



**Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen -**  
**Faculté de Technologie**  
**Département d'Hydraulique**

# Préservation et Protection contre les crues et inondations

*Etabli par*

***Dr. I. GUASMI***

**Année Universitaire:2024 - 2025**

---

**Matière:**

**Préservation et Protection contre les crues et inondations**

**Semestre : 3**

**Unité d'enseignement : UEF 2.1.1**

**Matière : Préservation et Protection contre les crues et inondations**

**VHS : 45h00 (cours: 01h30 + TD : 01h30)**

**Crédits : 4**

**Coefficient : 2**

# *Contenu de la matière*

---

1. Rappels fondamentaux sur l'hydrologie de base
2. Présentation et analyse des données
3. Etude des séries de précipitation
4. Etude des séries des débits de crue
5. Solutions de protection et études de variantes
6. Notions d'écoulement au niveau des cours d'eau
7. Analyse des crues, typologie des crues, recalibrage des crues d'eaux
8. Les inondations dans les zones urbaines
9. Gestion et exploitation des ouvrages de protection

# *Hydrologie, Définition*

---

## **Littéralement: « science de l'eau »**

L'hydrologie est la science ayant pour objet l'étude des propriétés physiques, chimiques et biologiques des eaux situées à la surface de la Terre et au-dessous de cette surface, en particulier du point de vue de leur formation, de leur déplacement, de leur répartition dans le temps et l'espace et de leur interaction avec l'environnement inerte et vivant. L'hydrologie continentale étudie les fleuves, lacs et marais, les eaux souterraines et les étendues d'eau solide des terres émergées, tandis que l'hydrologie marine s'identifie à l'océanographie.”

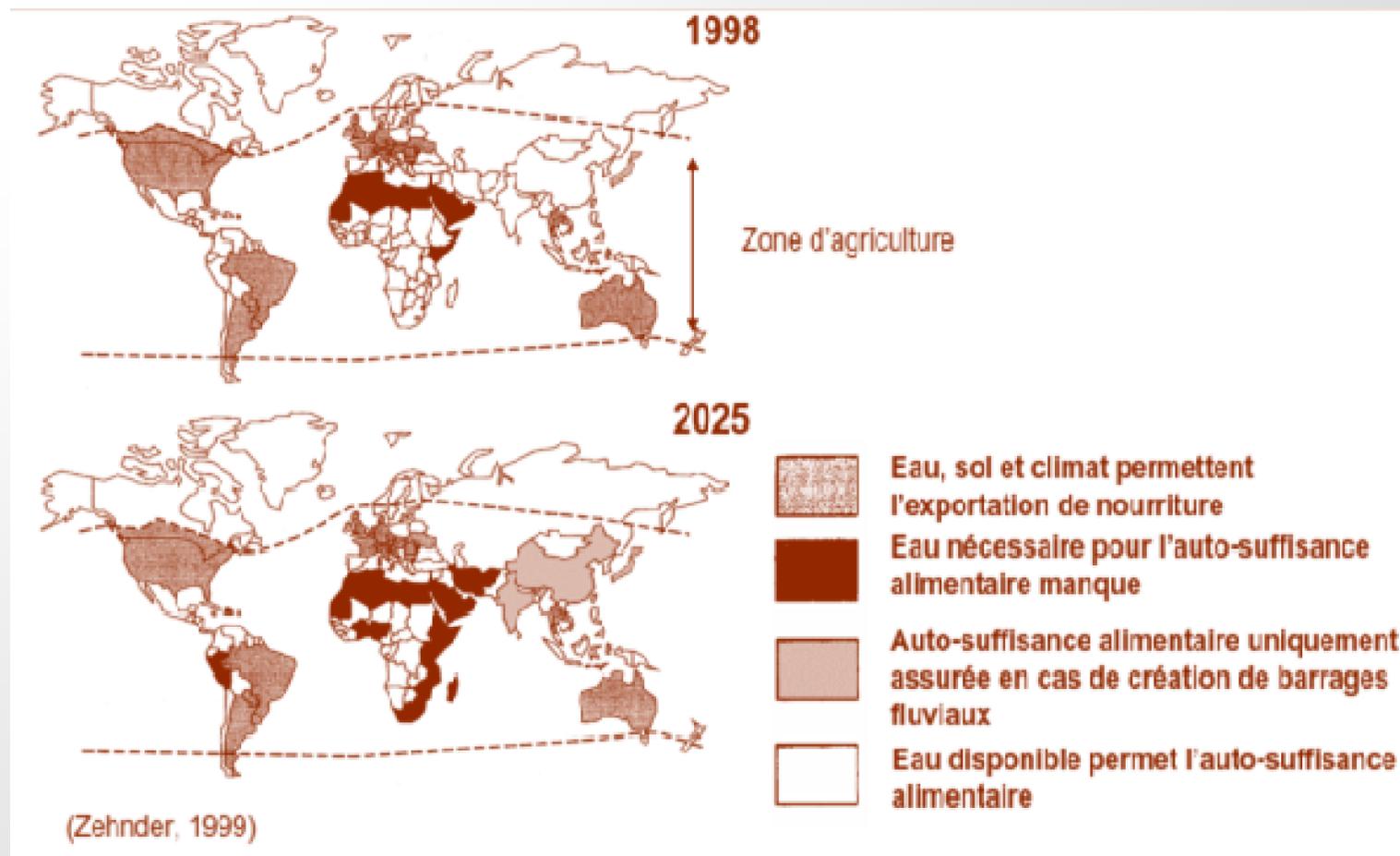
(**Météo-France**, <http://www.meteofrance.com/FR/glossaire>)

La science de l'hydrologie étudie le cycle hydrologique global (cycle de l'eau) et les processus contrôlant la branche terrestre de ce cycle. Elle décrit et prédit les variations spatiales et temporelles de l'eau dans ses compartiments terrestres, océaniques, et atmosphériques“

**(Dingman 2002)**

# Questions actuelles d'hydrologie

Prévisions de l'évolution des ressources en eau douce (globales, régionales): facteurs démographiques, sociaux, et climatiques, ...



# Questions actuelles d'hydrologie

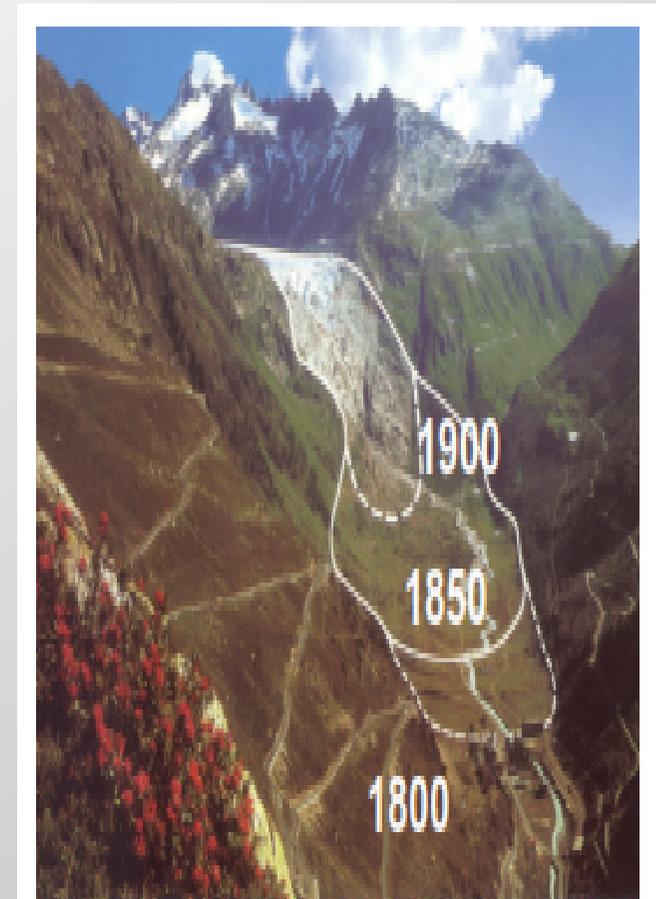
Analyse, modélisation et prévisions des événements extrêmes (inondations, sécheresses): Échelle temporelle de quelques jours à quelques mois (lien avec météorologie et climatologie)



# Questions actuelles d'hydrologie

## Changements climatiques et processus hydrologiques:

- ✓ La vapeur d'eau est le principal gaz à effet de serre!
- ✓ Les précipitations et le ruissellement des continents sont des importants contrôles de la circulation océanique.
- ✓ Les modèles climatiques prédisent une accélération du cycle hydrologique dans diverses régions, associée avec de plus gros risques de sécheresse et d'inondations.



Glacier du Rhône

# *Cycle de l'eau*

---

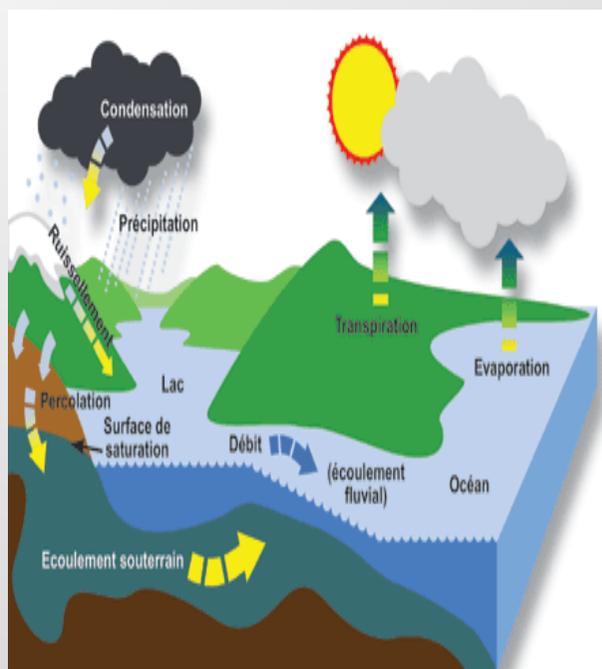
▪ **CYCLE EXTERNE DE L'EAU** = Echange d'eau permanent entre les 4 grands réservoirs de l'hydrosphère:

1. Les mers et océans
2. Les eaux continentales
3. L'atmosphère
4. La biosphère

▪ **MOTEUR DU CYCLE** = l'énergie thermique du soleil - active et maintient les masses d'eaux en mouvement

# *Cycle de l'eau, définition*

Le cycle de l'eau, appelé aussi **cycle hydrologique**, est l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol.



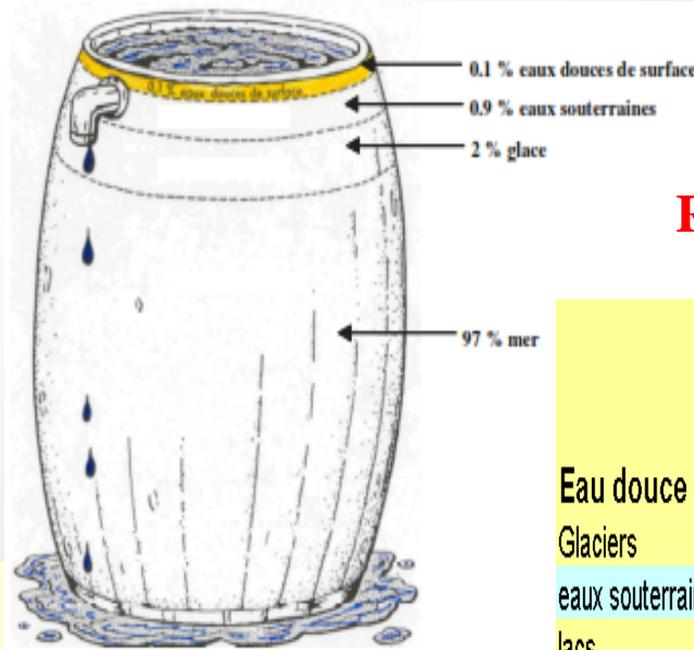
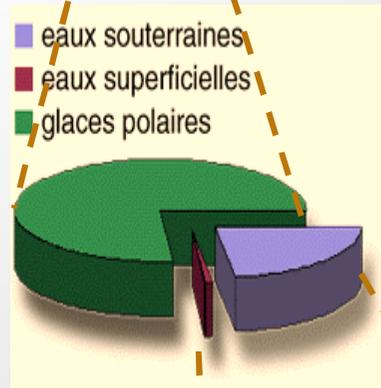
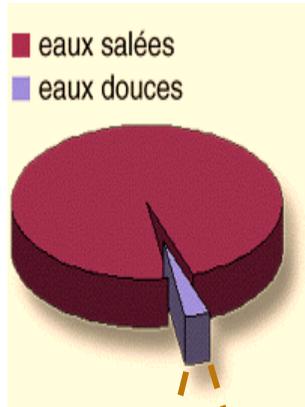
([http://www.ec.gc.ca/water/fr/nature/grdwtr/f\\_cycle.htm](http://www.ec.gc.ca/water/fr/nature/grdwtr/f_cycle.htm))

## ***Principaux processus:***

- Évapotranspiration
- Précipitation
- Ruissellement/Écoulement de surface
- Infiltration
- Percolation
- Écoulement souterrain

***Le cycle de l'eau est stationnaire*** : toute perte d'eau par l'une ou l'autre de ses parties (atmosphérique ou terrestre) est compensée par un gain d'eau par l'autre partie

# Cycle de l'eau, définition

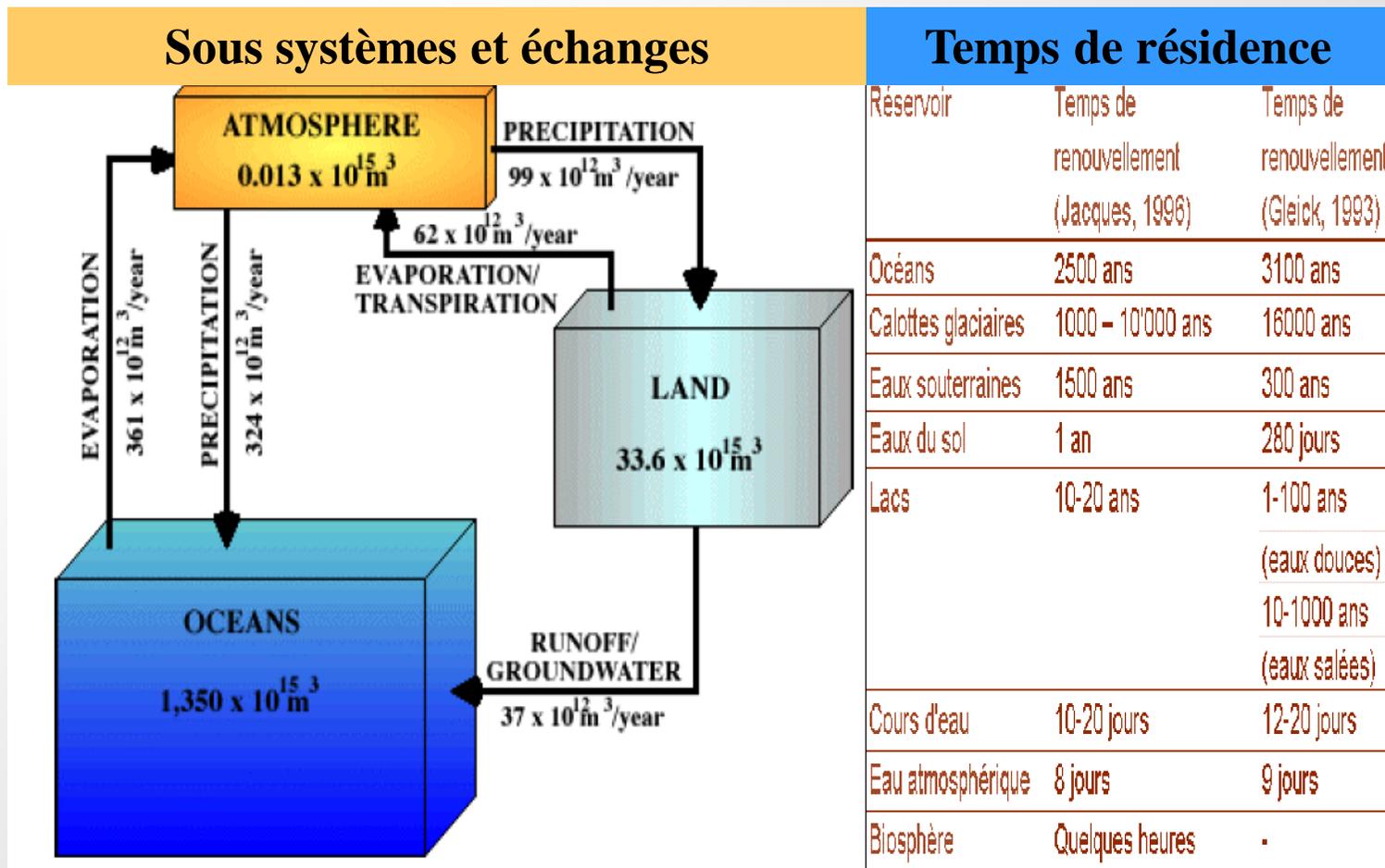


## Répartition de l'eau à l'échelle mondiale

	Volume totale (10 <sup>Ex15</sup> m <sup>3</sup> )	Pourcentage d'eau douce	Pourcentage de la quantité totale
<b>Eau douce</b>	40	100	2.88
Glaciers	33	82.5	2.37
eaux souterraines	8	20	0.58
lacs	0.1	0.25	0.01
eau dans le sol	0.07	0.175	0.01
eau dans l'atmosphère	0.013	0.0325	0.00
rivières	0.0017	0.00425	0.00
eau dans la matière vivante	0.0011	0.00275	0.00
<b>Océans (eaux salées)</b>	1350		97.12

(Jacques, 1996)

# Cycle de l'eau, temps de résidence



# ***Bilan hydrique***

---

Le **cycle de l'eau** peut-être analysé schématiquement selon les trois éléments suivants :

- Les **précipitations**,
- Le **ruissellement** ou **écoulement de surface** et **l'écoulement souterrain**,
- L'**évaporation**.

Dans chacune des phases on retrouve respectivement un **transport d'eau**, un **emmagasinement temporaire** et parfois un **changement d'état**.

**L'équation du bilan hydrique** se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un espace donnés :

**Bilan hydrologique** qui représente le bilan des quantités d'eau **entrant** et **sortant** d'un système défini dans l'**espace** et dans le **temps**, à savoir l'année hydrologique (période d'une année très souvent différente de l'année civile).

---

$$\mathbf{P + S = R + E + (S \pm \Delta S)}$$

**Avec :**

**P** : précipitations (liquide et solide) [mm] ou [m<sup>3</sup>]

**S** : ressources disponible à la fin de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige, glace) [mm]

**R** : ruissellement de surface et écoulements souterrains [mm]

**E** : évaporation (y compris évapotranspiration) ;

**S±ΔS** : ressources accumulées à la fin de la période étudiée [mm].

Sous sa forme la plus générale et pour une période déterminée (mois, année), **ce bilan** peut s'écrire encore sous la forme simplifiée suivante :

$$\mathbf{E = I - O \pm \Delta S}$$

**Avec:**

**E: évaporation** [mm] ou [m<sup>3</sup>/s]

**I:** flux d'eau entrant [mm] ou [m<sup>3</sup>/s]

**O:** flux d'eau sortant [mm] ou [m<sup>3</sup>/s]

**$\Delta S$ :** variation de stockage [mm] ou [m<sup>3</sup>/s]

Si le bassin versant naturel est relativement **imperméable**, *la variation de stock* sur une période donnée peut être considérée comme **nulle** ( $\Delta S=0$ ).

Dès lors, on peut introduire le **déficit d'écoulement (D)** dans l'équation qui s'écrit :  $D = I - O$

**Avec:** **I** : flux d'eau entrant [mm] ou [m<sup>3</sup>/s],

**O** : flux d'eau sortant [mm] ou [m<sup>3</sup>/s],

Ce **déficit d'écoulement** représente essentiellement les **pertes** dues à l'**évaporation**.

Il peut être estimé à l'aide de mesures ou de méthodes de calcul. Par, les formules de **Turc** et **Coutagne** :

**- Formule de Turc:** 
$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

**Avec:**

**P** : pluie annuelle [mm],

**D** : déficit d'écoulement [mm],

**T** : température moyenne annuelle [°C].

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3.$$

**- Formule de Coutagne :**

$$D = P - m \cdot P^2$$

**Avec :** **D** : déficit d'écoulement [mm],

**P** : pluie annuelle [mm],

$$m = 1 / (0,8 + 0,16 T)$$

La connaissance du **déficit d'écoulement** permet d'évaluer le comportement du système ou la fiabilité des données sensées le décrire, par **comparaison** entre les **valeurs du déficit** calculées directement et les **valeurs estimées** dans un bassin versant plus grand.

**Dans le bassin hydrologique** de quelques centaines de **Km<sup>2</sup>**, les **apports** sont fournis par les *précipitations efficaces*, (**PE**) et les **sorties** par le *débit de l'écoulement total*, (**QT**). **PE = QT**

Dans le cas où l'égalité n'est pas respectée, il faut tenir compte des **apports** autres que *le précipitations efficaces* sur le domaine, *le débit de prélèvement* (**QEX**) et de *la différence de réserves positive ou négative* (**ΔW**) dans les bassins hydrogéologiques.

$$\Delta W \cdot PE = QT + \Delta W - QEX$$

Dans le bassin hydrogéologique les **débits des apports** sont représentées par **l'infiltration (I)**, fraction des précipitations efficaces et les **sorties** par le débit de **l'écoulement souterrain (QW)**.  **$I = QW$**

Dans l'aquifère le débit des apports est **l'infiltration efficace, (IE)**. elle est représentée par le débit de **l'écoulement souterrain, (QW)**, ajouté aux **débits des prélèvements, (QEX)**.  **$IE = QW + QEX$**

Le bilan global moyen annuel d'une grande région ou d'un pays, d'ordre de grandeur de centaines de milliers de Km<sup>2</sup>, est obtenu par la somme des bilans des bassins hydrologiques qui le constituent.  **$PE = P - ETR$**

**Avec :** **PE** : précipitations efficaces [mm],

**P** : pluie annuelle [mm],

**ETR** : évapotranspiration réelle [mm],

Ce bilan global annuel des grands domaines correspond, soit au cycle global soit à chacun des cycles de deuxième ordre, **continental** ou **océanique**.

---

## ***DEFINITION DU REGIME HYDROLOGIQUE D'UN COURS D'EAU***

Le régime hydrologique d'un cours d'eau résume l'ensemble de ses caractéristiques hydrologiques et son mode de variation. Il se définit par les variations moyennes de son débit en fonction du temps.

## ***CLASSIFICATION DES REGIMES HYDROLOGIQUES***

La classification des régimes hydrologiques est basée d'une part sur la complexité de la répartition des débits au cours de l'année (variations moyennes au cours de l'année des coefficients mensuels de débits) et d'autre part sur le mode d'alimentation, c'est-à-dire la nature et l'origine des hautes eaux (pluviale, nivale ou glaciaire).

*Le coefficient mensuel de débits 'C<sub>m</sub>' est le rapport entre le débit moyen inter-mensuel (ou module mensuel) et le débit moyen interannuel (ou module annuel). Il permet de représenter la répartition, en pourcentage, des débits mensuels au cours de l'année.*

$$C_m (\%) = [\text{Débits mensuel moyen} / \text{Module interannuel}] * 100$$

*On peut également calculer le coefficient d'écoulement annuel 'C<sub>a</sub>'.*

$$C_a (\%) = [\text{Lame moyenne écoulée} / \text{Pluie moyenne annuelle}] * 100$$

Une des classifications des régimes hydrologiques des rivières les plus simples distingue trois principaux types de régimes, dans lesquels on regroupe des régimes aux modes d'alimentation différents :

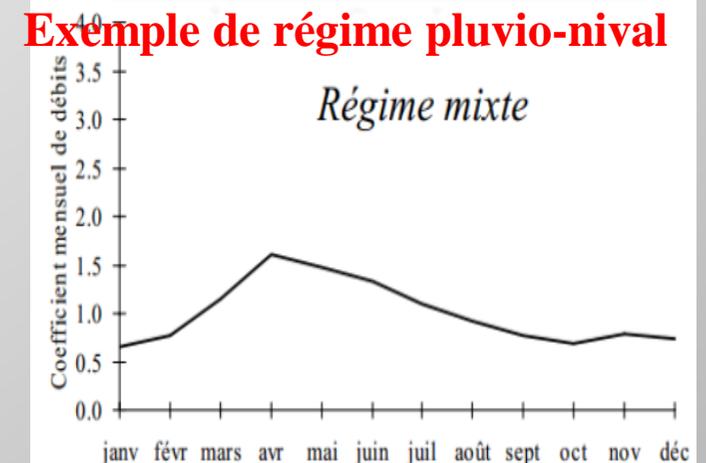
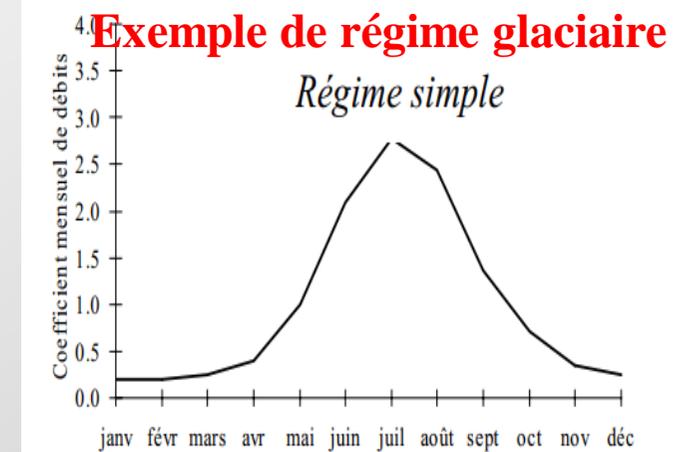
**1. Régime simple** (1 maximum, 1 minimum, 1 seul mode d'alimentation):

- Régime glaciaire;
- Régime pluvial;
- Régime nival.

**2. Régime mixte** (2 maxima et 2 minima, plusieurs modes d'alimentation):

- Régime nivo-glaciaire;
- Régime nivo-pluvial;
- Régime pluvio-nival, etc.

**3. Régime complexe:** plusieurs maxima et modes d'alimentation).



# MODÉLISATION DES PROCESSUS D'ÉCOULEMENT

Il s'agit d'une part d'identifier les processus hydrologiques et leur part respective intervenant dans la réponse du bassin versant et, d'autre part, les modalités du passage de l'impulsion pluviométrique à la réponse hydrologique. La question qui se pose alors est de comprendre et interpréter les mécanismes de transformation de la pluie à l'hydrogramme de crue.

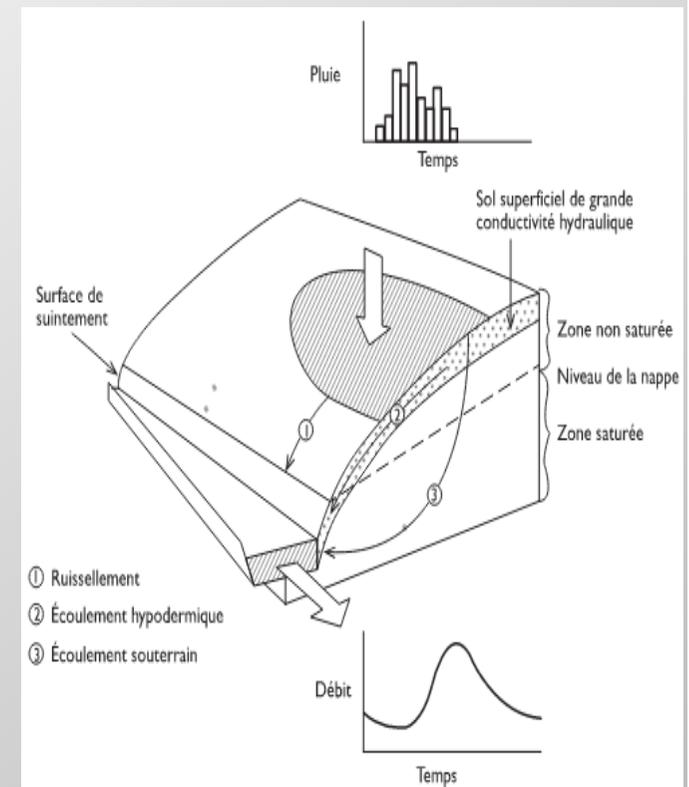
## Définition du ruissellement

Le ruissellement est la part des précipitations qui est drainée ou transite à travers l'exutoire du bassin. Elle peut atteindre l'exutoire par différentes voies:

1. *Ruissellement direct;*
2. *Écoulement hypodermique;*
3. *Écoulement souterrain ou de base.*

La contribution de chaque type de ruissellement est déterminée par plusieurs facteurs :

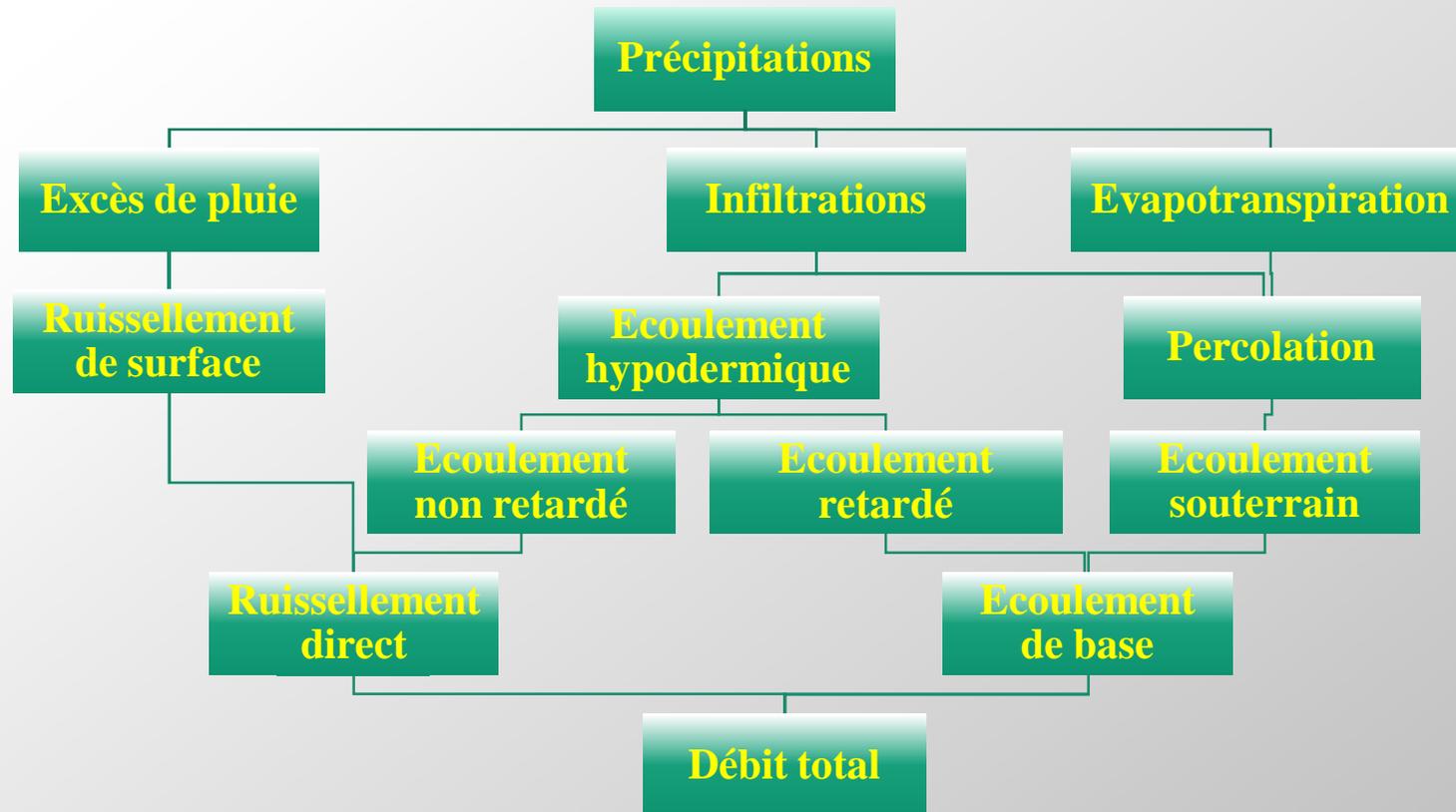
1. *Nature du sol;*
2. *Type d'utilisation (forêt, pâturage ou agriculture);*
3. *Topographie du bassin;*
4. *Nature géologique et la profondeur de la nappe.*



**Fig.** Processus d'acheminement de la pluie au cours d'eau dans un petit bassin versant

# Constitution des débits de crues

Les débits de crue sont générés par plusieurs processus simultanément ou successivement, dans des combinaisons variables dans l'espace et dans le temps.



**Fig.** Différentes composantes participant au ruissellement.

---

➤ *Ruissellement direct*: Il est composé essentiellement du ruissellement de surface dû à l'excès de pluie, appelé **pluie nette**.

➤ *Ecoulement hypodermique*: c'est la partie des précipitations infiltrée qui chemine latéralement dans les couches supérieures du terrain pour réapparaître à l'air libre, à la rencontre d'un cours d'eau. L'importance de cette fraction de débit total dépend de la structure du sol à la surface.

➤ *Ecoulement de base* : C'est le **débit initial** qui existe dans le cours d'eau **avant le début de l'averse**. Il correspond à l'écoulement souterrain relatif à des précipitations antérieures.

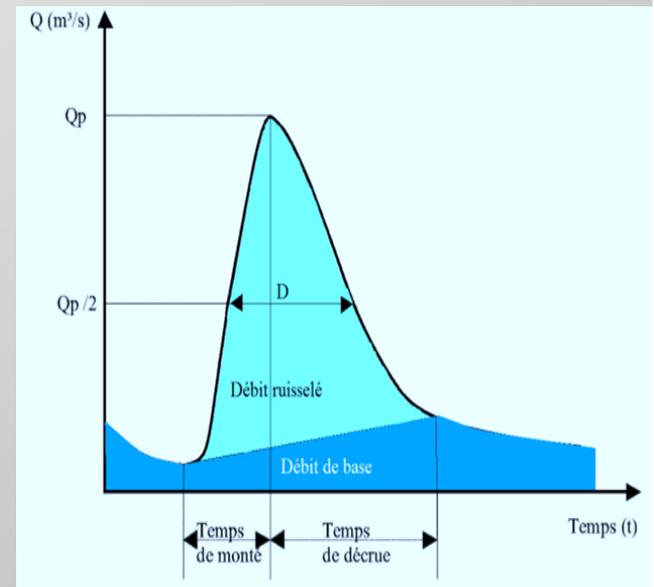
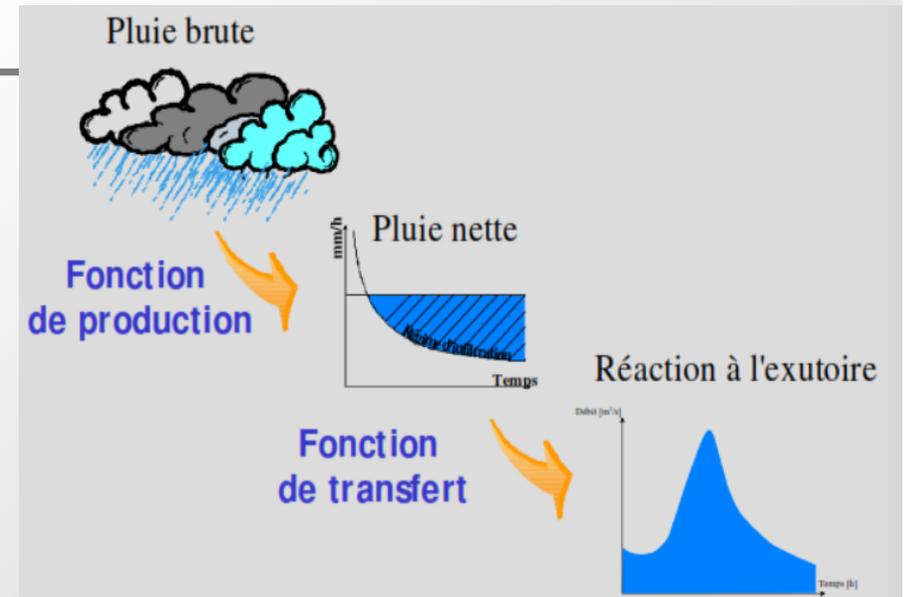
La transformation de la pluie en hydrogramme de crue se traduit par l'application successive de deux fonctions, nommées respectivement **fonction de production** et **fonction de transfert** :

- **Fonction de production**: Elle permet de déterminer la pluie nette à partir de la pluie brute. La pluie nette est la fraction de pluie brute participant totalement à l'écoulement.

- **Fonction de transfert**: La fonction de transfert permet de déterminer l'**hydrogramme** de crue résultant d'une pluie (souvent considérée comme la **pluie nette**).

Pour caractériser un épisode de crue, il existe un grand nombre de variables-clefs dont les valeurs conditionnent la sévérité des crues :

1. Le débit de pointe de crue  $Q_{\text{pointe}}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
2. La durée caractéristique 'D' durant laquelle le débit reste supérieur à  $Q_{\text{pointe}}/2$  ;
3. Le volume V ruisselé ;
4. La vitesse d'écoulement ( $\text{m}/\text{s}$ ) ;
5. La fréquence d'apparition.



# Forme et caractéristiques de l'hydrogramme

Un hydrogramme est la représentation graphique du débit à l'exutoire en fonction du temps. Il est constitué des différentes fractions d'écoulements déjà cités.

L'hydrogramme est composé de trois parties:

**1. La courbe de concentration** qui dépend de l'intensité de l'averse et des caractéristiques du bassin. Elle correspond à la montée de la crue.

**2. La pointe de l'hydrogramme** qui correspond à la partie autour du débit maximal.

**3. La courbe de récession (décrue)** : c'est une caractéristique du bassin. Elle est indépendante de l'intensité de l'averse

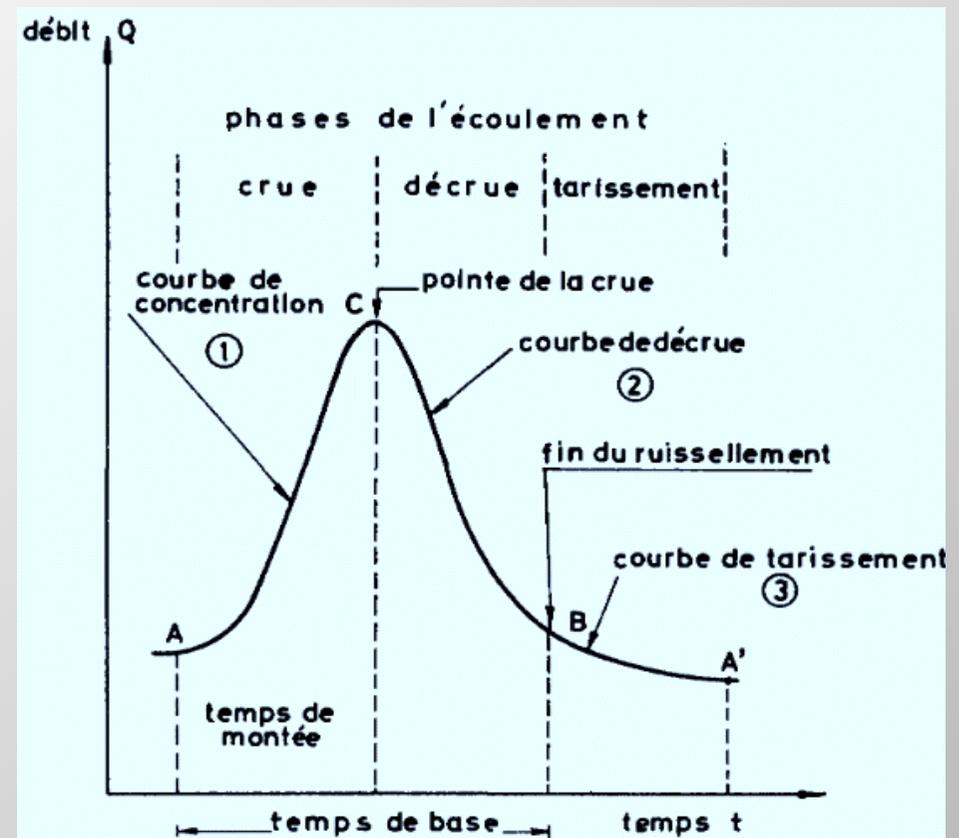


Fig. Hydrogramme de crue.

---

En général, la courbe de concentration est assimilée à une droite. La courbe de décrue prend une forme exponentielle décroissante.

En pratique on considère que la décrue est bien représentée par l'équation:

$$Q_t = Q_0 e^{-at}$$

**Avec :**

**$Q_t$**  : Le débit à l'instant  $t$  ( $m^3/s$ ),

**$Q_0$**  : Le débit pris comme origine de la décrue ( $m^3/s$ ),

**$a$** : Coefficient d'ajustement.

L'hydrogramme est caractérisé aussi par un certain nombre de paramètres de temps :

✓ **Temps de base 't<sub>b</sub>'**: Durée du ruissellement direct, c'est-à-dire la durée depuis le début de montée de la crue jusqu'au début du tarissement.

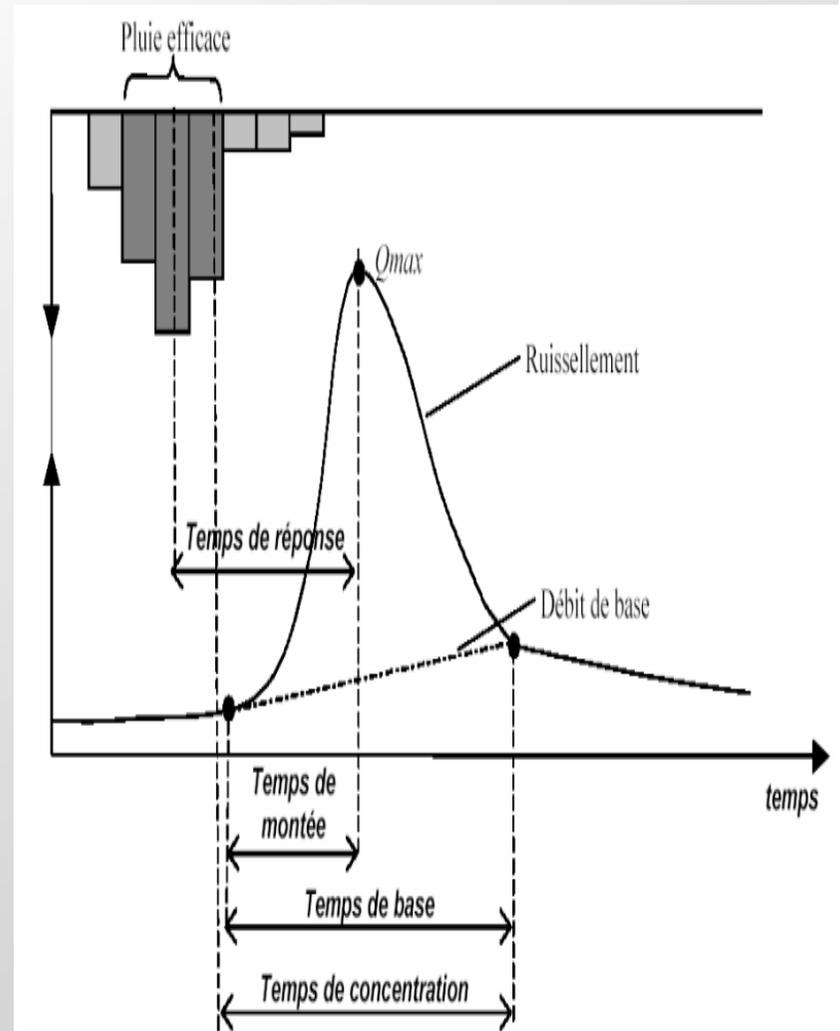
✓ **Temps de montée 't<sub>m</sub>'**: Temps qui s'écoule entre le début de l'arrivée à l'exutoire de l'écoulement rapide (décelable par le limnigraphe) et le maximum de l'hydrogramme.

✓ **Temps de réponse du bassin 't<sub>r</sub>' (lag)**: Intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie efficace et la pointe de crue.

✓ **Durée de la pluie efficace 't<sub>e</sub>'**: C'est la durée de l'averse qui génère réellement le ruissellement.

✓ **Durée de la pluie 't<sub>a</sub>'**: C'est la durée totale de l'averse génératrice de l'hydrogramme.

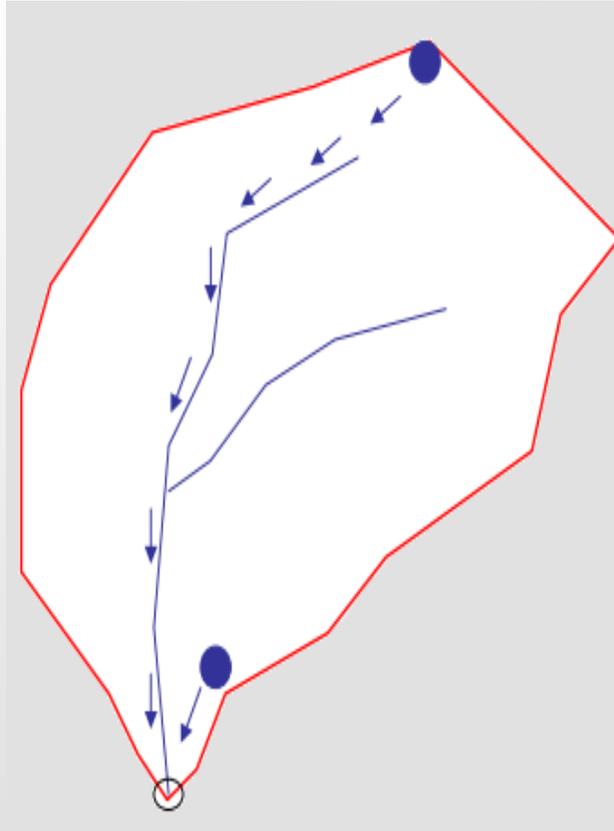
✓ **Temps de concentration 't<sub>c</sub>'**: Temps de parcours qu'effectue une particule d'eau entre la partie du bassin la plus éloignée et son l'exutoire. Il est estimé comme étant la distance comprise entre la fin de la efficace et la fin de ruissellement pour:  $t_c = t_b - t_e$



**Fig.** Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit (Javelle, 2001)

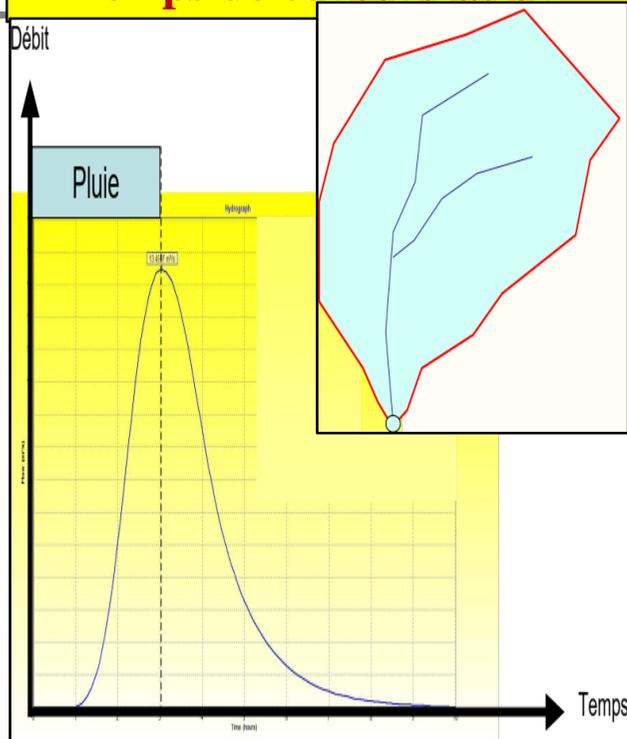
## ***Importance du temps (notion de temps de concentration)***

La goutte d'eau qui tombe sur le bassin versant met un temps différent pour atteindre l'exutoire selon le point où elle est tombée.



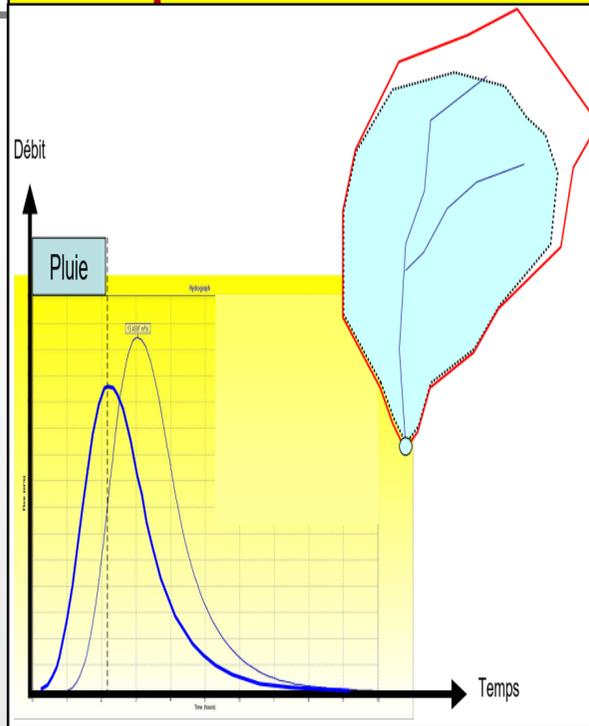
Le temps nécessaire pour que tout le bassin versant contribue au ruissellement est appelé : **Temps de Concentration (TC)**.

**Si la durée de la pluie = le Temps de concentration**



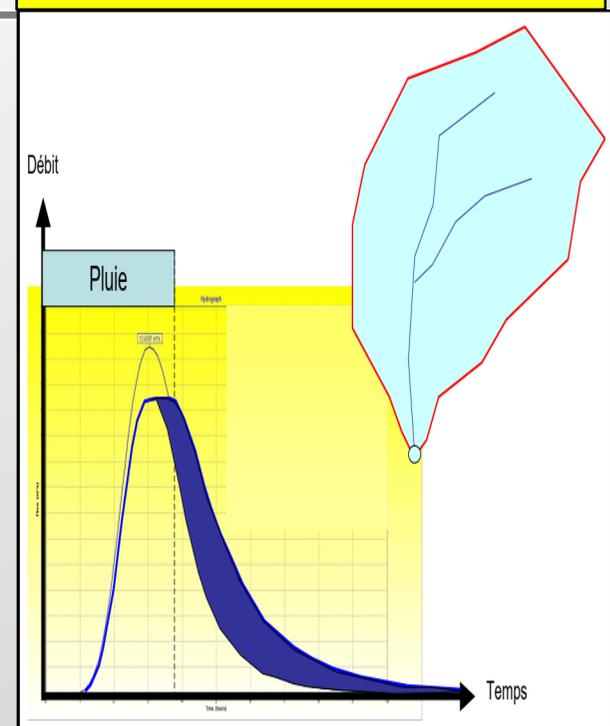
**La pluie la plus défavorable en terme de débit est celle dont la durée est égale au temps de concentration.**

**Si la durée de la pluie < le Temps de concentration**



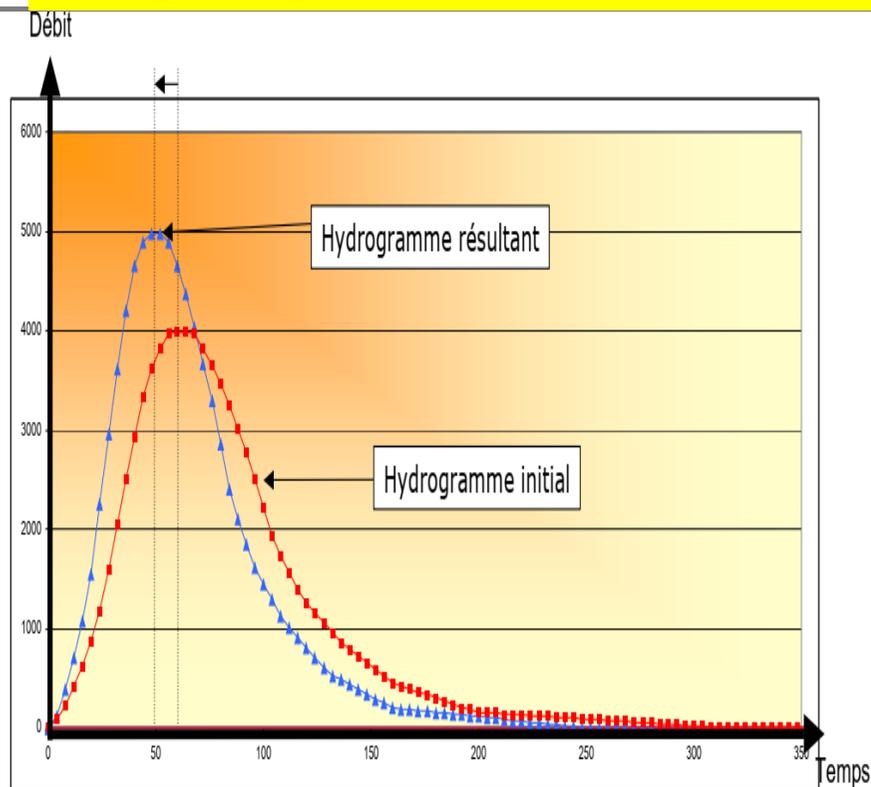
**A aucun moment la totalité du bassin versant ne participe en même temps à l'écoulement à l'exutoire.**

**Si la durée de la pluie > le Temps de concentration**



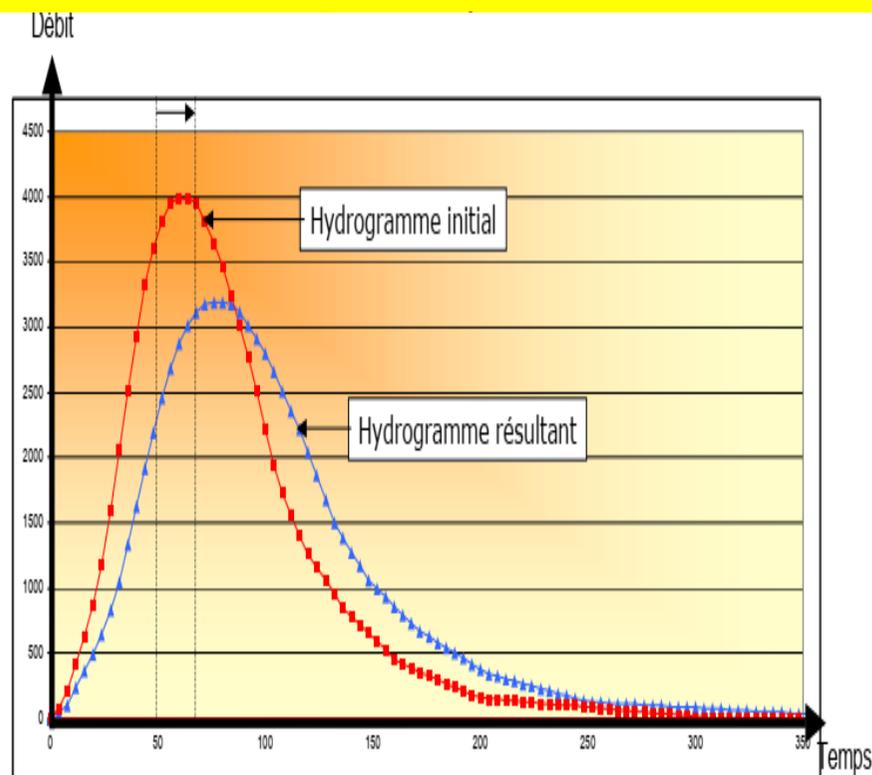
**La pluie tombée après la durée du  $T_C$  ne contribue plus à augmenter le débit à l'exutoire mais accroît le volume ruisselé.**

## Le principe du transit maximum



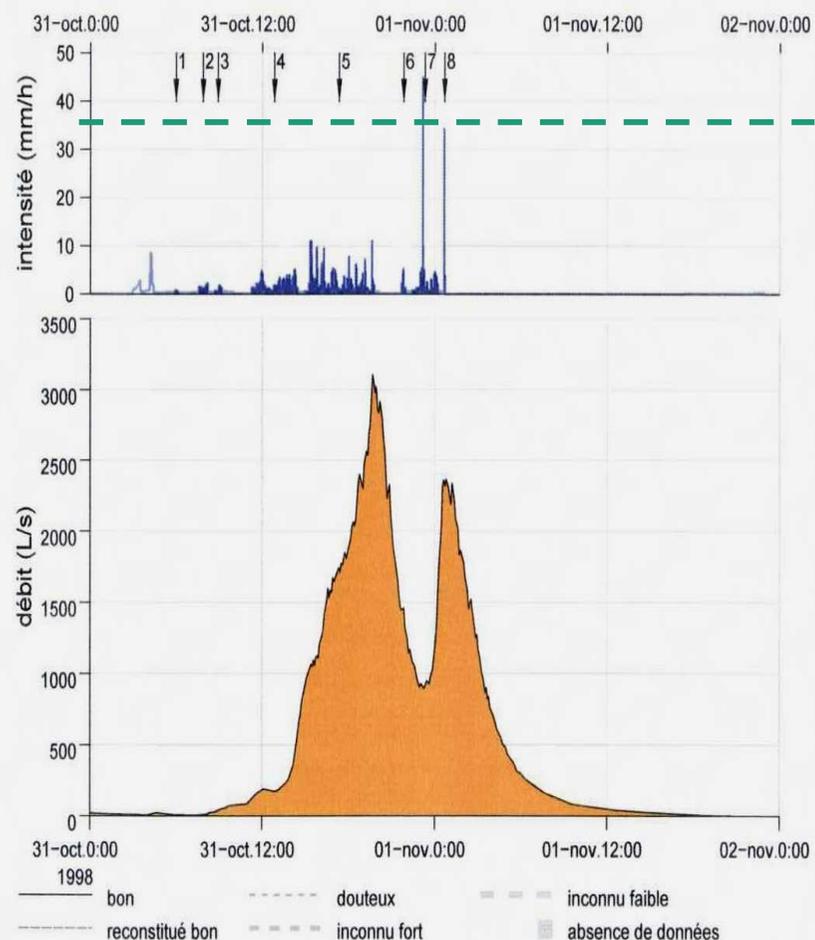
**A même volume écoulé, l'accélération des ruissellements diminue le temps de transfert (TC) et augmente donc la pointe de la crue.**

## Le principe du ralentissement



**A même volume écoulé, le ralentissement des ruissellements augmentent le temps de transfert et diminuent donc la pointe de la crue**

### 2.17.3 données de l'événement du 31/10/1998 19h42



## La réalité est souvent plus complexe

caractéristiques du ruissellement :

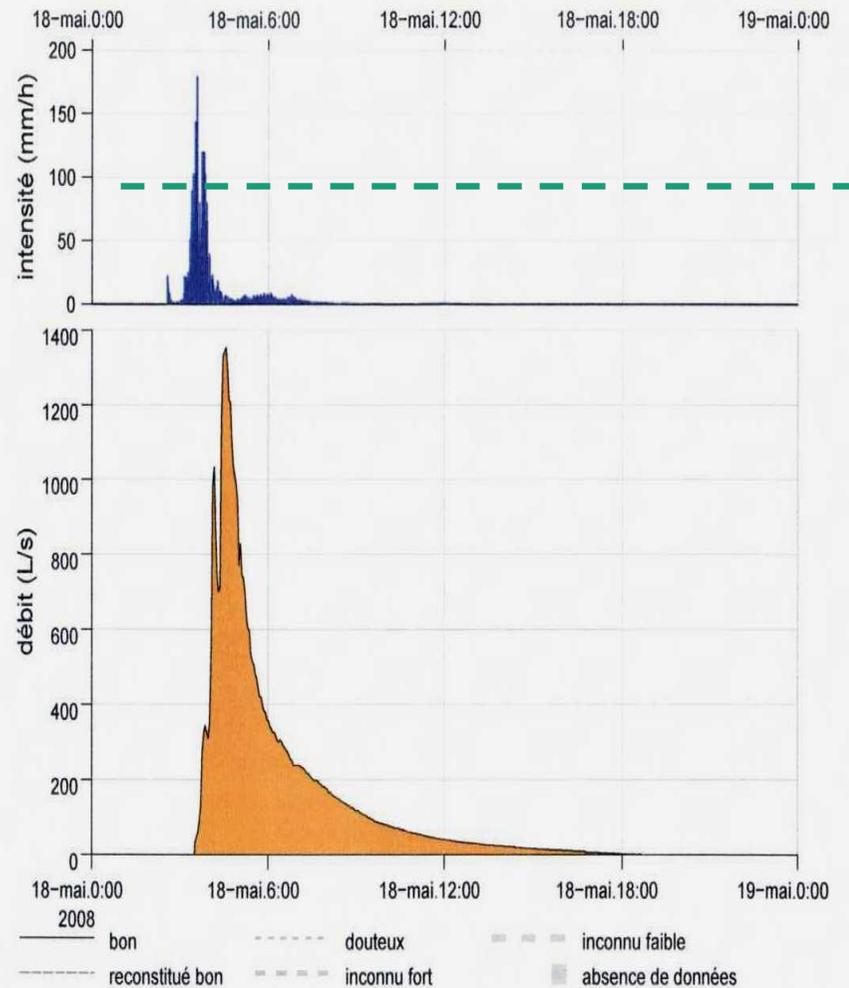
date de début	31/10/1998 07h26
date du débit de pointe	31/10/1998 19h42
date de la fin	01/11/1998 21h20
débit de pointe instantané ( $L \cdot s^{-1}$ )	3110
volume total ruisselé ( $m^3$ )	90143
lame ruisselée (mm)	8,158
qualité de la donnée	bon

caractéristiques de la pluie :

début de la pluie	31/10/1998 05h49
fin de la pluie	01/11/1998 00h41
hauteur de la pluie génératrice (mm)	28,6
cumul de pluie sur 10 jours (mm)	140,6
qualité de la donnée	bon
valeur synthétique :	
coefficient de ruissellement	0,285

## La réalité est souvent plus complexe

2.81.3 données de l'événement du 18/05/2008 04h34



caractéristiques du ruissellement :

date de début	18/05/2008 03h30
date du débit de pointe	18/05/2008 04h34
date de la fin	18/05/2008 18h40
débit de pointe instantané ( $L \cdot s^{-1}$ )	1355
volume total ruisselé ( $m^3$ )	9379
lame ruisselée (mm)	0,849
qualité de la donnée	bon

caractéristiques de la pluie :

début de la pluie	18/05/2008 02h34
fin de la pluie	18/05/2008 09h00
hauteur de la pluie génératrice (mm)	67,6
cumul de pluie sur 10 jours (mm)	81,4
qualité de la donnée	bon

valeur synthétique :

coefficient de ruissellement	0,013
------------------------------	-------

# Facteurs déterminant la forme de l'hydrogramme

Pour tenter de se rapprocher de la réalité. Il faut être attentif aux :

## a. Facteurs liés aux précipitations :

Les précipitations influencent par:

- La nature des précipitations: liquides (pluie); solide (neige);
- L'intensité et la durée de l'averse;
  - Pour une durée donnée, plus l'intensité est grande plus le volume ruisselé et le débit maximal sont élevés.
  - Pour une intensité donnée, plus la durée est longue plus le temps de base de l'hydrogramme est long et le débit de point tend vers un débit d'équilibre:

$$Q_e = I * A$$

Avec:  $Q_e$  : Débit d'équilibre;

I: Intensité,

A: Surface du bassin versant.

- La distribution spatiale et temporelle des précipitations;
- La direction de l'averse.

## **b. Facteurs liés aux Caractéristiques du bassin**

Le ruissellement représente l'effet intégré de toutes les caractéristiques du bassin :

- ✓ La surface du bassin,
- ✓ La forme,
- ✓ La pente,
- ✓ Le réseau hydrographique.

## **c. Le sol**

Il intervient par :

- ✓ Le couvert végétal (capacité d'infiltration plus élevée),
- ✓ La perméabilité,
- ✓ Le profil géologique du sol.

## **d. Le climat**

Il intervient essentiellement par la température et les précipitations antérieures

# Séparation des différentes composantes d'un hydrogramme

---

L'analyse d'un hydrogramme de crue commence par la séparation des différentes composantes notamment, l'écoulement de base, l'écoulement hypodermique et le ruissellement pur.

Il n'existe pas de méthode analytique spécifique pour effectuer cette séparation. Les méthodes utilisées sont approximatives et arbitraires.

On se base sur la forme exponentielle de la courbe de décrue pour déduire les **points limitant un écoulement par rapport à l'autre.**

L'hypothèse de base est que *les écoulements ont des temps de réponse différent.* **Lorsque l'écoulement excédentaire cesse, l'écoulement de base se prolonge plus après l'arrêt de l'écoulement hypodermique.**

Si la décrue peut être représentée par la fonction:  $Q_t = Q_0 e^{-at}$

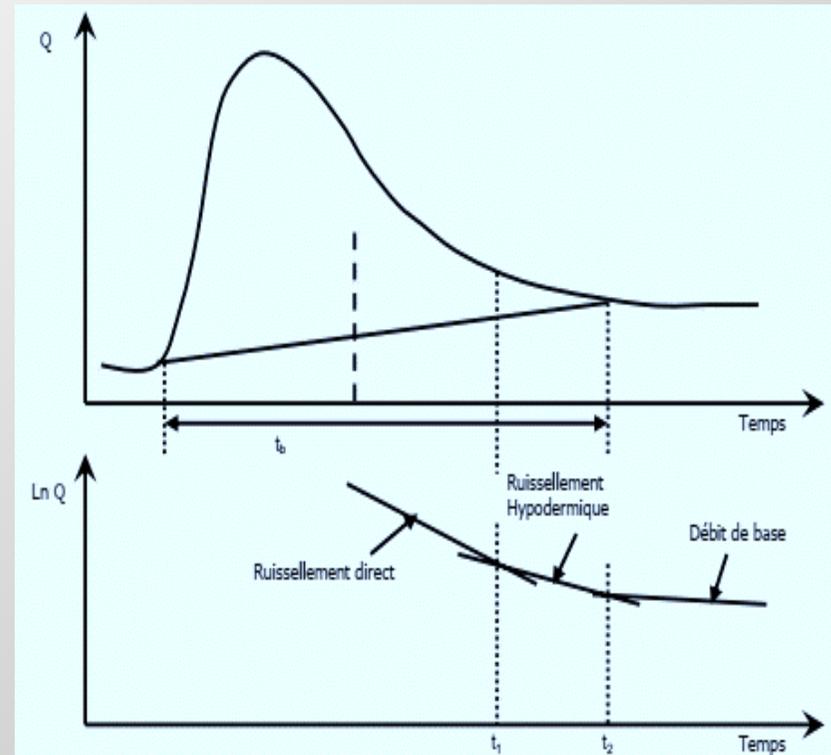
# Séparation des différentes composantes d'un hydrogramme

Nous pouvons déduire qu'en coordonnées semi logarithmiques, les courbes de décrue de chacune des composantes (ruissellement direct, écoulement de base, écoulement retardé) sont approximativement représentées par des droites de pentes différentes.

$$\ln(Q_t) = f(t) = \ln(Q_0) - at$$

On aura alors sur le tracé de la courbe autant de cassures que d'effets d'autres composantes.

La séparation des différentes composantes d'un hydrogramme se fait par le biais de trois méthodes approximatives.



**Fig.** Identification des différents écoulements

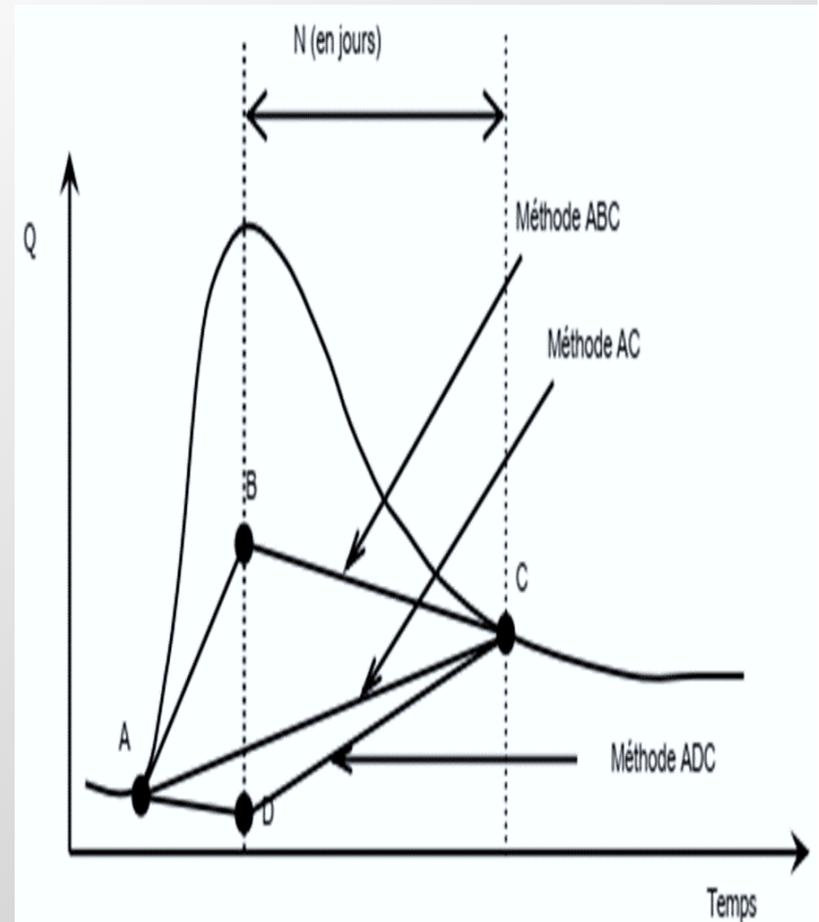
## Hypothèse

Soit le point 'C', point de cassure déterminé à partir du tracé  $\ln(Q_t) = f(t)$

Supposons que C représente le début du tarissement et la fin de l'écoulement de surface.

Soit 'A', le point de montée de l'hydrogramme.

La figure illustre le mode d'application des trois méthodes de séparation.

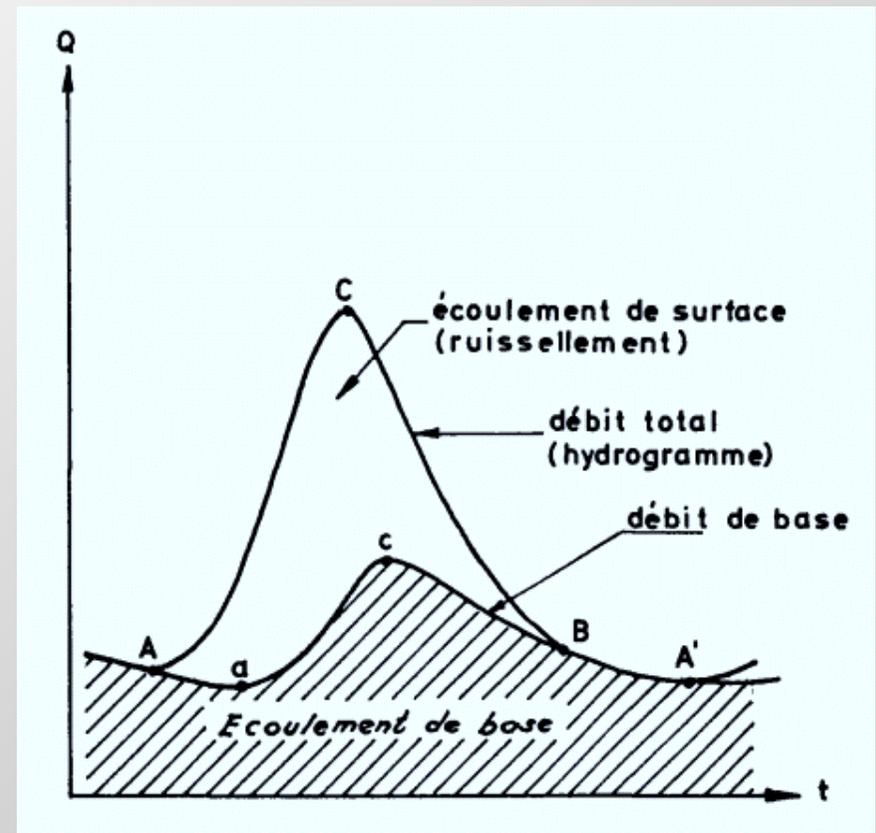


**Fig.** Méthode de séparation de l'écoulement de base

## Méthode ABC

Elle consiste à prolonger la courbe de tarissement de l'écoulement de base au dessous de la pointe de l'hydrogramme (point B).

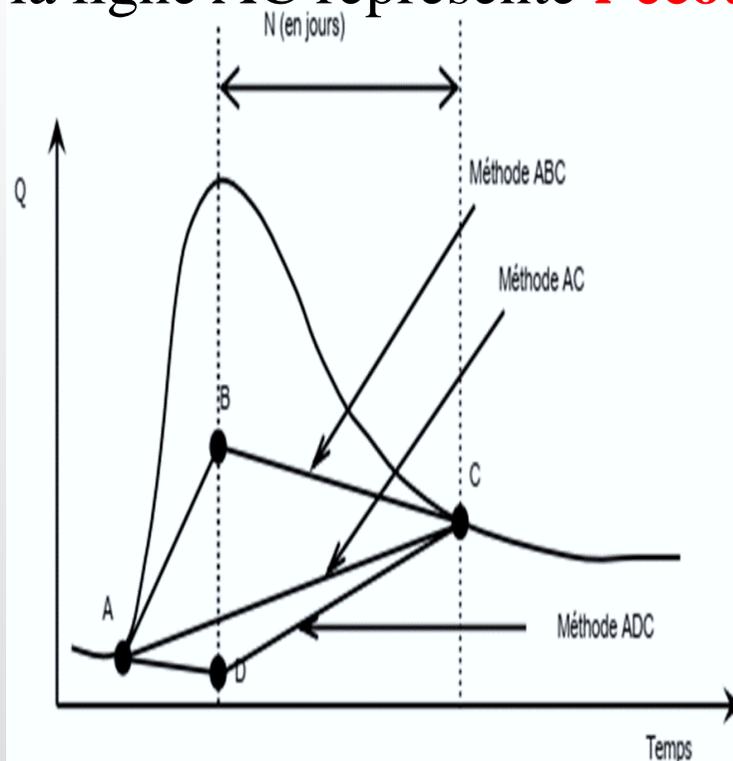
La partie au dessus des lignes (ACB) représente le volume **de l'écoulement de surface**.



## Méthode AC

Cette technique consiste à tracer une droite reliant les points A et C. l'aire au dessus de la ligne AC et l'hydrogramme représente **le volume de l'écoulement de surface.**

Celle en bas de la ligne AC représente **l'écoulement de base.**



**Fig.** Méthode de séparation de l'écoulement de base

## Méthode ADC

Elle consiste à prolonger la courbe de tarissement avant le début de la crue (avant le point A) jusqu'au point 'D' situé sous la pointe.

On peut procéder de la même manière pour séparer le ruissellement direct de l'écoulement hypodermique s'il existe.

Pour la détermination du **ruissellement pur**, généré par la **pluie nette**, il faudra soustraire à chaque instant  $t$ , des coordonnées de l'hydrogramme total ceux des écoulements séparés (écoulement de base et hypodermique, s'il existe).

L'hydrogramme de **ruissellement pur** est limité dans le temps et se termine par un **débit nul**. Son volume correspond à la **lame d'eau nette** écoulee.

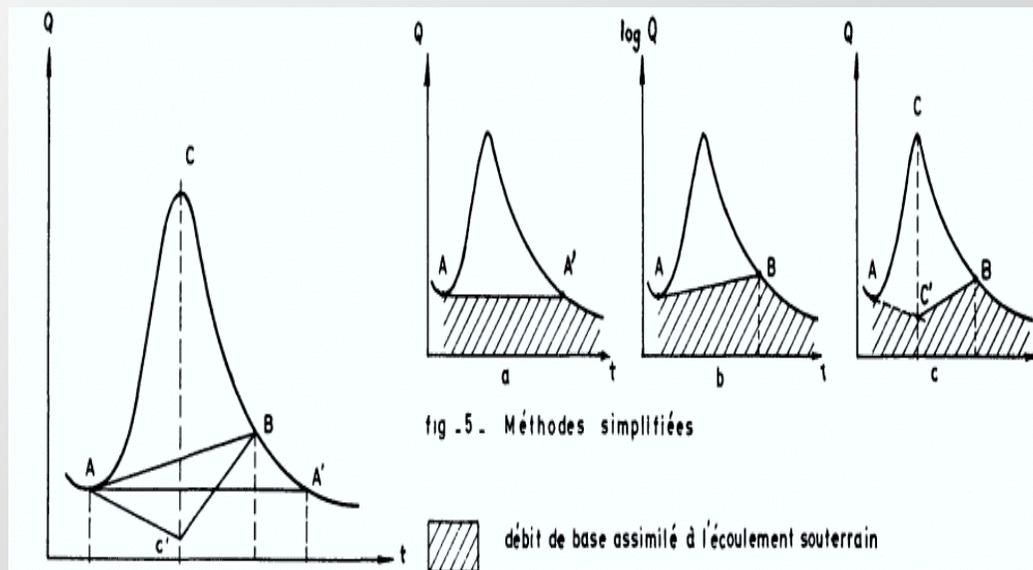


fig .5- Méthodes simplifiées

▨ débit de base assimilé à l'écoulement souterrain

# *Méthodes de calcul du débit de crue*

---

Une crue est caractérisée par :

- Son débit maximal ou pointe de la crue,
- Sa durée et la durée de ses différentes phases notamment le temps de base et le temps de montée,
- Son volume,
- Son hydrogramme.

Les méthodes de calcul doivent être aux mesures et informations disponibles concernant la crue. Elle doivent aussi prendre en considération l'importance des aménagements à mettre en place et l'importance des valeurs socio-économiques des biens que l'on souhaite protéger.

De manière générale, les méthodes de calcul utilisées peuvent être classées en trois catégories selon le niveau de disponibilité de données sur la zone d'étude

# I. Les méthodes approximatives

✚ **1<sup>er</sup> Cas (Pas ou peu de données disponibles)** : Elles ne fournissent que des ordres de grandeur difficilement probabilisables (méthodes analogiques, régionales, empiriques ou pseudo-empiriques)

## 1. Les méthodes analogiques

Lorsque l'on ne dispose pas de données hydro-météorologiques sur la zone d'étude, il est possible de procéder à une étude hydrologique sur un ou plusieurs bassins analogues pour lesquels les données sont disponibles. Les résultats obtenus peuvent être alors transposés sur le bassin initial, moyennant des règles de transfert à établir.

L'analogie hydrologique doit respecter certaines règles et critères :

- La morphologie des bassins versants '*analogues*' : ce sont essentiellement les paramètres de pente, orientation, densité de drainage, type de couverture végétale, pédologie,
- La situation géographique : latitude, longitude et altitude,
- Les aménagements réalisés sur les bassins versants '*analogues*',
- Les caractéristiques physiques : telles que la surface, la longueur, la largeur, la forme, etc.

La qualité des résultats acquis de cette manière sur le bassin versant initial dépend fortement de la qualité de l'analogie établie.

## 2. Les méthodes régionales

---

Elles consistent à réaliser le transfert d'un ou de plusieurs paramètres régionaux estimés pour un bassin jaugé, au bassin concerné. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées à cet effet.

$$Q / Q_0 = (A / A_0)^{1-(k/10)}$$

La formule empirique régionale de Francou Rodier:

Ou:

$Q_0$ : est le débit maximal d'une crue observée dans un bassin de superficie  $A_0$ .

$k$ : Paramètre régional, appelé aussi paramètre de Francou Rodier.

La première étape consiste à calculer le paramètre  $K$ , connaissant le débit  $Q$  pour une période de retour  $T$ , dans un bassin jaugé de superficie  $A$ .

Le débit  $Q$  peut être calculé par une étude statistique appliquée aux données observées dans le bassin ou par une autre méthode telle que la méthode du Gradex ou la méthode rationnelle.

---

Le choix de la méthode dépendra des données disponibles sur le bassin jaugé.

La deuxième étape du calcul consiste à utiliser la même valeur du paramètre  $K$  pour calculer le débit de crue dans le bassin analogue non jaugé de superficie  $A_0$ .

Il faut noter que cette méthode n'a de sens que si une étude de comparaison entre les deux bassins versant a été effectuée et a permis de conclure qu'on peut les considérer 'homogènes'.

## II. Les méthodes empiriques

---

### 2<sup>ème</sup> Cas (*Données concomitantes de pluies et de débits 'au même pas de temps*) :

Il existe un grand nombre de formules empiriques, en général, mises au point pour une région donnée ; leur utilisation doit être faite avec beaucoup de prudence.

Les formules empiriques sont de diverses nature, en fonction du type de données disponibles sur le bassin versant. Il est possible de les classer selon leur degré de complexité.

# 1. Formules empiriques utilisant uniquement les caractéristiques du bassin versant

La formule générale est:  $Q_{\max} = f(c_1, c_2, \dots, c_n, A)$ .

Avec:

$c_1, c_2, \dots, c_n$ : Coefficients exprimant les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant,

A: Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>),

$Q_{\max}$ : Débit maximal du bassin versant.

La plupart des formules empiriques donnant les débits maxima Q (m<sup>3</sup>/s) en fonction de la superficie du bassin versant s'apparentent à la formule de Myer:  $Q = C * A^\alpha$ .

Où :

C : coefficient appelé 'cote Myer' déterminé en fonction des caractéristiques du bassin et en particulier de sa pente moyenne,

$\alpha$  : exposant généralement.

Parmi les formules applicables aux bassins de petite taille on peut citer:

Formule	Conditions d'application	
<b>Formule de Lauterburg</b> $Q_{\max} = \alpha \cdot \frac{1120}{31 + A}$	Pour $1 < A < 500 \text{ Km}^2$	$\alpha$ : coefficient exprimant à la fois la pente du bassin versant, le type de sol et la végétation
<b>Formule de Melli</b> $Q_{\max} = \varphi \cdot \frac{18,5}{\sqrt[6]{A}}$	Pour $1 < A < 500 \text{ Km}^2$	$\varphi$ : coefficient dont la valeur moyenne est 0,4.
<b>Formules empiriques faisant intervenir le temps de retour</b>		
<b>Formule de Fuller</b> $Q(T) = Q_1(1 + \log(T))$		$Q(T)$ : débit moyen journalier de crue de temps de retour T ; $Q_1$ : valeur moyenne des débits maxima $Q_{\max}$ de chaque année ; T : temps de retour considéré
<b>Formule de Coutagne</b> $Q_{\max}(T) = Q_0(1 + K\sqrt{\log(T)})$		$Q_{\max}(T)$ : débit de pointe de temps de retour T ; ; $Q_0$ : débit de pointe de temps de retour T=1 an ; T : temps de retour considéré. Le coefficient K varie de 1,82 à 1,4.

## *2. Formules empiriques utilisant les caractéristiques du bassin versant et les précipitations*

---

La formule générale est:  $Q_{\max} = f(c_1, c_2, \dots, c_n, A, P)$ .

Avec:

$c_1, c_2, \dots, c_n$ : Coefficients exprimant les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant,

P: Paramètre tenant compte de la précipitation,

A: Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>),

$Q_{\max}$  : Débit maximal du bassin versant.

On peut citer dans cette catégorie :

Formule	Conditions d'application	
<p><b>Formule de Iskowski</b></p> $Q_{\max}\left(\frac{m^3}{s}\right) = \lambda \cdot m \cdot P \cdot A$		<p><math>\lambda</math> : coefficient caractérisant la morphologie du bassin versant (<math>0,017 \leq \lambda \leq 0,8</math>) ;  <math>m</math> : coefficient reflétant la grandeur du bassin versant ;  <math>P</math> : Pluviométrie annuel moyen (en mm) ;  <math>A</math> : superficie du bassin versant (en km<sup>2</sup>)</p>
<p><b>Formule de Possenti</b></p> $Q_{\max}\left(\frac{m^3}{s}\right) = \frac{\lambda \cdot P_{24}}{L} \left( A_m + \frac{A_p}{3} \right)$		<p><math>\lambda</math> : coefficient caractérisant la longueur du cours d'eau principal (compris entre 700 et 800) ;  <math>P_{24}</math> : pluie maximale (en m) d'une durée de 24h ;  <math>L</math> : longueur du cours d'eau principal (m)  <math>A_m</math> : surface (en km<sup>2</sup>) de la partie montagneuse ;  <math>A_p</math> : surface (en km<sup>2</sup>) de la partie plate.</p>

### ***3. Formules empiriques utilisant les caractéristiques du bassin versant, les précipitations, les ruissellement et le temps de concentration:***

---

La formule générale est:  $Q_{\max} = f(c_1, c_2, \dots, c_n, A, P, T_c)$ .

Avec:

$c_1, c_2, \dots, c_n$ : Coefficients exprimant les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant,

P: Paramètre tenant compte de la précipitation,

A: Superficie du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ),

$T_c$ : Le temps de concentration.

$Q_{\max}$ : Débit maximal du bassin versant.

On peut citer:

---

### *Formule de Turazza*

$$Q = (C_r * H * A) / (3.6 * T_c)$$

Où :

$C_r$  : Coefficient de ruissellement du bassin versant ;

$H$  : Hauteur totale maximale (en mm) des précipitations pendant une durée égale à  $T_c$  ;

$A$  : superficie du bassin versant ;

$T_c$  : temps de concentration (en heures).

### **III. Méthodes pseudo-empiriques**

#### **+ Données existantes de pluies et / ou de débits :**

Elles se distinguent des méthodes empiriques en raison d'un certain degré de conceptualité et d'une mise en application faisant appel à de réels résultats de mesure. Par contre, la nature de certains coefficients ou la manière dont ceux-ci ont été déterminés peut être empirique. Parmi ces méthodes la plus connue est la méthode rationnelle.

#### **1. Formule rationnelle**

Avec : 
$$Q = 0.278 * C_r * i * A$$

$C_r$  : coefficient de ruissellement,

$i$  : intensité de la pluie pour une durée  $t$  donnée ou choisie en fonction du temps de concentration (mm/h),

$A$  : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>),

$Q$  : débit (m<sup>3</sup>/s).

Si la durée de la pluie est égale au temps de concentration, le débit obtenu est le débit maximal. L'application de cette méthode nécessite l'identification des différents coefficients qui la caractérisent. Notamment, le temps de concentration, le coefficient de ruissellement et l'intensité.

### 1- Le temps de concentration

#### Formule de Ventura

$$T_c = 76,3 \cdot \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{I}}$$

$T_c$  : temps de concentration (min) ;  
 $A$  : superficie u bassin versant (km<sup>2</sup>) ;  
 $I$  : pente moyenne du bassin (%).

#### Formule de Kirpic

$$T_c = 0,0195 \cdot \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

$L$  : longueur du cours d'eau principal (m);  
 $S$  : pente du cours d'eau principal (%)  
 $T_c$  : temps de concentration (min)

#### Formule de Turazza

$$T_c = 0,0529 \cdot A \left( \frac{L}{S} \right)^{1/3}$$

$A$  : surface du bassin (km<sup>2</sup>) ;  
 $L$  : longueur du cours d'eau principal (km);  
 $S$  : pente du cours d'eau principal (m/km) ;  
 $T_c$  : temps de concentration (heures)

#### Formule de Giandotti

$$T_c = \frac{4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot h^{0,5}}$$

$A$  : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;  
 $L$  : longueur du cours d'eau principal (km) ;  
 $h$  : différence entre l'altitude moyenne du bassin et celle à l'exutoire (m) ;  
 $TC$  : temps de concentration (heures).

## 2. Coefficient de ruissellement

Il dépend essentiellement du type de sol, de sa couverture végétale et de la pente du bassin. Le tableau ci-dessous indique quelques valeurs de ce coefficient.

$$C_r = \text{Pluie (mm)} / \text{Ruissellement (mm)}$$

**Tableau: Quelques valeurs du coefficient de ruissellement**

Type de surface	Pente	Coefficient de ruissellement
Sols à texture sableuse	< 2	0.05 – 0.10
	2 – 7	0.10 – 0.15
	> 7	0.15 – 0.20
Sols à texture lourde	< 2	0.13 – 0.15
	2 – 7	0.18 – 0.22
	> 7	0.25 – 0.35

---

Le coefficient de ruissellement est considéré constant dans le temps et dans l'espace. Ceci peut conduire à une sous estimation du volume ruisselé puisque la capacité d'infiltration est supposée rester constante dans le temps tandis qu'en réalité, elle diminue.

Il est plus correct de considérer une valeur globale du coefficient de ruissellement calculée en découpant le bassin versant en zones homogènes, chacune ayant un coefficient de ruissellement 'c<sub>i</sub>' et une superficie 'a<sub>i</sub>' :

$$C_r = \frac{\sum c_i a_i}{\sum a_i}$$

### 3. L'intensité 'i'

---

La méthode rationnelle nécessite le calcul de la pluie de fréquence donnée et de durée égale au temps de concentration. Pour cela il faudrait suivre les étapes suivantes :

- Dépouiller les enregistrements pluviométriques et constituer un échantillon de pluie maximale de durée égale au temps de concentration du bassin.
- Ajuster une loi de probabilité théorique à cet échantillon et en déduire la valeur de la pluie moyenne maximale correspondant à la fréquence 'F' choisie. La loi de Gumbel est la plus utilisée.

Dans le cas où l'on ne dispose pas d'enregistrements pluviographiques à proximité du site étudié, mais il existe un poste pluviométrique ayant fourni des relevés de pluies en 12h ou 24h, la procédure de calcul de l'intensité sera comme suit :

- Constituer un échantillon de précipitations maximales journalières (ou de 12h),
- Ajuster une loi théorique à cet échantillon et en déduire la valeur de la pluie journalière (ou de 12h) maximale correspondant à la fréquence choisie  $P_{j_{\max}}(F)$ .
- A partir de  $P_{j_{\max}}(F)$ , effectuer le passage aux pluies maximales pour le temps de concentration 't<sub>c</sub>', selon les relations régionales liant  $P_{j_{\max}}$  à la pluie en n heures:

$$\frac{P_t(F)}{P_{t_{\max}}(F)} = At^{B(T)} \text{ OU } \frac{P_t(F)}{P_{t_{\max}}(F)} = \left(\frac{t}{j}\right)^{b(T)}$$

A, B, b sont des paramètres régionaux,

$j = 12\text{h}$  ou  $24\text{h}$ ,

T : temps en heures, pour lequel on cherche la pluie de fréquence F.

## ✚ Paramètres fondamentaux du cours d'eau

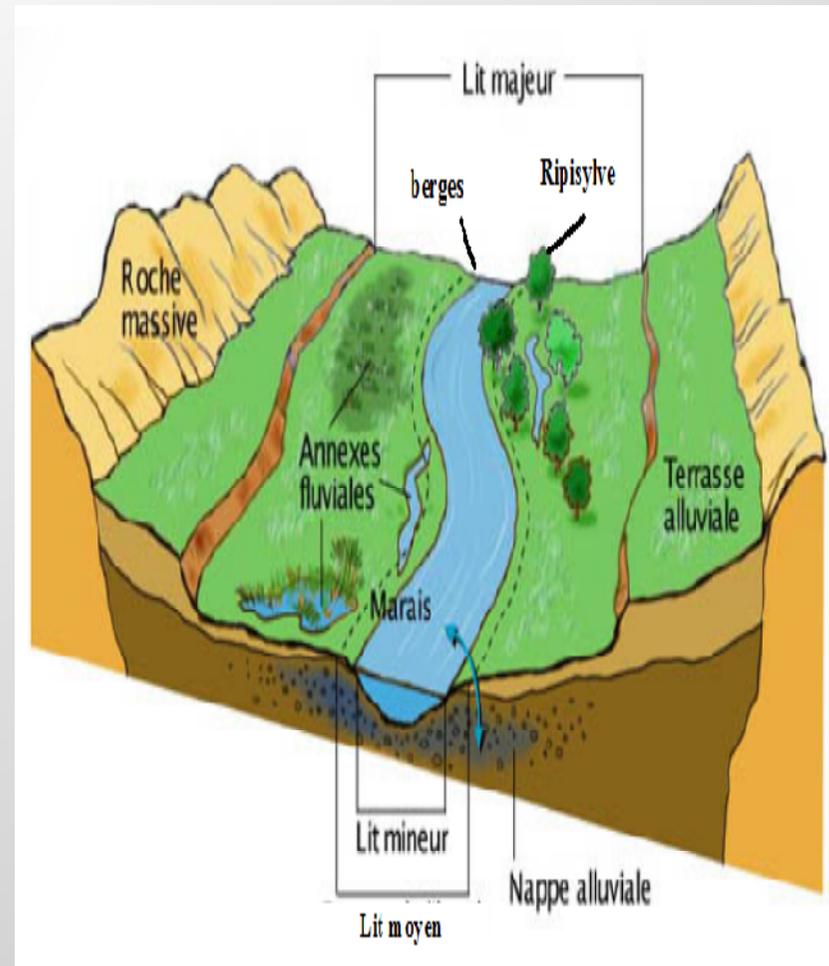
**A. Lits du cours d'eau:** Le lit d'une rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions soient fortement liées aux régimes hydrologiques

**B. Rives – berges:** La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre.

**C. Ripisylve:** C'est la formation végétale naturelle située sur la rive.

### **D. Alluvions et substratum :**

Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Elles recouvrent le substratum qui est une couche formée d'une roche dure ou plus ou moins tendre (schistes, grés, marnes...).

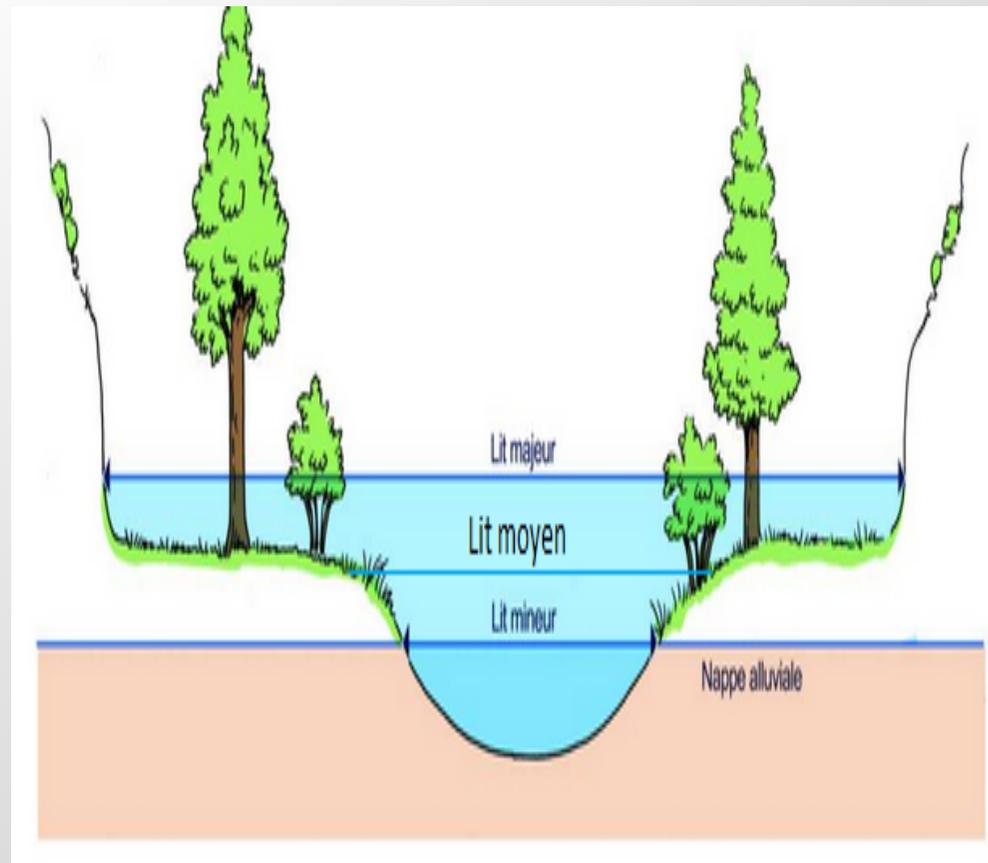


## A. lit de cours d'eau

**1.Lit mineur** : qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles comprise entre un an a deux ans).

**2.Lit moyen** : Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve.

**3.Lit majeur** : comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.



**Par définition l'Inondation** désigne un recouvrement d'eau qui déborde le **lit mineur**. C'est une submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières,...etc.) ou salées (submersion marine, tsunami,...etc.).

### ***Causes et origines des inondations***

Elles sont causées par plusieurs facteurs, dont on cite :

✚ ***Causes d'origine naturelle:*** elles correspondent aux phénomènes météorologiques et climatiques tels que: pluies exceptionnelles, orages violents, pluies torrentielles, fonte des neiges,...etc.

✚ ***Causes d'origine humaine directe:*** elles consistent dans la modification du système fluvial des cours d'eau ou de leurs caractéristiques morphologiques (largeur, longueur, pente, etc.) par la construction d'ouvrages hydrauliques, le drainage, l'irrigation, la dégradation des sols et l'agriculture intensive (accélère le ruissellement et limite l'infiltration).

✚ ***Causes d'origine humaine indirecte:*** elles sont liées à la pollution et le réchauffement climatique qui ont modifié les conditions climatiques du monde entier. L'émission de gaz à effet de serre provoque la fonte des glaciers des pôles (nord et sud), ceci entraîne la montée du niveau des océans et des cours d'eau ainsi que la procréation de cyclones d'intensité importante.

## ***Risques majeurs – inondations***

---

Les types de risques auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en cinq familles :

❖ **Risques naturels** : mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique ; Destruction des cultures. Pertes animales. Contaminations des eaux....etc.

❖ **Risques Socio-économique** : Destructions des infrastructures. Baisse d'emploi a long terme. Menace le développement des villes et des villages. Migration. Pertes financières.

❖ **Risques de la vie quotidienne** : Décès. Propagation des maladies infectieuses et psychologiques. Manque d'hygiène. Blessures physiques. Malnutrition. accidents de la route...etc.

❖ **Risques liés aux conflits**

---

L'Algérie est un des pays confrontés aux phénomènes d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes et provoquent d'importants dégâts humains et matériels.

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes naturelles dont les effets sont souvent intensifiés par d'autres facteurs qui aggravent les effets des crues, ces événements dramatiques engendrant souvent des bilans lourds de dégâts humains et matériels ne sont pas toujours liées à des situations météorologiques exceptionnelles et surviennent dans beaucoup de régions suite à des épisodes pluvieux saisonniers et n'ayant rien d'exceptionnel:

**Les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus dévastatrices en Algérie sont dues aux inondations**

**Le risque inondation est un croisement entre la  
vulnérabilité et l'Aléa**

**Un Relief –Réseau hydrographique dense et mal entretenu - Volumes écoulés mal répartis**

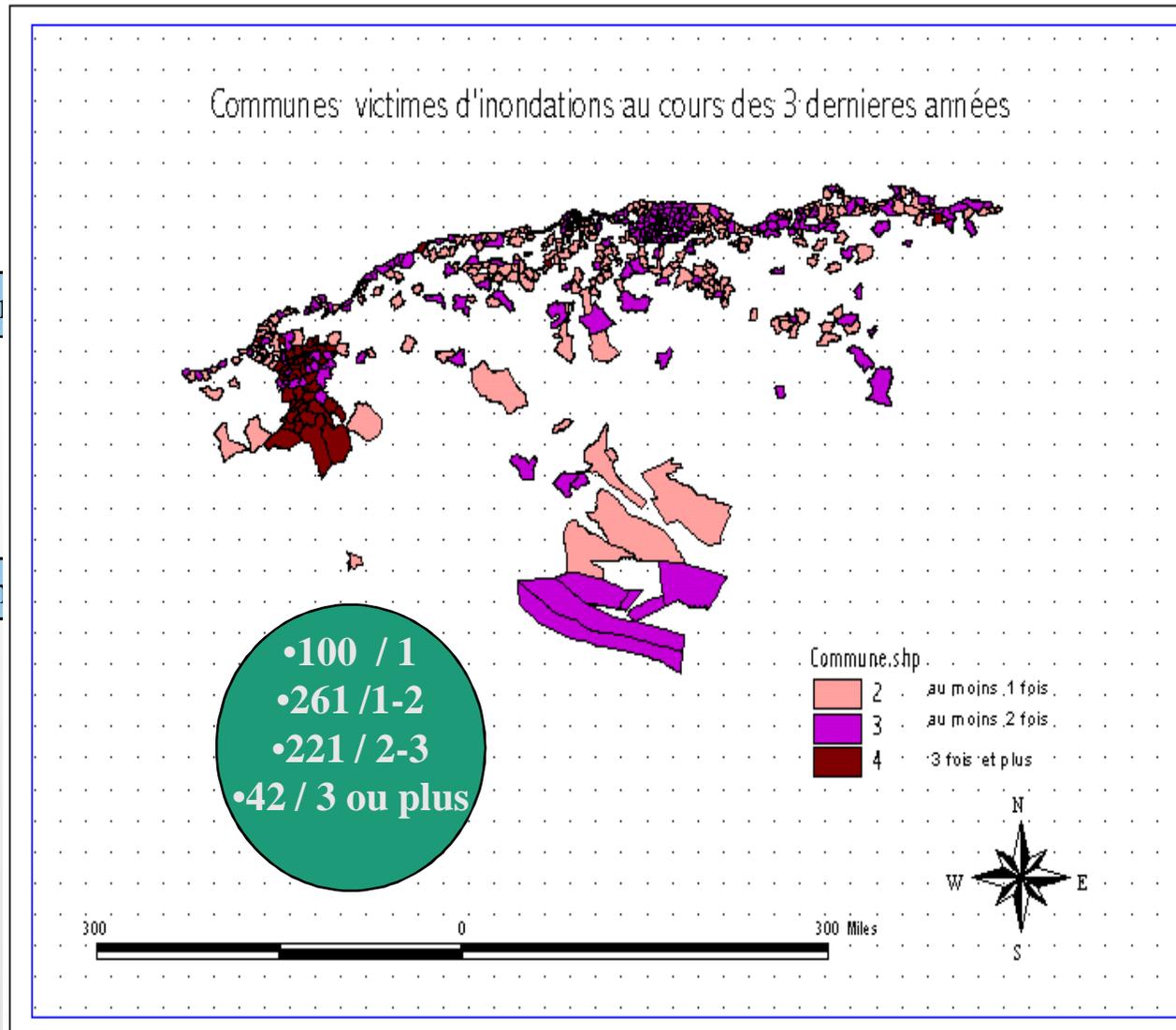
**Pluies maximales journalières decennales inter annuelles sont importantes sur le nord**

**Végétation faible –Agglomération concentrée au nord (+urbanisation anarchique)**

**conséquence:**

Bassins non e

Bassins en



## **Vulnérabilité**

*Lié exclusivement à l'occupation du sol et sa tolérance aux inondations*

- Déforestation intensive,
- Urbanisation anarchique (occupation des rives immédiates des cours d'eau.....)
- Défaillances des réseaux de collecte des eaux pluviales,
- Défaut d'entretien des lits d'oueds (absence d'hierarchie du réseau hydrographique).

## **Aléa**

*Conséquence des événements hydro-météorologiques*

Probabilité d'occurrence de l'inondation

- Période de retour,
- Hauteur et la durée de la submersion,
- Vitesse de l'écoulement,
- Torrentialité des cours d'eau.

**S'il y a dégâts donc Aléa est exceptionnel ou la vulnérabilité a augmentée.**

## **Gestion du phénomène**

### *Gestion des crues et inondations*

- Diminuer les aspects favorisant précités,
- Ne pas privilégier systématiquement la réduction des zones inondables mais la répartition des volumes dans le bassin versant pour une bonne protection des biens et de la ressource.

### *Gestion du risque*

- Faire de la prévision météorologique.
- Faire de la prévision des crues.
- De la prédiction par des bulletins et autres moyens audiovisuels
- Faire de l'information préventive (affichages et panneaux)

- ***Prévoir des scénarios de secours***
- ***Prévoir des scénarios d'évacuations***
- ***Cellules de crises et d'informations***

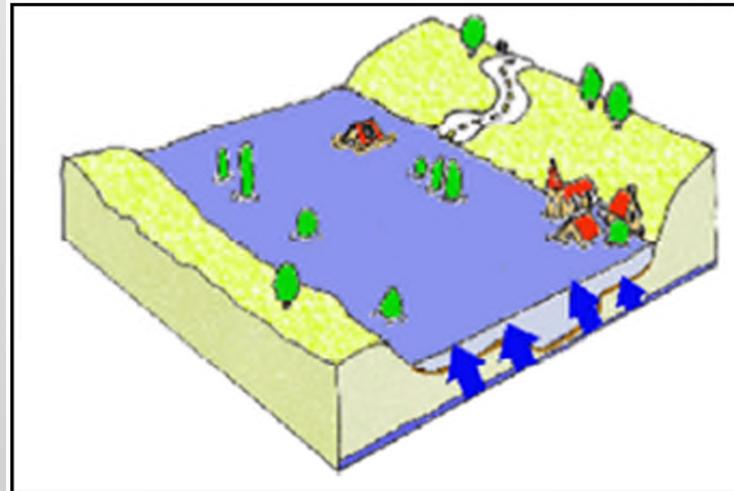
# Différents types d'inondations

On distingue plusieurs types d'inondations provoquées par le débordement des cours d'eau et des rivières.

## 1. Inondations des plaines

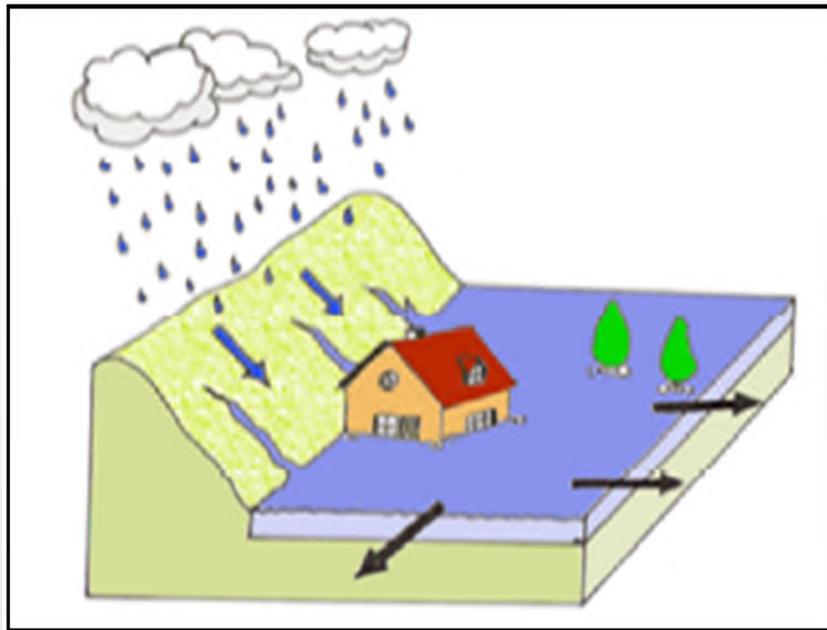
Elles se traduisent par le débordement d'un cours d'eau qui sort de son lit habituel (lit mineur) et regagnant son lit majeur.

Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive que la nappe (masse d'eau contenue dans le sol) affleure le terrain et qu'une inondation spontanée se produise. On parle alors d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines.



## 2. Ruissellement pluvial

Il se manifeste soit en zone urbaine fortement imperméabilisée, soit en milieu rural avec érosions superficielles.



### 3. Inondations par crues torrentielles

Elles résultent de l'accélération du débit d'un cours d'eau suite à de fortes précipitations (des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant).

Elles se caractérisent par une montée rapide des eaux, une vitesse d'écoulement très élevée et une durée de submersion très courte. Ces crues demeurent, exceptionnelles et constituent un grave danger pour les populations.

Généralement le temps de concentration est inférieur à 12h ce qui rend parfois difficile l'information de la population.



## ***4. Inondation par submersion marine***

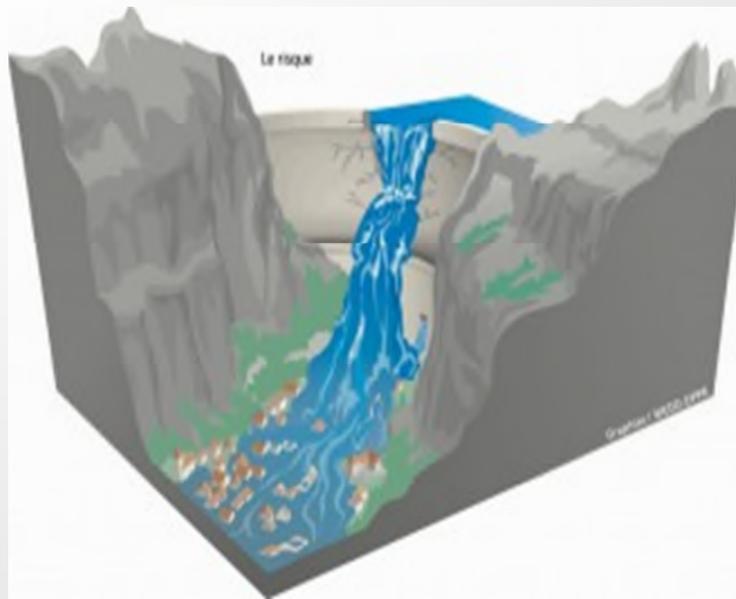
Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (fortes dépressions et vents de mer) et forts coefficients de marée.



## 5. Inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique

L'inondation causée par la destruction d'un ouvrage est un phénomène brutal et extrêmement dangereux.

Une rupture peut provoquer l'entrée d'un mur d'eau de plusieurs mètres de haut. Il est très difficile de prévoir la rupture d'un ouvrage de protection, ce qui rend la prévention de ce type **d'accident particulièrement incertaine.**



# ***Causes et types d'inondations catastrophiques en Algérie***

---

D'une manière générale les causes des inondations peuvent être classées en **trois types**:

1. Celles qui sont liées à des **situations météorologiques remarquables** se traduisant par une forte pluviosité (pluies importante, orages violents ) tels que :

- Les inondations de décembre 1957 et mars 1974 sur les bassins de l'Algérois et le Sebaou.

- Les inondations catastrophiques de Mars 1973 tout l'Est Algérien

.

- Les inondations de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie.

- Les inondations de Décembre 1984 sur tout l'Est Algérien etc.....

---

2. Celles liées à l'effet **de l'homme** (défaillances des différents réseaux, gonflement des oueds par les décombres ,l'urbanisation anarchique des rives immédiates des cours d'eau etc.....) telles que:

- Les inondations presque à chaque hiver de la ville de Tiaret.
- Les inondations de la plaine du M'Zab etc.....

3. les inondations produites dans des régions présentant un environnement **topographique défavorable**:

- Les villes traversées par des oueds (Oued Rhiou, Sidi-Bel-Abbes).
- Les villes situées au pied de montagne ( Ain Defla, Batna, Médéa).

Cette prédisposition associé à la forte concentration et l'effet d'urbanisation présentent de grands risques.

## *Inondations selon le type de crue (selon sa durée, son étendue et ces caractéristiques )*

1. Inondations engendrées par des **crues torrentielles** (crues éclaires) et affectant le plus souvent les petits bassins, elles sont dangereuses en raison de leur soudaineté. Leurs ruissellements rapides et violents peuvent intervenir quelques minutes après la pluie , **les débits d'oueds peuvent passer en temps record de quelques m<sup>3</sup>/s à plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/s (2 à 3h seulement)**. Inondation de la ville de Oued Rhiou le 20 octobre 1993 ou en 20 mn on a enregistré: 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus en plus des dégâts matériels importants

2. Inondations des **grands bassins versants**, elles résultent le plus souvent de précipitations importantes généralisées sur de grandes étendues et caractérisées par leur longue durée et la quantité de leur écoulement. Inondation du 28 au 31 mars 1974 dans la wilaya d'Alger et Tizi-Ouzou (688mm en 4 jours où on été enregistré à Tizi-Ouzou 52 morts, 4570 maisons détruites, 130 villages isolés, 18000 sinistrés et des dégâts matériels estimés à 27Millions de DA). les différents jaugeages de crues ont donné durant ces inondations :

-A Belloua sur Oued Sebaou ( $Q_{\max} = 2980 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $V=311\text{hm}^3$ )

-A Baghlia sur Oued Sebaou ( $Q_{\max} = 3420\text{m}^3/\text{s}$ ,  $V=476\text{hm}^3$ )

-A Lakhdaria sur Oued Isser ( $Q_{\max} = 2580\text{m}^3/\text{s}$ ,  $V=259\text{hm}^3$ )

# ***GENÈSE DES CRUES***

---

## ***Définition***

La crue définit les hautes eaux qui peuvent demeurer dans le lit mineur du cours d'eau. Dès que celui-ci ne suffit plus à contenir l'écoulement, l'eau déborde et se répand dans le lit majeur provoquant une inondation. Il peut donc y avoir une crue sans inondation.

La crue se caractérise donc comme une augmentation des eaux d'un cours d'eau tandis que l'inondation induit la notion de débordement et d'invasion d'un territoire.

---

## ***Types des crues***

- ❖ ***Les crues d'averses:*** Ce sont les crues les plus connus et plus répandues.
- ❖ ***Les crues de fonte de neige:*** Caractéristiques aux régimes climatiques neigeux. Elles sont liées à l'augmentation de température.
- ❖ ***Les crues d'embâcles :*** Généralement dues aux blocs de glaces ou troncs d'arbres qui s'accumulent formant des petits barrages et provoquant des Inondations à l'amont. La débâcle est l'effet de la rupture de ces petits Barrages résultant des inondations à l'aval.

# ***Facteurs influençant les crues***

---

## **❖ *Les facteurs naturels***

- La quantité, la répartition spatiale et temporelle des pluies par rapport au bassin versant sont des facteurs déterminants;
- La nature et l'occupation du sol qui influence le temps de concentration des eaux et la topographie du lit (pente et forme du lit).

## **❖ *Les facteurs anthropiques*** (c'est-à-dire non naturels, réalisés par l'Homme) :

- La suppression des champs d'expansion par l'urbanisation;
- Les digues et déversoirs mal entretenus exposent davantage au danger d'une rupture ;
- L'occupation du sol sur les pentes du bassin versant (déboisement, pratiques agricoles) peuvent empêcher la pénétration des eaux dans le sol et favoriser ainsi une augmentation du ruissellement.

# *La période de retour de crues*

---

La notion de crue est souvent associée à la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants.

Selon ce paramètre, on distingue :

- 1. Crue fréquente** : dont la période de retour est comprise entre un et deux ans ;
- 2. Crue moyenne** : dont la période de retour est comprise entre 10 et 20 ans ;
- 3. Crue exceptionnelle** : dont la période de retour est de l'ordre de 100 ans ;
- 4. Crue maximale vraisemblable** : qui occupe l'intégralité du lit majeur et dont la période de retour est proche du millénaire.

---

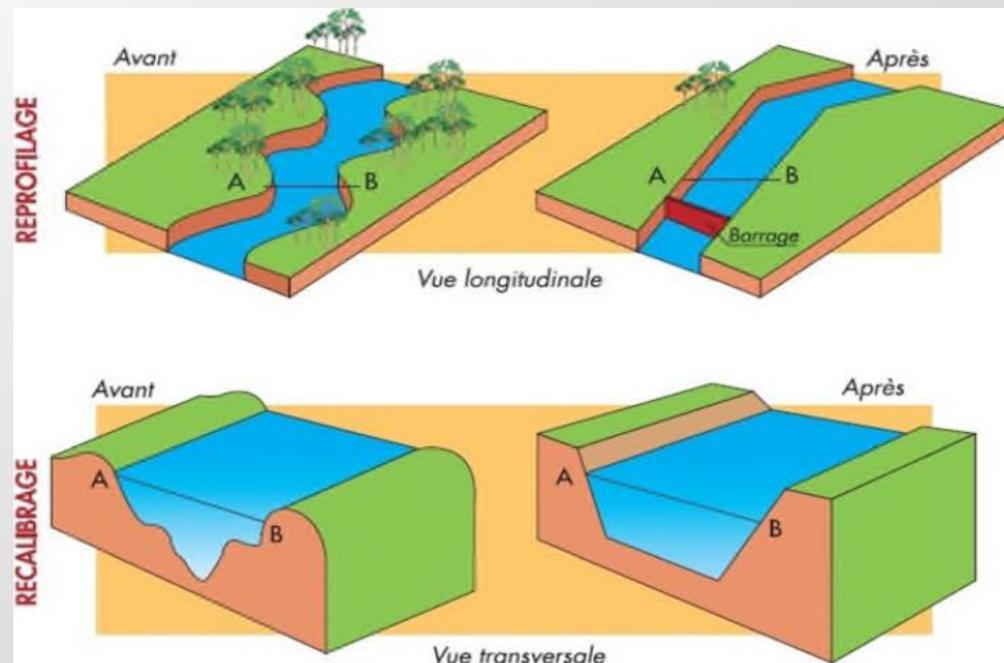
# ***PROCÉDÉS DE PROTECTION DES AGGLOMÉRATIONS CONTRE LES INONDATIONS***

L'objectif d'une stratégie de réduction de l'aléa est de réduire des eaux sur les zones comportant de forts enjeux humains et économiques à l'échelle du bassin versant

# Recalibrage du cours d'eau

Le principe du recalibrage consiste à augmenter la débitante du lit mineur en augmentant la section d'écoulement par élargissement du lit. Le recalibrage des cours d'eau est probablement l'un des types d'intervention les plus fréquemment réalisés.

Il a été utilisé de manière quasi systématique dans les zones rurales, particulièrement au cours des années 1950 à 1980, pour diminuer la fréquence de submersion des terres agricoles, notamment celles exploitées en maïs, céréale très peu résistante à la submersion.



# *Endiguement du cours d'eau*

Les digues de protection contre les inondations sont des ouvrages dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destinés à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables.

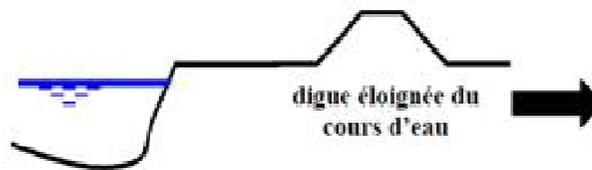
**1. Dignes en charge en permanence:** Elle est sollicitée en situation normale d'exploitation par la charge hydraulique. Ce cas correspond aux digues de navigation ou aux digues de dérivation pour certaines industries (hydroélectricité, nucléaire...).



Digue de navigation du Rhône en charge en permanence



**Des digues en contact avec la berge**



**Des digues éloignée du cours d'eau**

## ***Reboisement***

Le processus de reboisement est basé sur: La nature du sol; la qualité de la plante efficace et le type de climat. La végétation favorise la rétention, ralentit les temps de réponse et atténue les volumes ainsi que les débits de pointe mesurés sur le bassin versant.

Il s'agit de planter de la végétation pour stabiliser les berges.



## ***Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau***

Cette opération consiste à modifier les capacités d'écoulement des systèmes d'évacuation des eaux pluviales pour éviter que leur engorgement ne provoque des inondations dues aux précipitations sur une zone urbanisée.

# *Préservation — restauration — création des zones d'expansion des crues*

---

Il s'agit de préserver ou de restaurer des zones connues d'expansion de crues du cours d'eau.

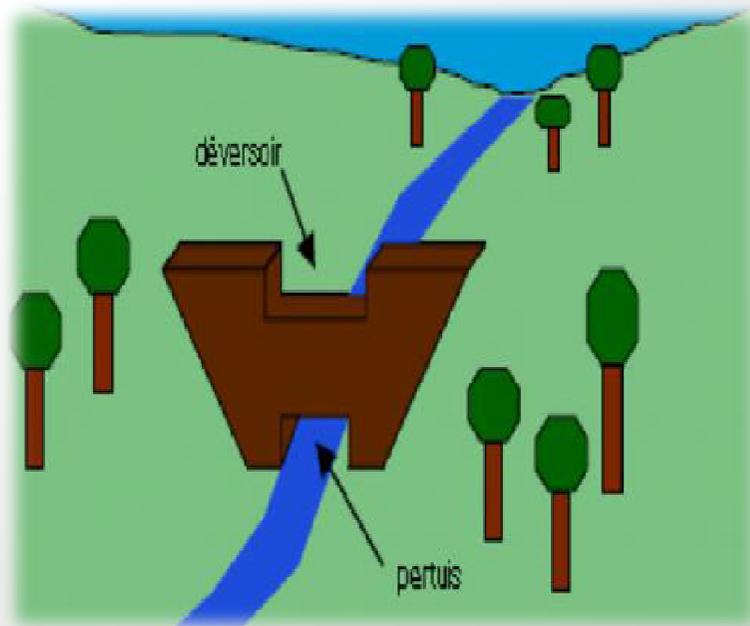
Ceci implique généralement de contrôler l'occupation de la zone d'expansion de crues de telle sorte que la submersion de la zone ne soit pas finalement remise en compte.



*Aménagement d'un parc en zone  
d'expansion des crues.*

## *Barrage écrêteur*

Le barrage écrêteur a pour but l'écrêtement des crues, et parfois à vocation multiple, son principe de fonctionnement est stocker temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau de façon à diminuer le débit de crue en aval.



*Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue*



*Barrage écrêteur de crues sur l'Huisne*

## *Correction torrentielle*

---

C'est une technique qui a pour objectif de limiter les vitesses des écoulements dans les cours d'eau ayant des régimes torrentiels.

Un torrent est corrigé par la construction d'un nombre de digues successives transversales sur les lits des canaux naturels.

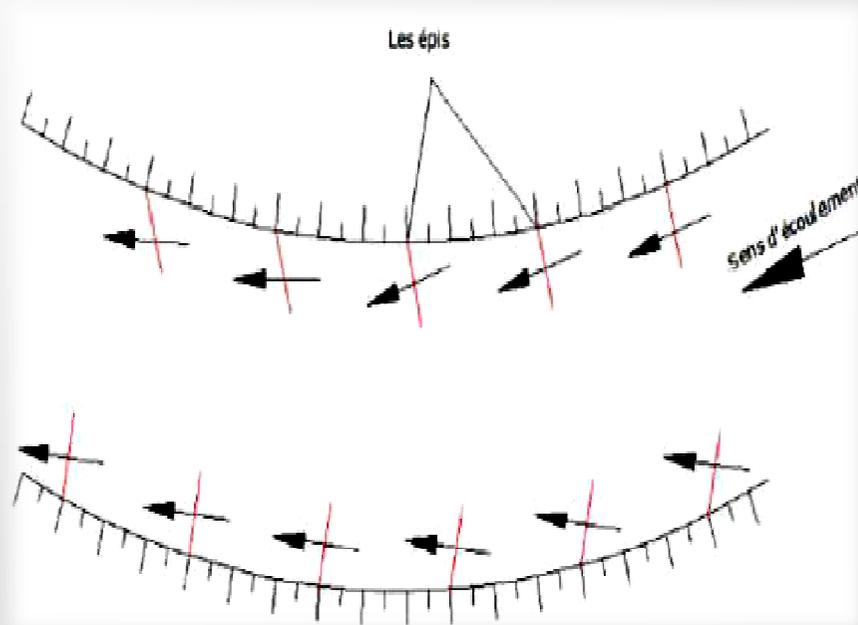


Correction torrentielle

## Les épis

Un épi est un talus en enrochement de faible hauteur, enraciné à la berge et établi transversalement par rapport au cours d'eau. Il constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau et provoque différents types de courants.

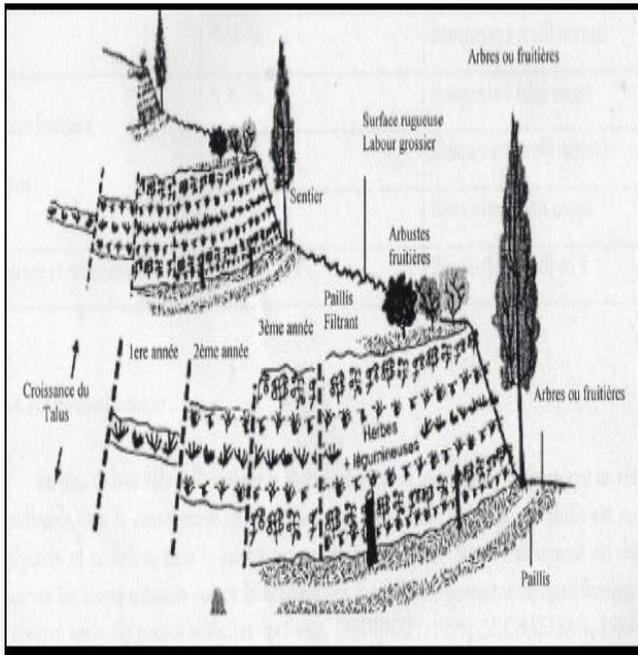
Les épis sont utilisés pour protéger les berges ou pour faciliter la navigation. Dans le domaine maritime, des épis peuvent être utilisés pour protéger des plages.



Implantation des épis

# Banquettes

La technique des banquettes est de double objectif, la lutte contre l'érosion et la réduction de ruissellement en favorisant l'infiltration due à la diminution de pente. Leurs effet est considérable dans la défense et la restauration de sol.



Technique de banquettes



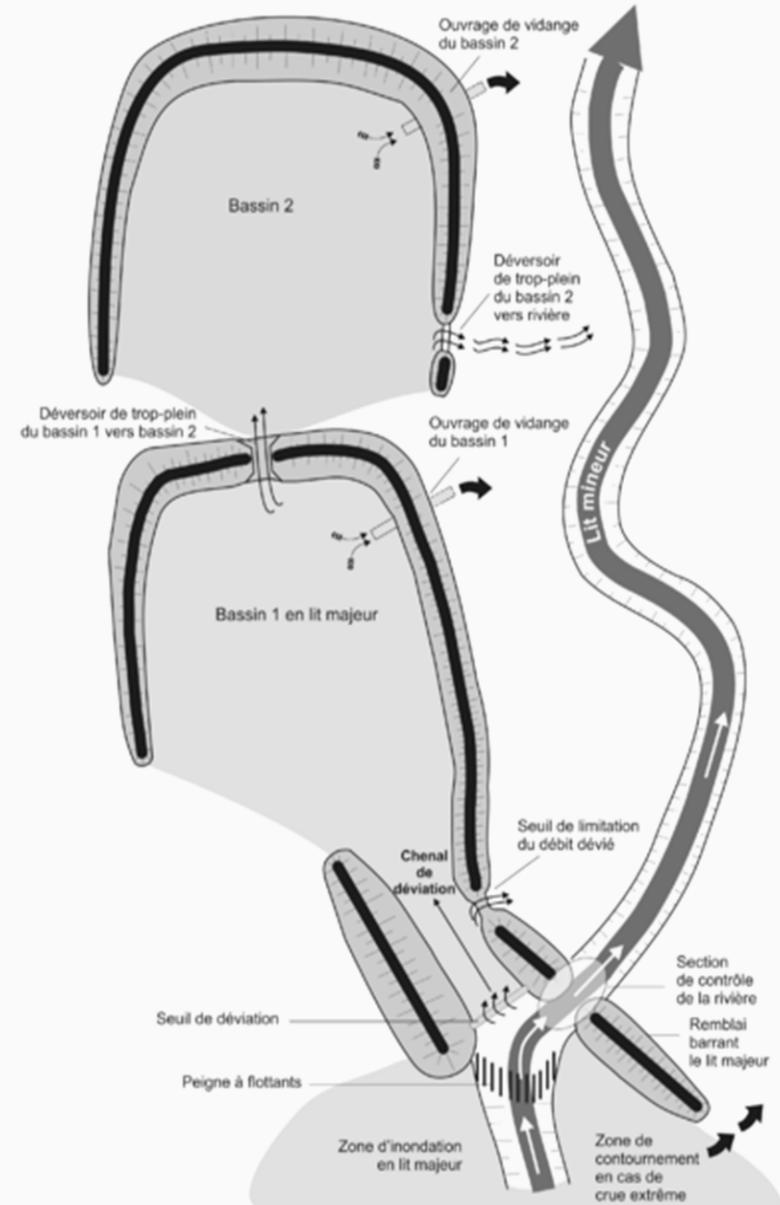
Banquettes continues  
avec  
des plantations



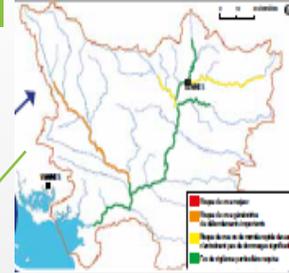
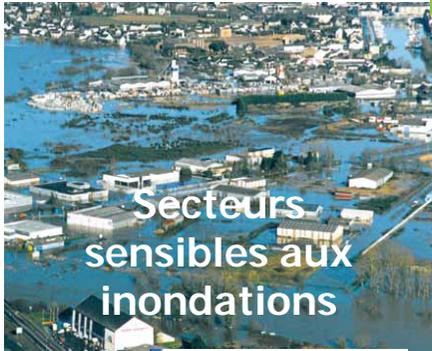
Banquettes continues  
avec des oliviers  
forestières

# Ouvrages de stockage en dérivation

Ce type d'ouvrage est alimenté par dérivation de cours d'eau par un ouvrage de prise et un chenal d'aménagé



# Pourquoi mettre en œuvre ces aménagements ?



Quelles sont les actions à mener

Actions de protections

Quelles actions de protections

Des protections éloignées  
Ecrêtements des crues

des protections rapprochées

Quelles types d'aménagements

Des barrages perpendiculaires aux écoulements (ouvrages fixes et mobiles)  
'Les retenues sèches'

Creux préventifs sur le plan d'eau existant

Dérivations du débit dans des zones de stockages parallèles à l'écoulement (ouvrages fixes et mobiles)



---

Pourquoi mettre en œuvre ces aménagements ?

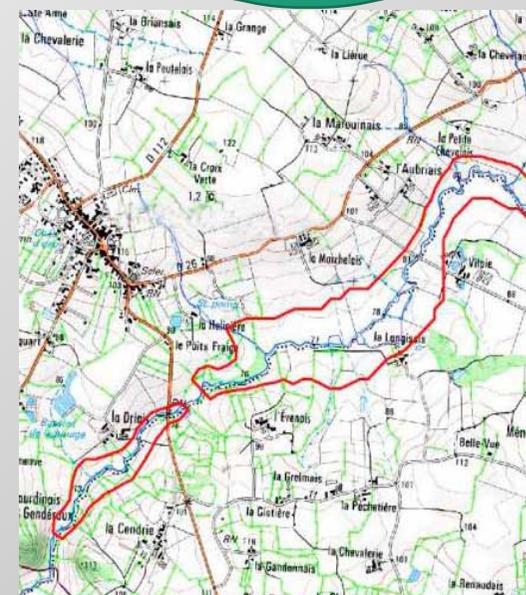
- Comment localiser les sites ?
- Comment concevoir les sites ?
- Comment ça marche ?
- Quelles incidences ?
- Et après ? Quelles obligations, quels devoirs ?

# COMMENT LOCALISER LES SITES ?

Une position optimale doit permettre :

- de mobiliser d'importants volumes de stockage :
- cuvettes naturelles de fond de vallée, fermées à leur aval par un 'verrou hydraulique' permettant de barrer la vallée sur une largeur réduite
- plaines inondables de largeur uniforme, de préférence pas trop pentues, permettant de barrer la vallée par un ouvrage de faible hauteur et de stocker sur plusieurs centaines de mètres, voire quelques kilomètres
- anciens étangs, aujourd'hui comblés ou effacés
- d'obtenir une incidence hydraulique significative en :
- étant situé en amont, si possible proche, de la zone à protéger
- contrôlant un sous-bassin de taille suffisamment importante
- ne risquant pas d'aggraver la concomitance des ondes de crue en aval
- de ne pas avoir d'impact négatif sur les enjeux situés en amont (bâtiments, activités, voiries, zones naturelles, ...)

Les sites de ralentissement doivent être situés en amont des secteurs à protéger



Verrou hydraulique

De nombreuses études préalables sont

nécessaires : hydrauliques, analyses coût/ bénéfiques, réglementaires et de conception, topographiques et géotechniques, acquisitions foncières...

La sélection et l'aménagement d'un site ne peuvent se faire qu'en concertation avec les acteurs locaux concernés (élus, riverains, exploitants...).

Des phases de communication de concertation doivent être menées durant toute la vie du projet et de l'ouvrage

## COMMENT CONCEVOIR LES SITES ?



Remblai

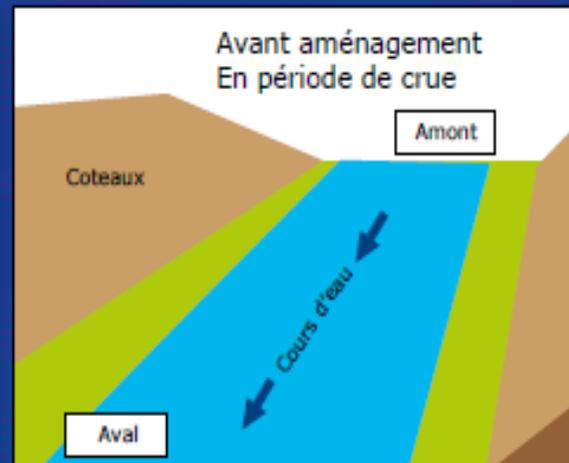
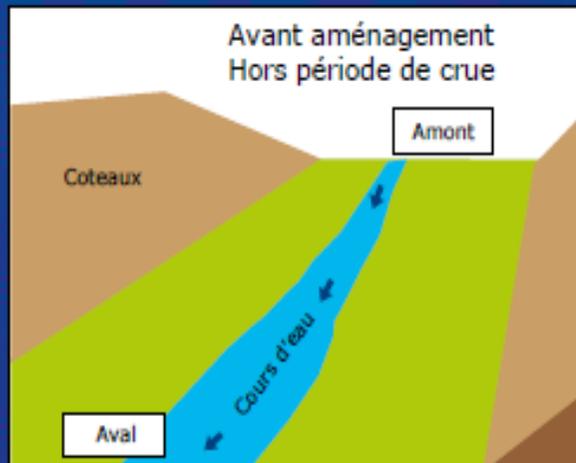
Déversoir

Ouvrage de fuite

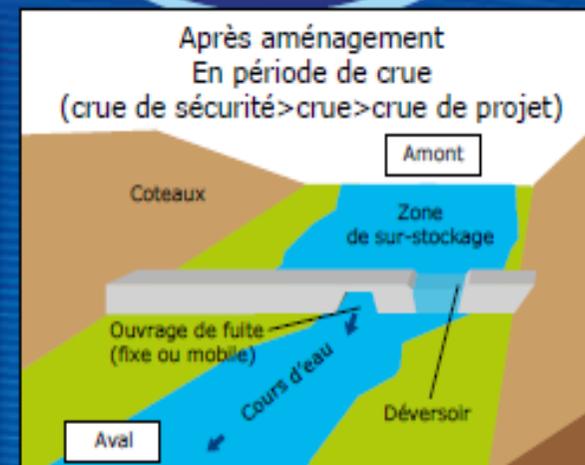
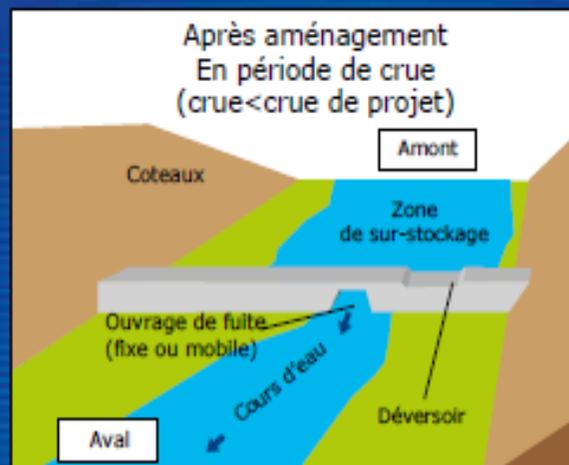
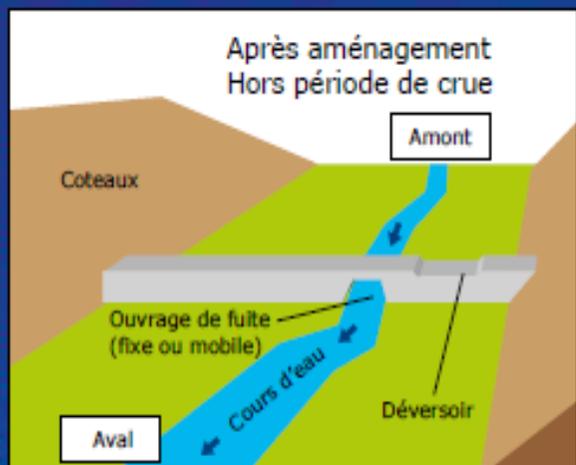
Équipé d'une vanne



# COMMENT ÇA MARCHE ?



C'est une solution  
qui stocke l'eau à l'amont  
pour protéger l'aval.  
Elle fait appel à une solidarité  
à l'échelle du bassin versant  
entre amont/aval  
et secteurs urbains/ruraux.



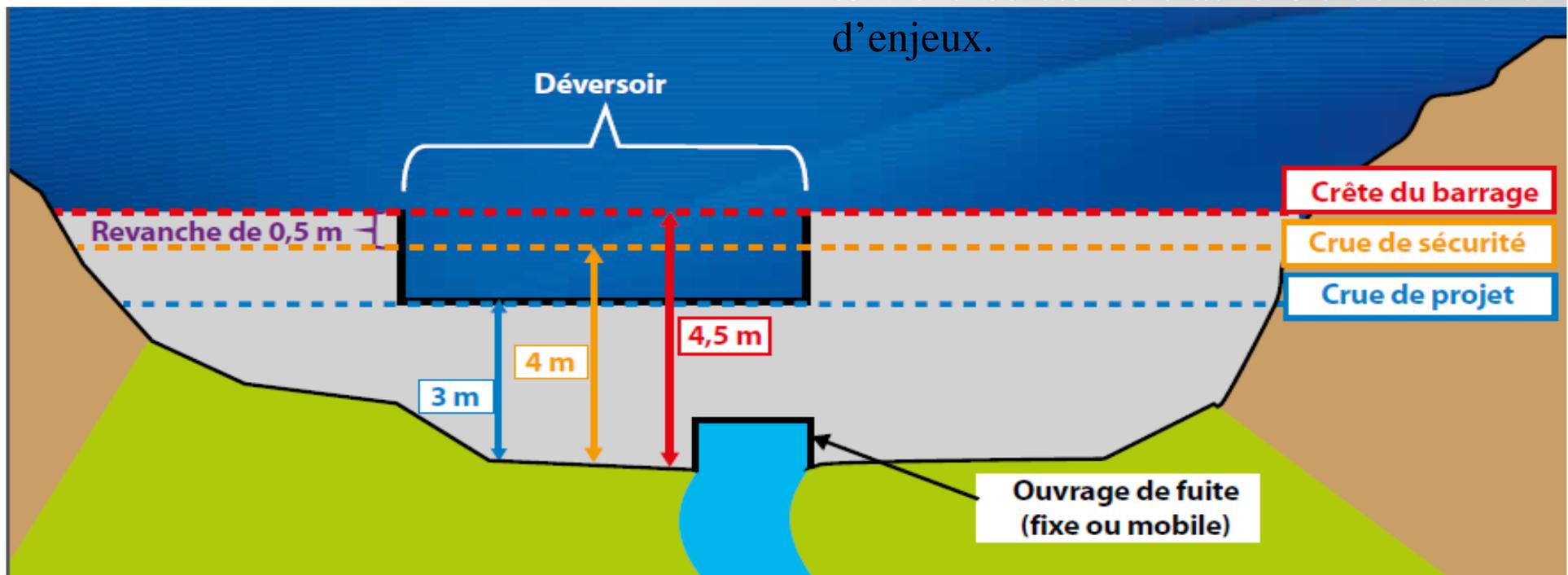
**La crue de projet** est la crue pour laquelle:

- On souhaite protéger la zone d'enjeux,
- L'ouvrage est dimensionné,
- Les écoulements se font uniquement par le biais de l'ouvrage de fuite.

**La revanche** est définie comme la hauteur à ajouter à la hauteur du barrage pour éviter la submersion du remblai par les vagues.

**La crue de sécurité** est supérieure à la crue de projet. C'est la crue pour laquelle:

- On souhaite que la barrage résiste,
- Le déversoir de sécurité est dimensionné,
- On ne constate pas de débordement au-delà de la crête du barrage,
- Les écoulements se font par l'ouvrage de fuite et le déversoir. L'ouvrage a peu d'efficacité voire une efficacité nulle en terme d'écrêtement au droit de la zone d'enjeux.



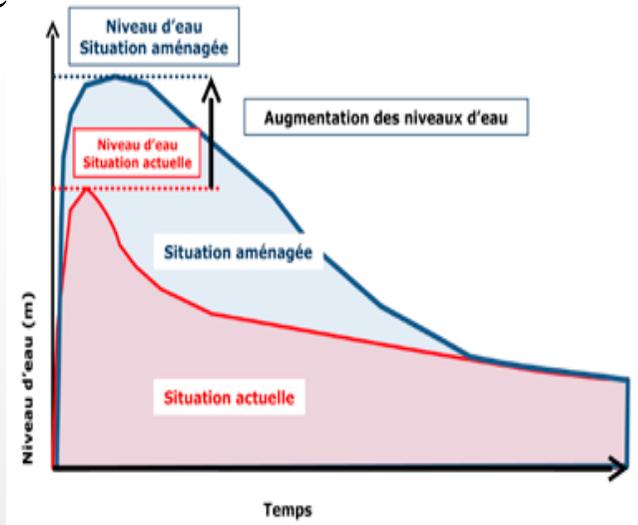
# QUELLES INCIDENCES ?

*Pour un même débit*

Quelles incidences en amont d'un barrage ?

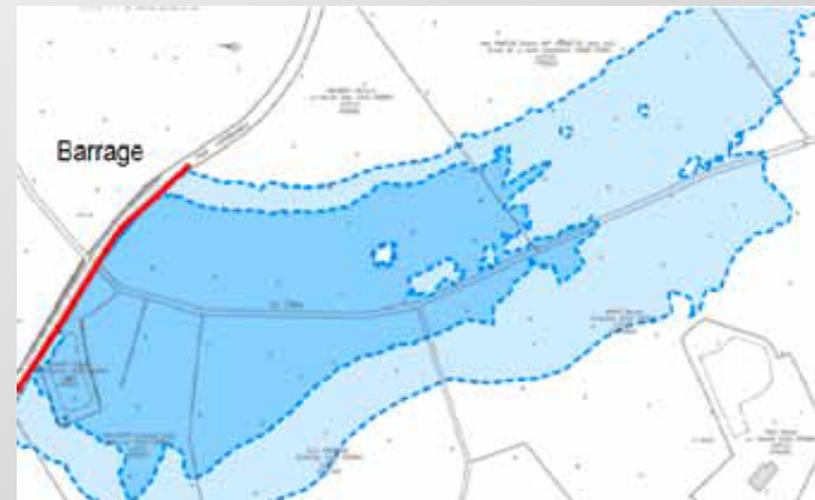
Pour un même débit, l'aménagement engendre :

- des niveaux d'eau plus élevés (sur-inondation)
- des inondations plus fréquentes
- des temps d'inondations plus longs



- Zone inondable en amont du barrage **avant aménagement**,

- Zone inondable en amont du barrage **après aménagement**



Ainsi, l'impact de l'aménagement doit être étudié sur d'éventuels :

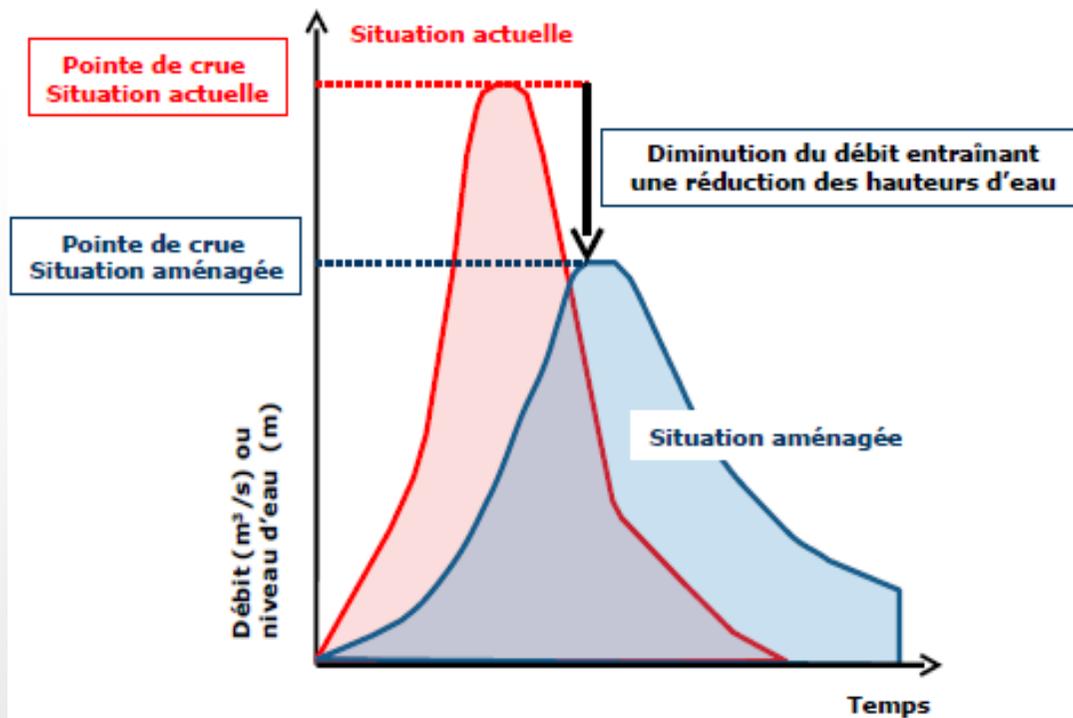
- enjeux humains : bâtiments, voiries, agriculture (cultures, prairies ,...) et autres usages
- enjeux environnementaux : zones humides, franchissabilité piscicole,...

# QUELLES INCIDENCES EN AVAL D'UN BARRAGE ?

Pour un même débit, l'aménagement engendre :

- des niveaux d'eau moins élevés
- des inondations moins fréquentes
- un décalage dans le temps du pic de crue.

Ainsi, l'impact de l'aménagement sur l'horloge des crues doit être étudié.



# ***ET APRÈS ? QUELLES OBLIGATIONS, QUELS DEVOIRS ?***

Des conventions tripartites entre le maître d'ouvrage, le propriétaire et l'exploitant  
des parcelles situées en amont du barrage.

Ces conventions définissent:

- **Les préjudices de tous ordres qui pourraient résulter** de la modification de l'inondabilité des terrains imputable à la réalisation des retenues sèches,
- **et les principes d'indemnisation pris en accord avec** les propriétaires et les exploitants

Un classement des barrages et des obligations d'entretien et de surveillance

Les travaux de protection ne doivent pas permettre d'urbanisation nouvelle en zone inondable.

Un aménagement parmi d'autres

# LA VILLE ET SON ASSAINISSEMENT

Un système d'assainissement est un assemblage complexe d'ouvrages qui assure:

- ✓ La collecte,
- ✓ Le transports,
- ✓ Le traitement.

Ce système est composé :

- ✓ D'ouvrages principaux (en général les canalisations et leur chambre d'accès),
- ✓ D'ouvrages dit 'spéciaux' ou 'annexes'.

## *Les ouvrages spéciaux*

- ✓ Éléments importants du fonctionnement global,
- ✓ Sur le plan quantitatif,
- ✓ Sur le plan qualitatif,
- ✓ Fonctions bien précises,
- ✓ Régulation, rétention (bassin de retenue, déversoirs,...),
- ✓ Fonctionnement hydraulique (siphons, station de pompage,..),
- ✓ Protection du milieu (déversoirs, bassin de pollution,...),
- ✓ Calcul hydraulique et conception adaptées

# ***MISE EN PLACE D'UN SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE DES CRUES***

---

Les conséquences dramatiques des inondations vécues dans plusieurs régions du pays ont mis en évidence la nécessité d'axer les efforts sur la prévention et la prévision de ces phénomènes.

Une anticipation sur l'alerte et la prévision de tels phénomènes permettra de prendre toutes les dispositions nécessaires afin d'éviter ou de réduire au maximum, de manière appropriée, les dommages qui peuvent être occasionnés.

La mise en place de stratégies de protection de villes et des différents ouvrages devient donc une priorité et conséquent, des systèmes de prévision et d'alerte des crues doivent être mis en place. pour la protection des zones exposées à ce phénomène. Ce système permettra d'avoir une expérience dans l'évaluation et la prévisions des crues. ainsi que les éléments de base de cartographie des zones inondables ou zones à risques.