

## INTRODUCTION A LA GEOGRAPHIE PHYSIQUE

### Bibliographie de base :

LOUP Jean, 1974 : Les eaux terrestre. Masson, Paris, Coll. Initiation aux études de géographie. *Cet ouvrage, aujourd'hui épuisé, a connu plusieurs rééditions à des dates diverses. Présent en plusieurs exemplaires à la BU de la Manufacture. Ouvrage de base clair.*

PARDÉ Maurice, 1933, 5° édit. 1968... éditions multiples, véritable « best seller » ! : Fleuves et rivières. Armand Colin, Paris. Collection Armand Colin (« CAC »), puis Collection U2. *Cet ouvrage, aujourd'hui épuisé, a connu plusieurs rééditions à des dates diverses et dans deux collections. Présent en plusieurs exemplaires à la BU de la Manufacture. Ouvrage de base clair, complémentaire du précédent en particulier en ce qui concerne les régimes des cours d'eau. Ce sont toujours actuellement les deux seuls ouvrages scientifiques de synthèse vraiment abordables pour un débutant en langue française.*

Au-delà de ces deux ouvrages, si l'on veut approfondir, on pourra utiliser (ouvrages dits de 2° et 3° cycles, présents à la BU de la Manu) :

COSANDEY Claude & ROBINSON Mark, 2000 : Hydrologie continentale. Armand Colin, Paris, Coll. U

BRAVARD Jean-Paul & PETIT François, 1997 : Les cours d'eau, dynamiques du système fluvial. Armand Colin, Paris, Coll. U. *ces deux ouvrages sont complémentaires et écrits par des grands noms actuels de la discipline. Le second traite plus de l'aspect dynamique géomorphologique des lits des cours d'eau.*

Le lien avec le milieu terrestre général sera abordé avec :

DEMANGEOT Jean, multiples éditions à différentes dates, **utiliser l'édition la plus récente**, en tous cas à partir de celle de 2000 : Les milieux « naturels » du globe. Armand Colin, Paris, Coll. U.

Le lien avec le fait humain sera abordé avec :

BÉTHEMPONT Jacques, 1999 : Les grands fleuves, entre nature et société. Armand Colin, Paris, Coll. U.

Au-delà, il existe dans toutes les langues une littérature extrêmement abondante, mais les synthèses sont extrêmement rares.

-

### Définition de terme géographique physique :

la géomorphologie → elle s'intéresse aux formes de reliefs et aux reliefs associés

la climatologie → ce sont les caractéristique et l'évolution des climats

l'hydrologie → c'est la répartition et le comportement des cours d'eau

l'océanographie → étude portant sur les mers et les océans

la glaciologie → analyse la dynamique de la cryosphère

la pédologie → étude des sols

la paléogéographie → géographie de l'ancien (histoire territoriale, héritage des grands ensemble)

la biogéographie → études des milieux vivants par rapport à leur répartition dans l'espace

*La géographie physique est la branche de la géographie qui décrit la surface de la terre et qui ne s'intéresse pas directement aux activités humaines. C'est donc par définition une science de la nature. On parle aussi de la géographie des milieux.*

## **I- Présentation**

Hydrologie : du Grec *Hydros* (eau) et *Logos* (écrit).

C'est la science de l'eau, la science qui la décrit. Elle traite des problèmes physiques et chimiques de l'eau:

- Hydro marine / océanographie : Eaux marines / océaniques
- Potamologie (science du fleuve) : Eaux continentales
- Limnologie : Eaux des lacs
- Hydrogéologie : Eaux des souterrains
- Karstologie : Eaux des Karsts (ensemble érosif comme le calcaire)

Certains auteurs englobent également les eaux à leurs différents états :

- Niveaologie : Eaux sous forme de neige
- Climatologie : Eaux sous forme de vapeur

L'hydrologie se résume comme étant la science de l'eau

Eau douce : 3% du stocke d'eau terrestre qui est utilisable en petites parties. Il y a un très gros potentiel des eaux.

Le volume des cours d'eau est de 1250 km<sup>3</sup>, il se renouvelle plus de 36000 km<sup>3</sup>/an (donné théorique). Il y a beaucoup de modification par déforestation et reforestation, recyclage des stocke d'eau fossiles.

L'irrigation qui s'intensifie modifie le cycle de l'eau. L'homme modifie certain bilan hydrologique et thermique.

## **II- Stock d'eau sur la Terre**

### **A- Renouvellement de l'eau**

Dans le monde il y a une très grande importance du renouvellement des eaux.

Quelques chiffres :

Sur la terre : 510 km<sup>3</sup>/an

Au niveau des océans : 365 km<sup>3</sup> soit 870mm/an (épaisseur d'une tranche d'eau)

Au niveau des continents : 145 km<sup>3</sup>, ils reçoivent 670mm/an

Précipitation : 111000 km<sup>3</sup> dont 40000 issus de l'océan et 71000 issus de l'évapotranspiration continentale (ETR).

On observe une répartition très inégale de se renouvellement des eaux, ex : station indienne Cherrapandji : 20 mètres/an

à la réunion : 18m/an

en chartreuse : de 1m50 à 3m/an

la bosse ( sud de paris) : 200mm/an

Les précipitation sont répartis très inégalement dans le temps en fonction des saisons surtout dans les pays où seule 2 saisons existent. Les rythmes divergent d'un endroit à un autre.

Le temps de renouvellement de l'eau douce est d'environ pour :

- les calottes polaires et glaciers : 10000ans
- les nappes phréatiques de surface (30-40m) : 300ans
- les rivières : 6ans
- atmosphère : 3mois

→ l'eau océanique : 3000 à 3200ans

Le temps de renouvellement des eaux est un des principaux problème environnementale. En effet la vapeur d'eau est le principale gaz à effet de serre il regroupe 2/3 de tous les gaz, le potentiel de saturation de l'atmosphère est de 2% d'eau sèche. Contrairement aux idées reçu le CO<sub>2</sub> a une faible part comme les autres gaz d'ailleurs. Du jurassique au primaire l'atmosphère comprenait une forte teneur en gaz carbonique soit plus de 3% .

Le calcul des bilan thermodynamique montre que l'effet de serre refroidi sinon le sol serait froid et l'atmosphère chaude, l'effet de serre réchauffe donc le sol par la filtration des infrarouge et refroidi l'atmosphère.

Les nappes phréatiques de surface se regarnissent très vite mais les nappes plus profondes sont beaucoup plus lente à se reconstituer.

Des organismes internationaux tels que la FAO ou l'UNESCO et Yves Lenoir s'occupe et se préoccupe de la question du renouvellement des eaux de sources.

### **Cycles de l'eau**

Les changements climatiques brutaux, il y a 10000ans, ont perturbé le cycle de l'eau.

Ex : Aux USA et au Canada depuis 1930, il y a eu une augmentation du taux de nébulosité, un accroissement qui a lieu ente 35 et 70° de l'attitude nord. De plus on a remarqué une diminution de ces facteurs de nébulosité ente 2 et 35° de l'attitude nord.

La consommation d'eau des régions tempéré s'est multipliée par 7 à 8 en 60ans.

Ex : Le phénomène de déstockage de l'eau froide par :

→ l'arrosage agricole

→ la déforestation massive et brutal en forêt pluvial et équatorial qui stocke plus de

1m<sup>3</sup> d'eau par an.

Tous cela a eu pour conséquence de provoquer l'évaporation rapide de ce qui n'est pas stocké, le déstockage brutal environ 150m<sup>3</sup>/an, la diminution du niveau des nappes phréatiques, la pertubation du cycle formant un problème de recyclage de ces eaux.

En 40ans on a fait évaporer plus de 700millions de km<sup>3</sup> d'eau ce qui a provoqué une augmentation du niveau marin de 5 à 4mm/an. Le relèvement océanique est de 6mm.

Ex : Les modification de ce cycle de l'eau ont aussi lieu à cause du travail de l'homme.

Aux Indes, il y a eu une forte augmentation des parts de terres irriguées et de l'eau dérivé donc un agrandissement des périmètres irrigués. La consommation globale est alors de 260mm/an à 1000mm/an.

Les conséquences sont :

→ l'augmentation de l'évapotranspiration de -300km<sup>3</sup> à +600km<sup>3</sup>

→ l'augmentation de 31% de l'évapotranspiration de l'Asie du sud est.

→ une perturbation majeur du cycle de l'eau donc un transfert de 55milliard de TEP

Le bilan global énergétique de la terre s'élève donc à 155milliard de TEP.

L'évaporation durant la saison sèche est chassée vers l'océan Indien (endothermique).

Au contraire la condensation provoque le réchauffement des océans indiens (exothermique).

En 30ans l'eau s'est réchauffée de 0,25°. En été avec la mousson les vents viennent de l'océan, il ramène alors l'humidité vers les terres ce qui provoque :

→ une augmentation des inondations et des crues

→ une augmentation de la fréquence des cyclones

→ une baisse de la température du continent

Cela a pour conséquence d'avoir un déséquilibre au niveau des océans. Il s'opère des transferts qui entraînent des modifications océaniques d'où la remontée d'eau froide et sa prégnance plus forte.

L'ensemble du système terre est alors modifié.

Ex : En Égypte, dans les années 60, on a créé un barrage : le barrage de Nasser sur le Nil pour pouvoir

retenir l'eau les conséquences ont été alors que :

→ l'évaporation sur le plan d'eau a augmenté

→ les nappes phréatiques ont disparu car il n'y a plus de crue

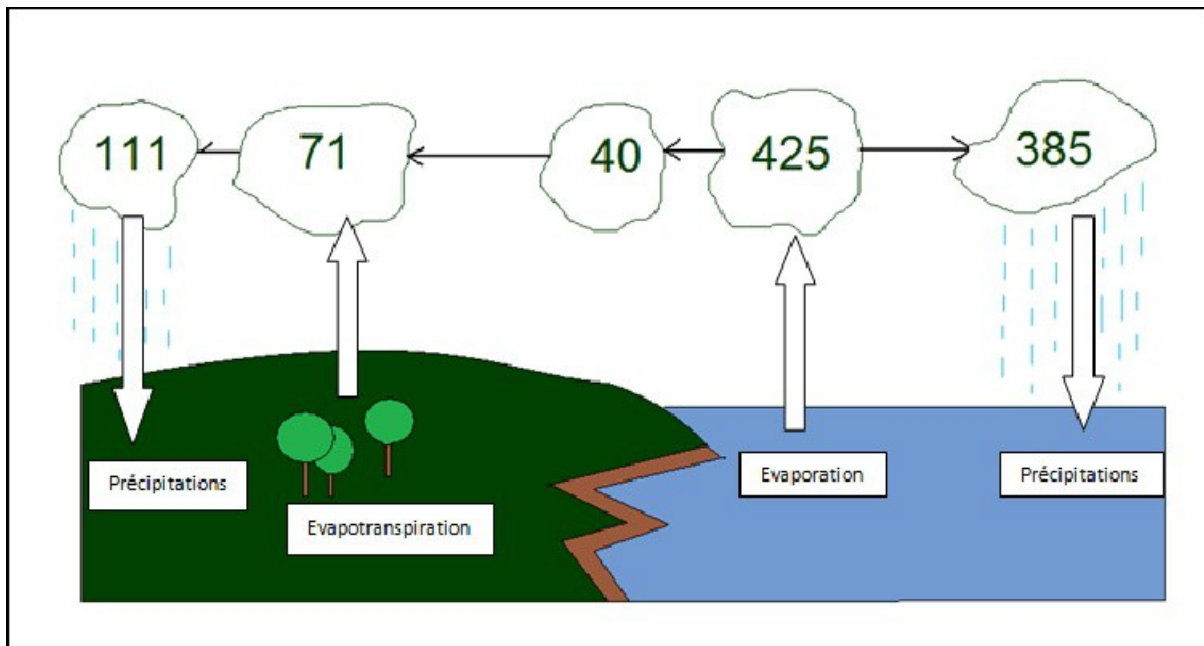
L'eau entraîne alors un refroidissement de la vallée et une augmentation de 4% de l'évaporation au niveau de la vallée.

Le Nil redonne beaucoup moins d'eau à la Méditerranée : 9/10 de moins, le Nil a en effet plus de crue.

De plus le delta du Nil est une zone de subsistance géologique, il y a plus de sédiments apporté au delta et beaucoup moins d'eau, la mer fait reculer la côte ronger le delta et l'eau salé envahit les nappes de ce delta. Les terres sont donc alors plus salé et donc moins favorable à l'agriculture.

De même pour le Rhône avec la Camargue.

L'évapotranspiration fournit environ 71 000 km<sup>3</sup>



Il existe deux types d'évapotranspiration :

-ETR : Réel. Il est difficile à mesurer

-ETP : Potentiel. Issue d'un calcul ne prenant pas en compte les êtres vivants.

(Lorsqu'il fait chaud, on transpire plus que lorsqu'il fait froid).

L'évapotranspiration réelle fournit donc 7100 0km<sup>3</sup> d'eau. L'évapotranspiration océanique fournit 425 000 km<sup>3</sup> d'eau, mais 385 000 sont recyclés immédiatement en mer sous forme de précipitations.

On peut constater que les précipitations sont inégalement réparties sur le globe :

-Ville d'Arica au Chili : Les précipitations moyennes annuelles sont de 0,8 mm.

-Chera Panaji en Inde : Les précipitations moyennes en 1936 sont de plus de 20 m.

-L'océan reçoit en moyenne 870 mm d'eau par an.

La vapeur d'eau est le principal gaz à effet de serre. Elle en est responsable au 2/3.

L'autre 1/3 est dû au dioxyde de carbone : CO<sub>2</sub>

Les bilans thermodynamiques montrent que l'atmosphère refroidie notre planète. Sans elle, la température serait de 0°C, mais pourrait monter à 90°C (en équateur).

La déforestation participe fortement à l'accélération du cycle de l'eau. Le déstockage perturbe également le cycle. En 40 ans, on a déstocké 40 millions de km<sup>3</sup> d'eau. Si on les remettait en mer, il y aurait une montée des eaux de l'océan de 2 mm par an, soit 80 mm en 40 ans.

### III- Quelques rappels physiques et chimiques

#### A- L'eau H<sub>2</sub>O, isotopes, pH

L'eau est un corps physique simple H<sub>2</sub>O. Il est réputé stable, mais en réalité, c'est un corps complexe. Il existe sur le globe 18 types d'eaux différentes grâce aux isotopes.

→ Deutérium : D<sup>++</sup>

→ Tritium : T<sup>+++</sup>

→ O<sup>16</sup> / O<sup>17</sup> / O<sup>18</sup>

L'eau est stable normalement, mais elle est quand même susceptible de changer d'état (cation H<sup>+</sup> et anion OH<sup>-</sup>).

L'eau est également un puissant agent dissolvant et d'érosion. Son Ph vari de 1 à 11,8. Elle altère, corrode, dissout.

#### B-Dissolution des gaz de l'atmosphère

- O<sub>2</sub> : sa dissolution varie selon la température de l'eau : → à +10°= 10mg O<sub>2</sub>/l  
→ à 0°= 14mg/l

Plus l'eau est chaude moins il y a d'oxygène. (upwelling= eau profonde froide), de même que la teneur en CO<sub>2</sub> augmente avec les turbulences comme les tempêtes ou les torrents...

- CO<sub>2</sub> : sa dissolution varie selon la température de l'eau : → à +10°= 1mg CO<sub>2</sub>/l  
→ à +0°= 1,5mg/l

C'est le mélange de H<sub>2</sub>O et deCO<sub>2</sub> qui donne de l'acide carbonique CO<sub>2</sub>H<sub>2</sub> qui se combine avec le calcaire ( il le dissous en transformant les carbonates de calcium en bicarbonates de calcium qui eux sont solubles).

#### C- Dissolution des roches (altération et hydrolyse)

La dissolution des roches dépend de l'agressivité de l'eau et est fonction de la charge de l'eau en CO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>. Plus l'eau est froide plus elle es aggressive.

L'érosion est de environ 10cm/ mille ans.

Le sel : teneur des eux continentales très variable et peut dépasser 9 pour mille par exemple à Rio delos Papagayos 7 pour mille.

La teneur augmente en zone sèche : 45%<sub>o</sub>

et la teneur diminue en altitude : 3,4%

l'eau transporte beaucoup de corps dissous.

### IV- L'eau, véhicule de transport

#### A- Transport en dissolution

L'eau véhicule des corps dissous, mais également non-dissous. Le transport dépend du débit :

-Le Rhône : 1800 m<sup>3</sup> d'éléments / seconde / ans

4 million de tonnes de matières dissoutes

-Le Mississippi : 200 m<sup>3</sup> d'éléments / seconde /ans

150 mille tonnes de matières dissoutes

Proportionnellement parlant, le Rhône transporte plus de matières dissoutes, mais pour les comparer à leurs justes valeurs, on regarde les bassins versants. On peut ainsi voire la quantité de matière au km<sup>2</sup>.

## B-Dégradation spécifique

Le transport des cours d'eau dépend du débit de celui-ci.

Ex : 1) le Mississippi qui écoule  $200000\text{m}^3/\text{s}$  d'eau transporte 150MT/an de matières dissoutes ( sédiments chimique liés à une précipitation... ) .

2) le Rhône écoule  $18000\text{m}^3/\text{s}$  d'eau et transporte 4MT/an de matières dissoutes.

Les matières transportées à la surface du bassin versant : *c'est la dégradation spécifique.*

Cette dégradation est faible pour les courant de pleine tempête ( la Seine 34MT/an).

Dans les zones intra-alpine comme le Rhône elle est forte environ de  $150\text{T}/\text{km}^2/\text{an}$ .

La dissolution est forte aussi dans les cours d'eau Arctique (600T).

En pays chaud, la chaleur de l'eau active les réactions donc la dégradation spécifique est très importante en milieu semi-aride. ( en zone tropicale en Antakara →  $800\text{T}/\text{an}...$ ).

## C- Influence de l'activité humaine

L'action humaine a une grande influence dans les transport en dissolution. L'eau par son action modifie parfois beaucoup les caractéristiques de l'eau c'est *la pollution*. Cette pollution peut rendre l'eau impropre à la vie, elle touche l'eau des pays à forte industrie, forte agriculture est forte concentration de population.

A cause des engrais et des déjections humaines et animal 65% des eaux sont pollués (Vercors 70%).

En milieu de forte population un citadins déverse 100 à 600g de déchets dissous dans l'eau ( les détergents), ce qui modifie les caractéristiques chimiques de l'eau (= les tensions électriques).

Les détergents contiennent des produits mouillants (*tensioactifs*) ce qui limitent les tensions électriques à l'interface de l'eau avec un autre corps.

Un des problèmes est que les station d'épurations n'arrivent pas à maîtriser ses produits, ils se retrouvent donc dans les rivières. Le deuxième problème est le coût des traitements des effluents, en effet on a souvent recours à des artifices car une rivières s'autoépure. Le troisième problème est lié à la mentalité des hommes car on sait dépollué les usines mais c'est une chose très coûteuse. Mais on a su trouver que dans ces polluants il y a des composants qui sont marchand à une très grande valeur ajouté (la vanilline qui est un polluant issu du traitement des usine à bois).

*Tous les corps en dissolution modifient les caractéristiques physique de l'eau.*

## V- Caractéristique de l'eau

### A- Fluidité

L'eau est un fluide, elle épouse toutes les formes sur lesquelles elle s'étant. La vitesse jouant un rôle ainsi que la taille et la forme du nid et de la pression.

L'eau est un fluide « dense » par rapport à l'ensemble des fluides naturels du globe. L'eau a une densité de 1 à  $4^\circ\text{C}$  et 1015hP.

Les facteurs de la fluidité sont : la rugosité, la viscosité, la pression, l'épaisseur de la tranche d'eau et sa vitesse.

### B- Viscosité

La viscosité est la résistance à l'écoulement dû aux caractéristiques propre de l'eau :

- la liaison des molécules  $\text{H}_2\text{O}$  entre elles
- l'influence des matières en dissolution
- les matières en suspensions
- la température

Son unité de mesure est le centipoise.

Lorsque la densité de l'eau augmente sa viscosité aussi.

La viscosité s'oppose aux mélanges d'eau de qualités différentes, elle s'applique au courant du fond et de la surface. Elle aboutit à une stratification des eaux. Lorsque qu'il n'y a plus de renouvellement d'O<sub>2</sub> dans la masse d'eau les êtres vivants passent à la fermentation, ce cercle vicieux peut être brisé par une agitation de l'eau, en effet le brassage dans le volume d'eau à un effet réoxygénant.

### C- Température et Gel

Lorsque la température augmente ou diminue il y a une importante circulation de l'eau dans les océans l'eau chaude est au dessus de l'eau froide car elle moins dense. Les charges augmentent en même temps que la densité. L'eau froide est lourde va couler au fond des océans, d'où les échanges méridiens d'eau dans l'océan Atlantique et dans les océans froids.

Le point de gel de l'eau est de 0°C (eau distillé). La charge dissoute augmente quand le point de gel diminue (océan -0,30 à -0,40°C). La glace a une densité très faible mais a une viscosité très élevée.

### D- Les trois états de l'eau... et la glace

Il y a 3 types d'eau :

→ *l'eau de type 1* : la température diminue ainsi que la densité tandis que sa viscosité augmente, les molécules s'éloignent le fluide est donc de plus en plus visqueux mais de moins en moins dense.

→ *l'eau de type 2* : la température est plus froide c'est le début de la polymérisation, c'est une eau ordinaire.

→ *l'eau de type 3* : c'est à l'ébullition, une eau chaude et il y a de moins en moins de liaisons les électrons se distendent et il y a donc un entassement des molécules libres et agitées, la densité est minimal ainsi que sa viscosité.

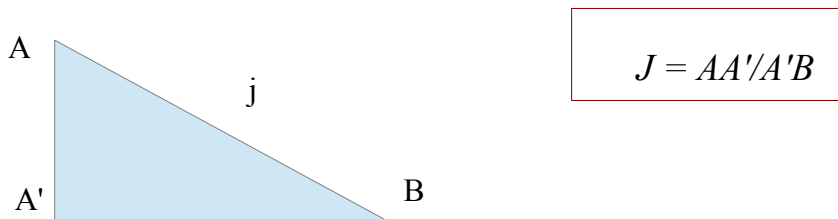
Ex : Pendant l'hiver l'eau est de type 1 et 2

## VI- Notions de base sur l'écoulement

### A- Mise en mouvement de l'eau

#### 1. la pente J

La pente est un facteur moteur de l'eau.

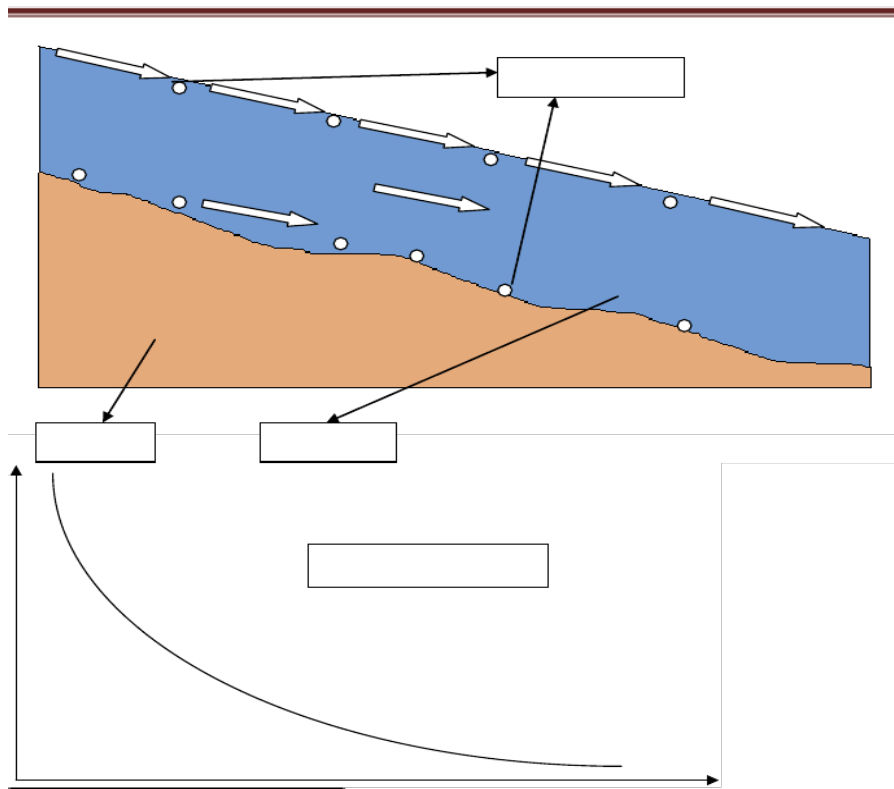


Dans les cours d'eau la pente est faible. Les pentes de la surface du cours d'eau sont des pentes

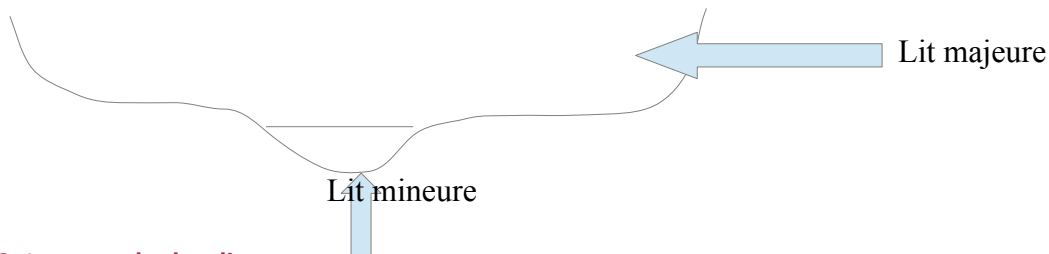
#### 2. Profil en long

Les molécules du dessus accrochent celles du dessous. Les strates inférieures sont donc entraînées par les strates supérieures.

La pente n'est pas constante tout au long de la rivière. Ainsi on peut établir le profil en long :



le profil en travers : Le profil en travers permet d'établir le lit majeur qui se remplit lors des grandes crues d'eau.



### 3. Le rayon hydraulique

Quand R augmente :  $R = S/P$  Le périmètre est plus faible que la surface, le rayon diminue.

Quand R diminue : Le périmètre augmente alors que la surface diminue

### 4. La vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement varie en fonction du rayon, lorsque le rayon augmente la vitesse aussi et lorsque le rayon diminue la vitesse aussi.

Ex : sauf exception les vitesses d'écoulements des zones continentales sont lentes

le fleuve Congo en amont de Kinshasa → 1m/s

la seine à Paris → 0,8m/s

le Danube en Serbie → 5m/s

le Rhin en Suisse → 5m/s entre 18 et 22 km/h

En moyenne les grandes rivières de plaine dans l'étiage ( basse eau) ont des vitesses inférieure ou égal à 0,5m/s ou 1,8km/h en eau moyenne elles ont des vitesses entre 0,5 et 2m/s.

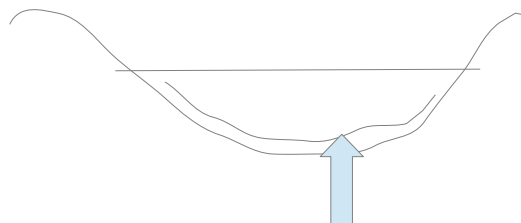


En crue, elles ont des vitesses supérieures à 2m/s jusqu'à 4m/s.

Les cours d'eau les rapides sont les torrents de montagne à très forte pente 36km/h.

Dans les champs d'inondation (le lit majeur) qui ont un petit rayon hydraulique les vitesses sont de 10 à 20cm/s.

La vitesse ne se répartit pas uniformément dans la rivière.



Vitesse la plus lente le long du fond.

Les vitesses les plus rapides ne se situent pas en surface à cause de la rugosité de l'air.

Par exemple : lors de la grande crue du Rhône (Perrache), on observe des vitesses moyennes de l'ordre de 3 à 3,10m/s, la vitesse moyenne de surface est de 3,7 à 3,8m/s et on s'aperçoit que la vitesse maximale est de 4m/s. On remarque donc une hétérogénéité de la vitesse sur l'ensemble de la rivière.

Le fleuve Amazone à la station Obidos est rapide, au plus basse eau (profondeur de 50m, débit de 75000m<sup>3</sup>/s, la pente est de 1cm au km, sa vitesse moyenne est de 0,8km/s) ; lors des grandes crues le fleuve fait plus de 130m de profondeur, vitesse de 3km/s, débit de 315000s, ce fleuve écoule autant d'eau que l'ensemble de tous les autres fleuves de la planète.

## 5. types d'écoulement

On peut recenser deux types d'écoulement :

- L'écoulement laminaire :

C'est un écoulement visqueux, où tous les filets d'eau s'écoulent parallèlement les uns aux autres. La rugosité, la pente, et la viscosité

- cinématique sont faibles. Les écoulements laminaires sont présents dans les eaux froides.

- L'écoulement turbulent :

C'est un écoulement qui n'est pas tubulaire. Les liaisons moléculaires de l'eau sont brisées. C'est un écoulement présent dans les eaux chaudes, claires, et où une certaine rugosité est présente.

- le nombre de Reynolds :

Il représente les forces de frottements et les forces d'inertie.

on prend  $V_m$  = vitesse moyenne

$R$  = rayon hydraulique

$d$  = la densité

$\gamma$  = la viscosité cinématique en « stokes » 0,001 st à 0,018 st

J. loup :  $Re = d \cdot (V_m \cdot R) / \gamma$

ou Bravares petit :  $Re = V_m \cdot \rho \cdot R / \gamma$

Lorsque le nombre de Reynolds est supérieur ou égal à 500 : c'est un écoulement laminaire.

Lorsque le nombre de Reynolds est supérieur à 2000 : c'est un écoulement turbulent

- le tourbillon :

Les tourbillons peuvent affecter qu'une partie de la rivière comme la totalité. On peut différencier trois grands types de tourbillons :

→ Les tourbillons à axes verticaux : -Le vortex : c'est un tourbillon à axe verticale descendant. Il existe de partout, et peut être très puissant (ex : Maelström, diamètre de 6 à 10 mètres, profondeur de 15 mètres).

-Le bouillon : c'est un tourbillon à axe horizontal ascendant. Il provoque une montée de l'eau, très souvent caractérisée par des bulles d'air. (Élévation en dôme)

Ces tourbillons sont mobiles de part leurs dynamique et le déplacement de la masse d'eau.

→ Les tourbillons à axes horizontaux :

Ces tourbillons peuvent être en mouvement dans le sens horaire, mais également antihoraire. (Par rapport au sens du courant)

→ Les tourbillons à axes hélicoïdaux :

Ils peuvent avoir un axe de quelques mètres, à plusieurs kilomètres. Ils forment deux systèmes hydrauliques dans la rivière.

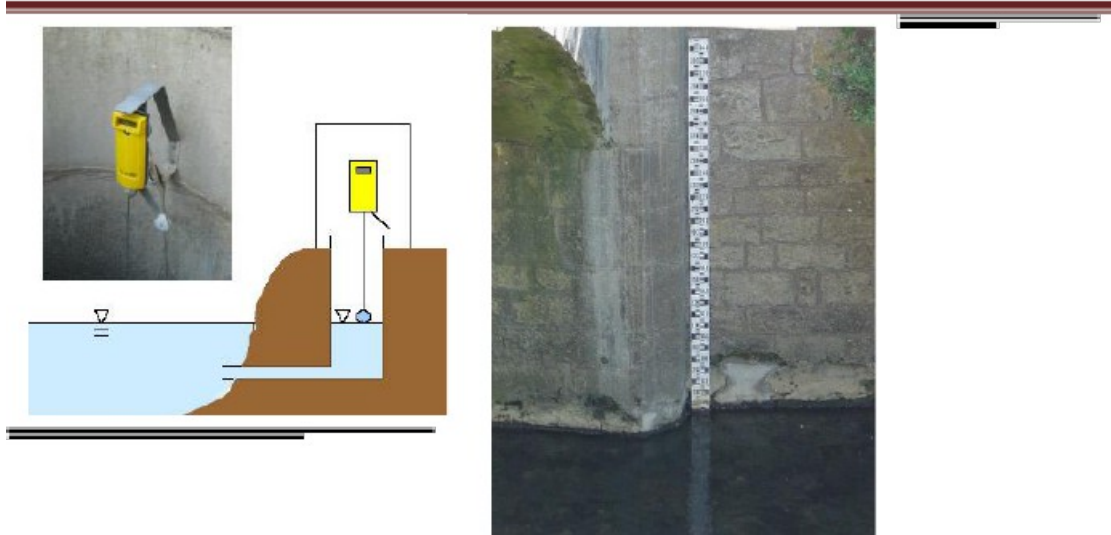
## **B- Le débit**

### **1. Définition**

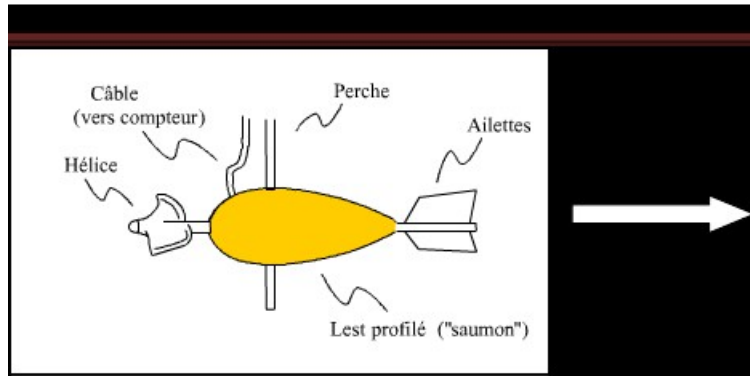
le débit est un volume d'eau écoulé par une veine d'eau en un point de son cours en un temps donné, ce débit est mesuré en  $m^3/s$  (généralement).

### **2. Établissement et calcul du débit.**

→ échelle limnimétrique : c'est un élément de lecture et d'enregistrement du niveau de l'eau  
le limnigraphe est un appareil de mesure permettant de retranscrire, sur une plage de temps prédéfinie, les variations du niveau d'un cours d'eau. L'eau exerce une pression sur un flotteur qui fait bouger l'indicateur.



→ le jaugeage, Pour connaître la vitesse de la rivière on effectue un jaugeage



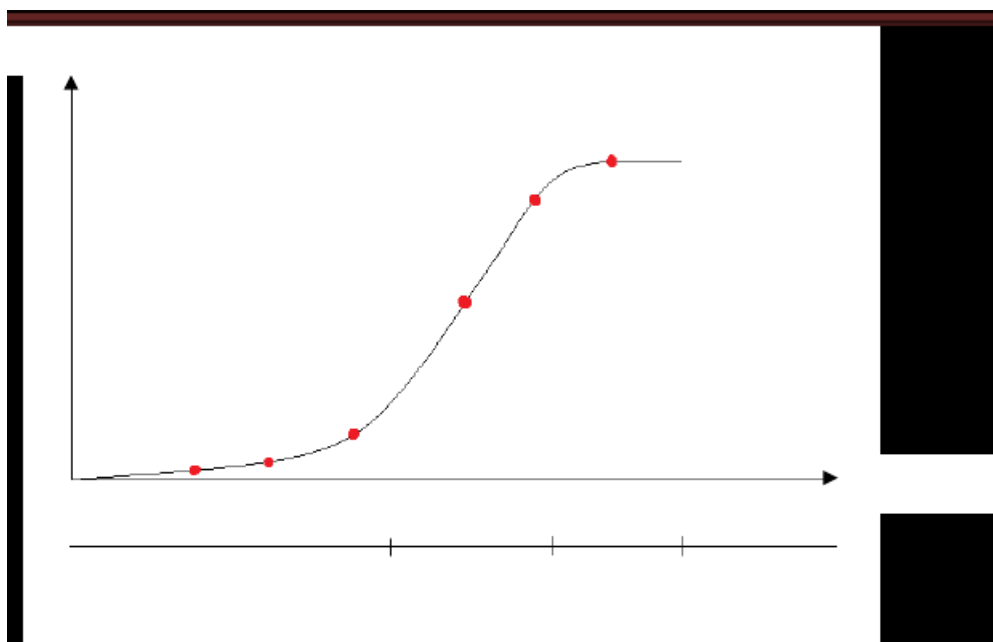
On fixe le moulinet sur un bateau guidé, ou un pont. C'est avec cet instrument que les spécialistes vont jauger le cours d'eau en effectuant un certain nombre de mesure.  
Un bon jaugeage est fiable à 95 %.

La vitesse moyenne d'un cours d'eau peut être réalisée en plongeant le moulinet dans les 3/5 des eaux les plus profondes.

Pour les torrents on utilise la colorimétrie (bichromate de soude), qui va avoir pour effet de teinter l'eau.  
Pour les nappes : on utilise aussi la colorimétrie, actuellement de plus en plus en utilise des radio-isotope, de l'eau 18 du tritium du deutérium on marque avec ces isotopes un certain volume d'eau. Des machines enregistrent leurs concentrations et une estimation du volume d'eau.

Pour les lacs : approximation avec le niveau du lac sur la quantité d'eau qui il y a au cours de l'année.

→ Courbes de tarages : en cas de débordement des eaux on peut utiliser une courbe de tarage



Il y a trois parties distinctes sur cette courbe qui définissent chacune une partie du crue.

On peut également représenter des hydrogrammes, c'est une représentation de la variation temporelle des débits dans un section d'un cours d'eau. C'est à partir de ces données que l'on caractérise les cours d'eau.

### 3. Abondance moyenne annuelle

→ module : Il est exprimé en litres/s. Ce débit change constamment (il varie en fonction du bassin versant, et des précipitations). Le débit brut est le principal thème de l'hydrologie continentale. Ce débit permet de comparer les cours d'eau entre eux.

- Abondance spécifique et module spécifique

→ On peut comparer les différents cours d'eau en fonction de leur drainage. Il est exprimé en litres/s/km<sup>2</sup>. Ce débit spécifique change d'amont en aval. En général, il diminue à mesure que le bassin versant augmente.

- Évolution des modules spécifiques vers l'aval

le module spécifique va être différent selon l'endroit où l'on se place pour le mesurer, le débit diminue à mesure que la taille du bassin versant s'accroît, en amont module spécifique est fort et diminue au fur et à mesure qu'on va vers l'aval.

La Loire 48l/s/km<sup>2</sup>, à Nevers le débit spécifique est de 10l/s/km<sup>2</sup> à l'embouchure à Nantes 7l/s/km<sup>2</sup>.

Le Nil : le module spécifique à l'entrée du delta représente 5% de ce qui l'était à l'entrée en Égypte

le Niger : en amont il arrive de zone moyennement humide 2300m<sup>3</sup> à la courbe 200m<sup>3</sup> et quand il arrive à l'embouchure 600m<sup>3</sup>

- classement des modules spécifiques

abondance très forte 200l/s/km<sup>2</sup> : au sud du Chili au Rio Petrohne → 144l/s/km<sup>2</sup>

abondance forte 25 à 40l/s/km<sup>2</sup> : au niveau des grands bassins versants. (Irrawady, Pô...)

abondance moyenne 5 à 15l/s/km<sup>2</sup> : au niveau des grands bassins versants des climats tempérés (Loire, Mississipi, Saône, Rhin...)

abondance faible <5l/s/km<sup>2</sup> : milieux climatiques secs, les déserts, (le Colorado, Murray 0,4l/s/km<sup>2</sup>...)

### 4. Bilan de l'écoulement

- **Lame d'eau**

La lame d'eau précipitée exprimé en mm (1l d'eau au m<sup>2</sup>) : hauteur de précipitation uniformément répartie sur le bassin versant.

Lame d'eau précipitée et lame d'eau écoulée, dans 99% des cas la lame d'eau écoulée < la lame d'eau précipitée c'est ce qu'on appelle le déficit d'écoulement ( $C_e = P/P$ ).

- **Déficit d'écoulement D(MM) ou E(MM) : EVAPORATION**

le déficit d'écoulement correspond à l'évapotranspiration réelle dites ETR, qui correspond à l'ensemble des évaporations et des transpirations qui ont lieu à la surface de la terre. Ce déficit ( $D_e$ ) apparaît assez stable sur de vastes aires climatiques. Mais les coefficients d'écoulements (quota) ils sont extrêmement variable de 0% à 100%. il y a aucune valeur type les plus faibles dans les zones sèches, les plus fortes dans les zones humides et fraîches et qui ont une forte nébulosité >80%, dans les pays tempérés environ 40% en continentale tempérée 20% en montagne 70 à 80%.

- **Notion d'année hydrologique et d'année hydrométrique.**

→ L'année hydrologique est basée sur l'année climatologique. Elle commence à la fin de la saison sèche (niveaux au plus bas). Cette année présente l'été et l'hiver hydrologique

→ L'année hydrométrique correspond à l'écoulement réel des cours d'eau. L'écoulement est plus important lors de l'hiver hydrologique.

## C- Variations saisonnières des débits

### 1. Notion de Régime hydrologique

- **Régime hydrologiques**

Le régime des rivières :

Un régime est l'ensemble des variations de débit sur l'année. Ils peuvent présenter des irrégularités. Il existe donc les régimes réguliers et les régimes irréguliers. Les régimes traduisent le mieux les niveaux des rivières. La classification de ces cours d'eau est basée sur ces régimes.

Pour exprimer ces variations on va utiliser des données en basse eaux, cela permet de mettre en évidence les vitesses des débits et la hauteur du cours d'eau.

On peut étudier la vitesse de propagation.

Pour leur études en générale on utilise des données mensuelles. Pour faciliter des comparaison, on utilise des coefficients dit coefficients mensuels de débits (module brut mensuels/module brut annuel)

ex : la station de Mas d'Agennais a un module annuel de 621m<sup>3</sup>/s, en février 987m<sup>3</sup>/s

donc coeff=  $987/621=1,59$

- **Écoulement caractéristique**

L'écoulement ordinaire : C'est le retour à une abondance moyenne. Le passage de l'étiage à l'écoulement ordinaire peut être rapide.

- **Débit caractéristiques**

On est amené à diviser les débits en classes. Ce classement permet d'obtenir des fréquences élémentaires ou fréquences partielles. De ces fréquences on peut passer à des fréquences cumulées qui sont interprétées graphiquement.

*Le débit caractéristique correspond aux fréquences élémentaires dépassées par ans.*

→ Quartile : DC 3 => Le débit est dépassé 3 mois par an. (hautes eaux)

→ Médian : DC 6 => Le débit est dépassé 6 mois par an. (moyennes eaux)

→ DC 9 => (Basses eaux)

→ DC 11 => Le débit est dépassé 11 mois par ans (étiage normal)

→ DC 1 => Le débit est dépassé 1 mois par an (crue normale)

Ces débits sont utilisés pour la navigation, mais également pour comparer les rivières entre elles, et aussi pour les barrages et pour maintenir le cours d'eau. Avec ces débits on arrive à éviter de trop grande montée d'eau et à comparer les différentes rivières entre elles. Cela permet également les prévisions de débordement.

### 2. Principaux types de régimes hydrologiques

Ce sont les variations saisonnières immuables, qui peuvent être de très grande ampleur.

Maurice Pardé a écrit en 66, que les régimes réguliers peuvent être aussi immodérés (grand écart et large échelonnement dans les fréquences partielles) sont ceux qui même dans les excès se ressemblent tous les ans. Le régime traduit l'action coordonnée de tous les facteurs agissant sur le cours d'eau, c'est l'intégrateur de ces divers facteurs. C'est pour cela que la classification des espèces fluviales est basée sur ces régimes.

On distingue 3 grandes familles :

- **Régimes simples, régulier**

les régimes simples ne présentent que 2 saisons hydrométriques, une de basses eaux et une autre de hautes eaux, prépondérance d'un seul mode d'alimentation et un bassin versant homogène.

→ régime glaciaire : prépondérance de la surface du glacier (15 à 20%). on retrouve des hautes eaux estival (lorsque le glacier fond), en hivers les précipitations sont sous formes de neige ce sont donc des étiages d'hivers => écart naturel des coefficients d'écoulements. De juin à septembre il s'écoule l'essentiel des cours d'eau annuel. On retrouve en montagne des oscillations journalières dû aux variations quotidiennes de température. L'heure de l'écoulement varie en fonction de la distance entre l'endroit où l'on se trouve par rapport au glacier.

Dans les montagnes équatoriales le rythme quotidien est le principal rythme, hors de ces zones les étiages se produisent toujours en hivers.

Ce régime est parfaitement régulier dans le temps car il est lié uniquement à la température. Il se dégrade au fur et à mesure que l'on descend en altitude.

→ régime pluvial océaniques: hautes eaux de saisons froides avec des basses eaux de saison chaudes. Le principal facteur régissant l'écoulement est l'*évapotranspiration*. Ce régime a une irrégularité inter-annuelle liée à l'irrégularité des climats et aussi aux pluies qui l'alimentent.

Le régime pluvial méditerranéen est un avatar de ce régime pluvial océanique.

On retrouve ce régime dans tous les pays tempérés.

→ régime pluvial tropical: bipolarisation de ce régime liés à une antithèse brutale entre une saison des pluies marquée et une sécheresse marquée. Il a un maximum et un minimum très marqué. Il est caractérisé par une relative régularité. Plus on se rapproche de l'équateur plus les dates des hautes eaux tendent à être tardives => le maximum pluvial tend à se doubler. Ce régime est celui de beaucoup de grands fleuves, on parle de défluviation de ces fleuves lorsqu'il déborde et qu'il se trouve un autre chemin.

➤ régime nival de montagne:

Le régime nival pur présente sous une forme atténuée certaines des caractéristiques du régime glaciaire. Le maximum a lieu cependant plus tôt (juin). Il se subdivise en régime nival de montagne et nival de plaine. Le régime nival de montagne, se retrouve dans les zones montagneuses où la majorité des précipitations arrive sous forme de neige. Il est caractérisé par :

- une fonte progressive de la neige, qui commence d'abord aux altitudes les plus basses et provoque une crue en mai-juin (pour l'hémisphère Nord)

- des basses eaux en été (températures élevées et forte  $ET_0$ ).

La rivière Fraser à Hope au Canada (Fig. 9.1) est caractérisée par ce régime.

Le régime nival de plaine intéresse les régions continentales et maritimes à faible altitude du nord de l'Europe. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Crue violente et brève de printemps (en avril-mai) à la suite de la fusion massive au printemps des neiges hivernales ; pour une même latitude, la crue en plaine arrive cependant plus tôt que celle de montagne.

- Grande variabilité journalière.

- Très grande variabilité au cours de l'année, due à des basses eaux d'été très marquées (températures élevées et forte  $ET_0$ )

- Grande variabilité inter-annuelle (les quantités de neige reçues peuvent varier fortement d'une année à une autre)

- Écoulement important.

Les fleuves sibériens, comme la Lena (Fig. 9.1) ont un régime nival de plaine.

On peut aussi distinguer le régime nival de transition que l'on rencontre sur les bassins versants d'altitude moyenne comprise entre 1200 et 1600 mètres. Il se rapproche davantage d'un type complexe dans ce sens qu'il présente quatre saisons hydrologiques. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Courbe des coefficients mensuels des débits montrant deux maxima (fort en mai-juin, et plus modéré en novembre-décembre) et deux minima.

- Coefficient minimum, en janvier, de l'ordre de 0,2 à 0,5.

- Après un étiage relatif en octobre, on observe en novembre, une légère hausse due à la pluie, induisant un maximum secondaire de coefficient inférieur à 1.

- Régimes complexes

Il se caractérise par deux maxima et deux minima des coefficients mensuels au cours de l'année hydrologique. Suivant les modes d'alimentation principaux on distingue le régime nivo-glaciaire, glacio-nival, nivo-pluvial, pluvio-nival.

- régime nival de transition

Il présente les traits suivants :

- Un seul vrai maximum annuel assez précoce (en mai-juin-juillet), correspondant à la fonte nivale suivie de la fonte glaciaire.
- Variations diurnes relativement élevées pendant la saison chaude.
- Grandes variations d'une année à l'autre, mais cependant moindres que pour le régime nival.
- Écoulement important.

- régime nivo-pluvial

Il se caractérise par :

- Deux maxima nets, l'un assez prononcé vers avril-mai à la fonte des neiges, et l'autre en automne (vers novembre) plus modéré. Ce second maximum, dépendant des pluies tombées en automne, peut être faible (de coefficient inférieur à 1).
- Un étiage principal en octobre et un étiage secondaire en janvier, tous deux de l'ordre de 0,6 à 0,8.
- L'amplitude (rapport entre les coefficients mensuels extrêmes) est comprise entre 2 et 5.
- Variations d'une année à l'autre pouvant être importantes.

Le haut-Mississippi (avant sa confluence avec le Missouri) présente ce maximum de printemps correspondant à la fonte des neiges (Fig. 9.1). En Suisse, l'Emme à Emmenmat (Fig. 9.1 et Fig. 9.5) est un exemple typique de ce régime. Selon l'Atlas hydrologiques de la suisse, on classe ce régime suivant l'altitude moyenne, en nivo-pluvial supérieur (altitude moyenne entre 1000 et 1200 mètres, Préalpes suisses) et nivo-pluvial inférieur (altitude moyenne entre 750 et 1000 mètres, Jura).

- régimes pluvio-nival :

La tendance pluviale est d'autant plus marquée que le bassin se situe à basse altitude (650 à 750 mètres). Le régime pluvio-nival est caractérisé par :

- Deux maximums nets, mais c'est généralement le maximum pluvial en automne-hiver qui domine. La fonte des neiges ne fait que prolonger la crue hivernale en lui donnant un sursaut au printemps.
- Irrégularité d'une année à l'autre importante.
- Une amplitude plus ou moins faible.

- **Régimes complexes changeants**

Le régime complexe est généralement rencontré sur les grands fleuves, dont les affluents, d'amont en aval, influencent de façon très diverse l'écoulement général. Le régime des grands fleuves se présente comme une synthèse de ceux de leurs sous-bassins constitutifs, le plus souvent très variés du point de vue altitude, climat, etc. Habituellement, ces influences diverses tendent à atténuer les débits extrêmes et à accroître la régularité annuelle des débits moyens mensuels, de l'amont vers l'aval (voir Fig. 9.1 pour le Rhin à Rées et le Rhône à l'aval du lac Léman à Chanci).

→ cours d'eau alimentés par la fusion et par un seul mode d'écoulement pluvial : Pô, Rhin, Garonne, Missouri, Arve, Inn...

→ cours d'eau alimentés par la fusion et par plusieurs modes d'écoulement pluvial

→ fleuves correspondant ou non à deux ou plusieurs climats dont les zones se juxtaposent ou empiètent l'une sur l'autre : Nil, Congo, Amazone, Niger...

- **Régimes pondérés**

Régime très régulier au long de l'année. Les régimes sont pondérés par la nature du sol ou par la traversée d

grands lacs (Nil, Saint-Laurent).

### 3. Les étiages

Les étiages sont les plus basses eaux, ils sont dans la plus part des cas annuel.

Il y a un déficit d'alimentation en eau. Ce déficit peut s'expliquer par un manque de précipitations, une forte période de gel, ou encore un manque de précipitations accompagné d'un ETR important.

Les étiages maximales sont présentes juste avant le début du retour des hautes eaux. L'étiage évolue lentement. Sauf accident, la diminution du volume d'eau écoulé est graduelle. Cette baisse du débit est d'autant plus importante lorsque la pédologie du terrain n'est pas adéquate .

On distingue un étiage minimal et un étiage maximal. Le retour à un écoulement naturel ou à une abondance moyenne après l'étiage peut être rapide, l'abondance moyenne peut être retrouvée en quelques jours, mais lors de fortes précipitations le débit des rivières peut être plus élevé que celui des nappes phréatiques.

### 4. le crue

une crue est un gonflement hydrométrique débordement ou non. Monté du niveau des eaux importante. Il y a un gonflement hydrométrique exceptionnel débordant ou non. Les crues ont un rôle extrêmement important : elles transportent les matériaux (rôle géomorphologie). Elles assurent l'érosion.

On peut recenser deux grands types de crues :

→ Crues ordinaires : Elles ont une certaine périodicité, mais sont tout de même irrégulières. Elles ont généralement une fréquence annuelle.

→ Crues extraordinaires : Elles sont liées à des événements climatiques extraordinaires, mais également à un événement morphologique extraordinaire. Elles ont une fréquence irrégulière.

- **Origine des crues :**

→ **embâcle, débâcle de glaces** : obstruction d'un cours d'eau par la glace, débâcle est le contraire c'est à dire la rupture du barrage de glace. (très destructive). Ces crues sont dévastatrices, car la glace est extrêmement mécanique (peut exercer une pression sur les bâtiments). Lorsque la glace cède, un très grand volume d'eau est libéré. Le mélange qui se déverse ensuite est très abrasif. Elles se propagent de l'aval vers l'amont . Les glaçons ont un pouvoir d'érosion extrêmement important. Crues de débâcle très importante, très destructive et très rapide.

→ **fonte de neiges synchrone sur de vastes surfaces** : zone continentale froide. Cela se produit lorsque les hivers sont froids où le sol gèle donc peu de précipitations. En été, les neiges des montagnes fondent et s'écoulent. Ainsi, lorsque l'eau arrive dans les grandes plaines, elle passe à l'état solide (glace et neige). La couche de neige est peu épaisse (< 20 cm).

Le problème est que dans ces régions, l'été n'est pas séparé par de l'hiver par l'automne. Le dégel et le déneigement sont donc très rapides car le passage entre les saisons est extrêmement brutal. Les eaux se stockent dans ces plaines et forment de grandes crues car le sol gelé se dégèle moins rapidement. Sur les grands bassins versants, ex : le bassin de la Volga, Duina, Ienisseï etc... on a des quantités d'eau très importantes.

→ **grandes averses** : \_ Averses extensives : Ces crues sont dévastatrices, car la glace est extrêmement mécanique (peut exercer une pression sur les bâtiments). Lorsque la glace cède, un très grand volume d'eau est libéré. Le mélange qui se déverse ensuite est très abrasif.

\_ Averses intensives : grand amas d'eau sur un espace réduit, en un temps relativement court (quelques heures).



- **Mécanisme et évolution des crues.**

Le relief et la valeur des pentes influent sur ces mécanismes mais aussi la pente des cours d'eau, ainsi que le profil en travers c'est à dire les sections mouillées et l'agencement du réseau hydrographique.

→ **l'hydrogramme** : sur ces graphiques on observe 5 phases :  
\_ La montée des eaux  
\_ la pointe de crue (le débit maximum)  
\_ la décrue  
\_ le tarissement de la crue  
\_ retour au débit de base

Ces 5 phases définissent une onde de crue.

→ **vitesse de propagation de l'onde de crue** : en montagne la vitesse est de 15km/h et plus, haute Garonne 13km/h etc... ex : le Rhône moyen.

La vitesse de propagation peut être modifiée naturellement ou superficiellement. L'agencement du réseau hydrographique joue un rôle dans cette propagation.

→ **rôle de l'agencement du réseau hydrographique** : ces réseaux sont dits dendritiques. Il existe des crues polygéniques qui peuvent provoquer des élévations très fortes, ces crues sont liées aux différences de pentes.

→ **notion de temps de concentration de la crue** :

\_ crues simples et crue polygéniques : (la plus fréquente) il peut y avoir compensation du niveau des crues. Les crues polygéniques sont des crues à répétition. Tous les grands fleuves du monde ont essentiellement des crues polygéniques. Les crues polygéniques sont plus longues que les crues monogéniques car la masse d'eau est plus importante donc la décrue est plus longue.

\_ notions de fréquences et de temps de retour : la fréquence la plus courante pour les crues et celle qui est annuelle ou bien 2 fois par an suivant le climat (fin septembre et au printemps avec la fonte des neiges). Dans les plaines océaniques les crues sont annuelles, les crues les plus importantes ne reviennent pas forcément tous les ans => elles ne sont pas régulières. Cela pose un problème au niveau de l'aménagement.

On définit alors des temps de retour : la crue décennale (crue qui a chaque année à 10% de chance de se produire), la crue millénaire (1 chance sur mille chaque année).

## 5. les transports solides

## 6. Problèmes posés par les crues et les étiages

Taux de saturation des sols.

Prévention avec les limnigraphes. On a effectué des calculs théoriques en France le gradex qui établit une relation entre les débits et les précipitations.

Gestion des eaux : gérer les hautes eaux et les crues normales par les barrages par exemple.

En Europe et aux USA les barrages doivent amortir les grandes crues. Ces barrages sont pourvus d'évacuateurs de crues et sont tous pourvus d'évacuateur au sommet pour l'eau. Le problème du barrage est son usage pour le stockage des milliers de mètres cubes d'eau pendant les grandes crues. Les ondes de crues peuvent arriver en aval du barrage ce qui produit des inondations.

Les digues permettent d'accroître la vitesse du cours d'eau, on peut donc évacuer la crue plus facilement.

Systèmes permettant de limiter les dégâts de la crue : bois-taillis, lorsque l'eau monte et déborde la vitesse et les turbulences augmentent il va se produire alors des érosions et des dépôts, le lit mineur de la rivière est entretenu sans végétation, en bordure des bois souples et des plantes ils sont recépés régulièrement pour qu'ils soient toujours souples, avec à l'arrière des grands arbres, donc lorsque l'eau arrive à grande vitesse

elle va être freinée par les bois souples qui vont retenir les cailloux. Cela permet la limitation des dégâts et les érosions de graviers.

### **Conclusions**

Le système fluvial est un système complexe dû au climat et aux précipitations plus ou moins fortes. Cela dépend également du niveau de base, de l'action humaine (contrôle des fleuves), la végétation.

Puis il y a les facteurs géométriques du cours d'eau, les caractéristiques des rayons hydrauliques des plaines d'inondations, et toutes les caractéristiques du chenal du lit mineur, la caractéristique des berges.

Toutes ces caractéristiques de l'écoulement évoluent et bougent en permanence.

Pour un débit théorique on va avoir des écoulements en réalité totalement différents ainsi que l'évolution du lit de la rivière

c'est un système dynamique complexe et lorsque qu'il y a un obstacle la résilience du système sera très forte.