentille et forme une couche d'eau saturée au-dessus de la nappe principale. Cette nappe de faible capacité est dite *perchée*.



Exemple d'une nappe perchée

4. Types de nappe en fonction de la géologie

4.1 Régions de socles

Elles constituent la majeure partie du bouclier africain. Les roches sont cristallines, métamorphiques ou schisteuses. Elles sont très peu perméables. On rencontre de petites nappes locales dans les zones d'altération ou dans les dépôts alluviaux ou dans les zones fissurées. Les ressources en eau souterraine de ces régions sont faibles.

4.2 Régions montagneuses de terrains sédimentaires plissés

Les nappes sont rares et fragmentaires dues au morcellement des réservoirs.

4.3 Régions de plateaux sédimentaires calcaires

C'est le milieu karstique. L'écoulement se fait dans des fissures élargies formant de véritables rivières souterraines. L'étude des milieux karstiques est une branche très particulière de l'hydrogéologie.

4.4 Bassins sédimentaires

Ils sont constitués d'alternance de roches perméables et peu perméables. C'est là que se trouvent les nappes les plus importantes et les plus étudiées. On rencontre d'abord une nappe libre, puis une succession de nappes captives séparées par des semi-perméables.

4.5 Plaines alluviales

Elles sont présentes le long de presque tous les cours d'eau. Les nappes alluviales sont très exploitées et souvent en danger d'être contaminées par les pollutions venues des cours d'eau qu'elles côtoient.