

Introduction

La crue est une forte augmentation, un accroissement du débit et de la hauteur d'eau en écoulement d'un fleuve, d'une rivière, d'un cours d'eau. Le mot s'utilise fréquemment quand le débordement du lit mineur du cours d'eau commence à provoquer des dommages. Ce débordement provoque une inondation de zones plus ou moins éloignées des rives, en délimitant ainsi une zone inondable. La crue est suivie par une décrue.

La crue survient souvent après de fortes pluies en amont dans le bassin versant, parfois lors d'une fonte des neiges brutale ou lors d'une concomitance de fortes pluies et de fonte des neiges, plus rarement par réamorçage d'un siphon karstique, exceptionnellement quand une fracture terrestre profonde libère des nappes phréatiques. Liées à des caractéristiques météorologiques et géomorphologiques propres à chaque site, les crues sont un phénomène naturel très suivi dans l'histoire.

On lutte contre les crues par des aménagements hydrauliques curatifs (ex. : digues) ou préventifs (ex. : zones d'expansion de crue, reboisement (forêt de protection), réintroduction du castor dans les hauteurs des bassins versants). La gestion du risque d'inondation peut s'appuyer sur un atlas des zones inondables, sur des plans de prévention, sur une réduction de la vulnérabilité, sur l'évitement de constructions nouvelles dans ces zones, sur un système de vigilance et d'alerte.

1. Données de base

1.1. Définition d'une crue : une crue désigne une quantité d'eau abondante qui est transportée, avec ou sans débordement, par un système hydraulique tel que des lacs et des ruisseaux, ce qui représente un événement exceptionnel, d'une manière générale, elle est définie par son débit de pointe, son volume et sa durée.

1.2. Intérêt de l'étude des crues :

- ✓ La gestion du risque hydrologique dû aux crues (risque d'inondation)
- ✓ La gestion des systèmes environnants dépendant (possibilité d'alimentation en eau, recharge des nappes) ;
- ✓ La gestion des bassins versants à partir desquels se forme la crue ;
- ✓ La gestion du système hydraulique concerné (cours d'eau, affluent et exutoires, lacs naturels ou artificiels, mares, dépressions) ;

1.3. Évènements ou Phénomènes provoquant l'apparition de crues : Le déclenchement des inondations peut être attribué à divers phénomènes ou événements suivants :

- ✓ Rupture de barrage ;
- ✓ Fonte extraordinaire des neiges ou de glace (due à des températures tout aussi extraordinaires) ou fonte « normale » mais combinée avec d'autres événements
- ✓ précipitations extraordinaires (liquides ou solides) en intensité ou en durée ;

1.4. Caractéristiques associées aux crues :

On évoque la crue d'un cours d'eau lorsque son « *niveau critique de crue* » est atteint en un point quelconque du **bief** amont. Ce seuil peut être indiqué par un **limnimètre** fixe

Le maximum de hauteur d'eau atteint est la *pointe de crue*, correspondant à un *débit maximum de crue* ou *débit de pointe*. Il est temporairement marqué par une *laisse de crue* (boue sur les murs, déchets accrochés aux branches) et est parfois enregistré ultérieurement par un **repère de crue** dont le recensement peut être effectué dans une base nationale des repères de crues.

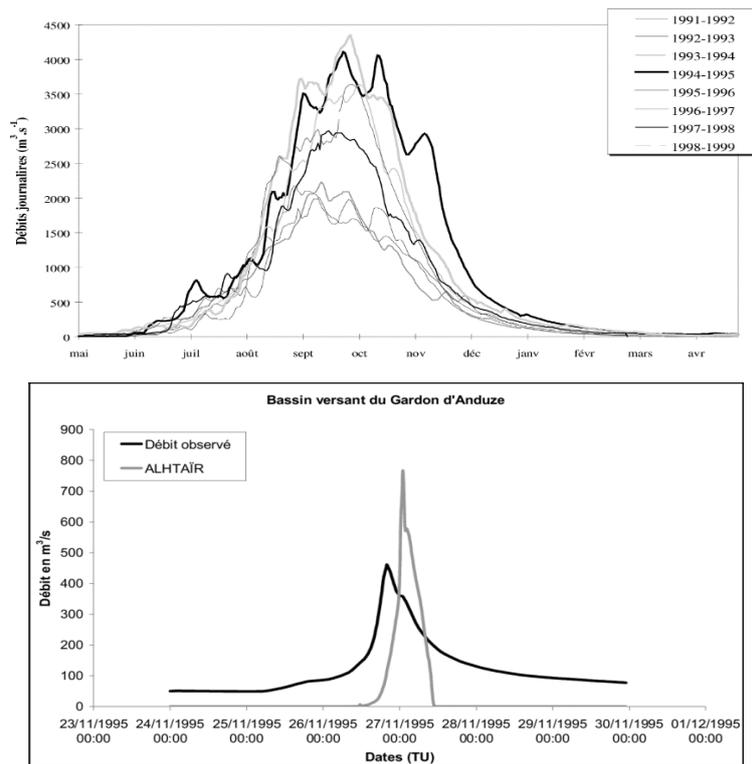
Ce maximum de hauteur d'eau se déplace vers l'aval du cours d'eau avec une **onde de crue**

La décrue, est la baisse du niveau d'eau jusqu'au retour de l'écoulement dans le **lit mineur** du cours d'eau. Si celle-ci s'amorce très lentement (plusieurs heures au maximum de hauteur d'eau ou en grande proximité) on peut alors évoquer un *plateau de crue* plutôt qu'une pointe de crue.

En hydrologie, l'ensemble du phénomène crue-décrue peut se caractériser en un point caractéristique, (une section de contrôle ex : un pont) par un **hydrogramme** dont les pentés caractérisent la rapidité ou la lenteur des variations. On relie ensuite souvent la pointe de crue à une période de retour de la crue.

L'hydrogramme

L'hydrogramme peut être représenté par une courbe ou un tableau, qui représente la fluctuation du débit d'un cours d'eau par rapport au temps à un endroit spécifique. Les débits ont été mesurés au point donné



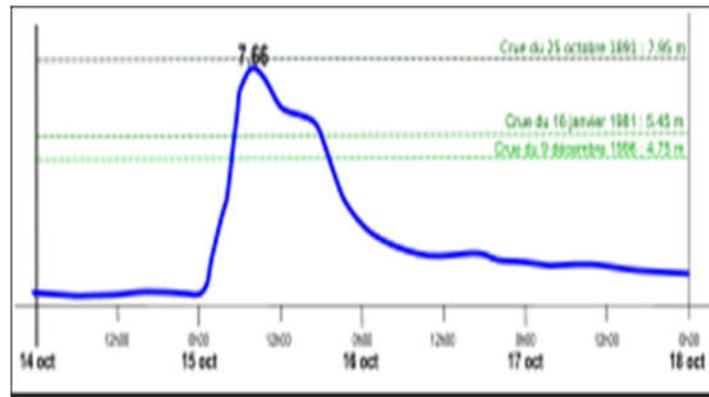


Figure 1: Exemple de forme d'hydrogramme

L'hydrogramme est l'expression de l'interaction complexe entre les caractéristiques physiographiques et climatiques qui dictent l'association dynamique entre les précipitations et le débit d'un bassin versant spécifique.

Il existe deux classifications distinctes d'hydrogrammes qui doivent être mémorisées : l'hydrogramme annuel et l'hydrogramme produit par une averse

Hydrogramme généré par une averse

On appelle hydrogramme la représentation graphique du débit instantané, en un point du cours d'eau en fonction du temps (figure)

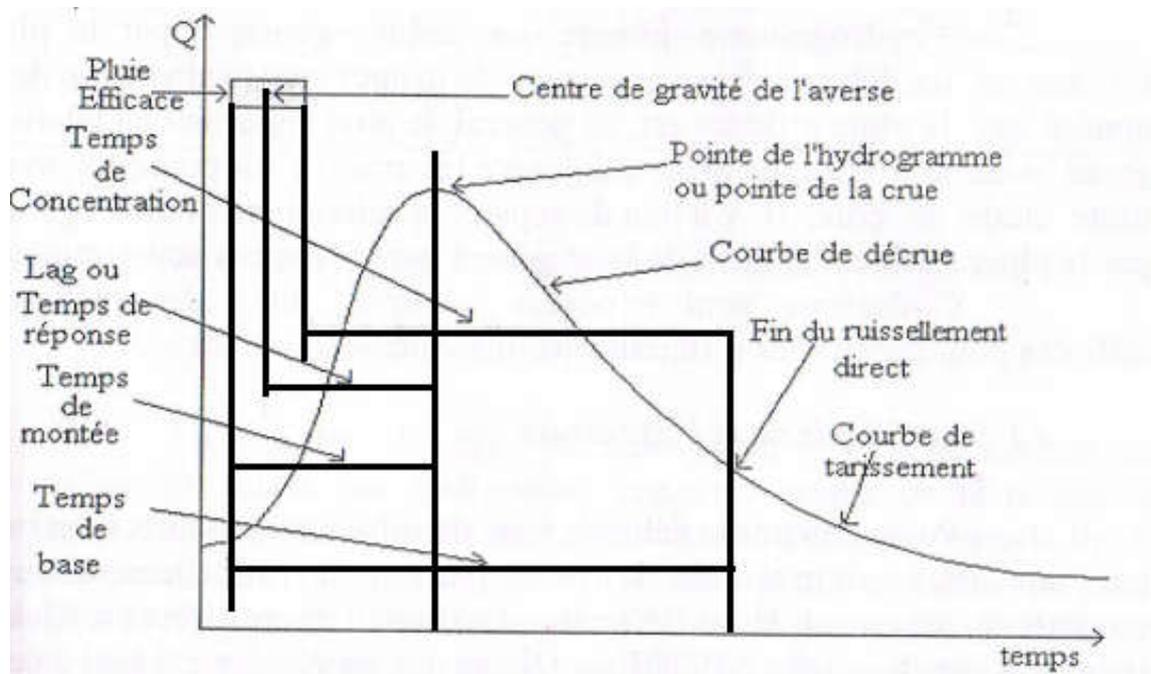


Figure 2: Présentation d'un hydrogramme

Sur l'hydrogramme ci-dessus on distingue :

- Le temps de montée, entre le début du ruissellement direct et la pointe de la crue ;

- Le de réponse ou « Lag » entre le centre de gravité de la pluie dite « efficace » (c'est-à-dire la portion de la pluie qui se transforme totalement en écoulement) et la pointe de l'hydrogramme ;
- Le temps de base ou durée du ruissellement, entre le début la pluie efficace et la fin du ruissellement direct ;
- Le temps de concentration, entre la fin de pluie efficace et la fin du ruissellement direct ;
- La pluie nette ou pluie efficace est la partie de l'averse qui à ruisselé, l'équation de bilan donne :

$$P = I + E + F + S + P_{net}$$

Où :

I : interception par la couverture végétale

E : 2vaporation

F : infiltration

S : stockage dans les dépressions

P_{net} : pluie nette=pluie efficace= ruissellement direct

Séparation des éléments constitutifs de l'hydrogramme

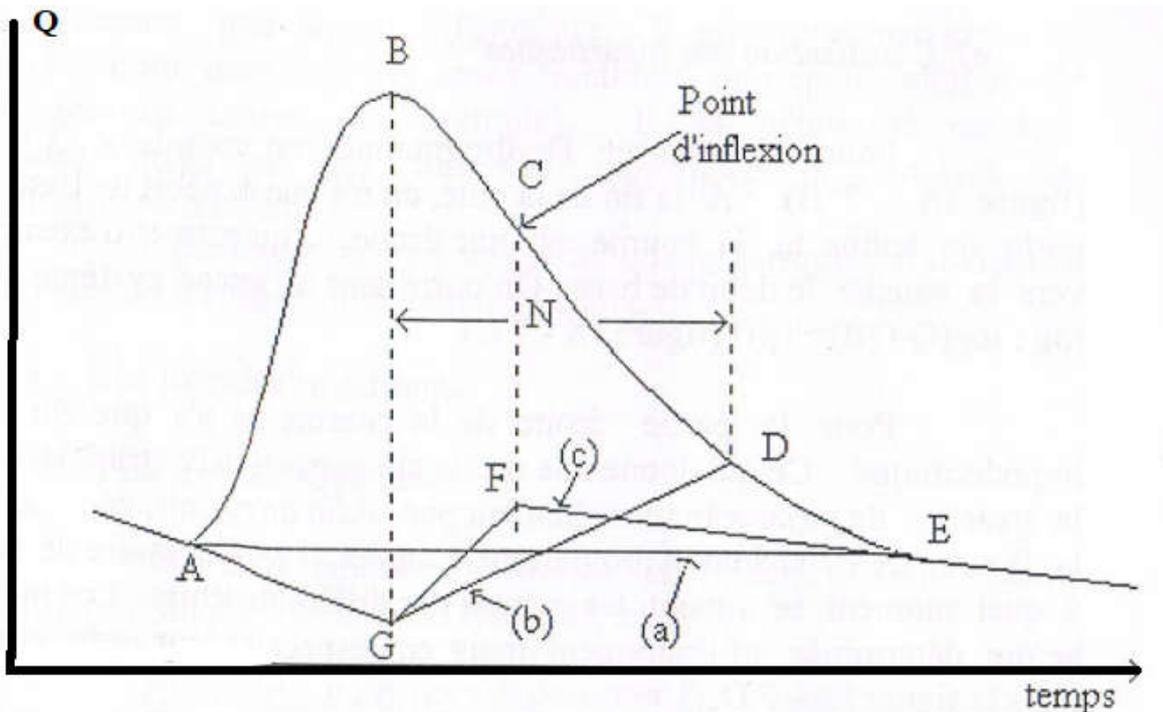


Figure 3 : Séparation des éléments constitutifs de l'hydrogramme

1) La méthode de la ligne droite

Pour distinguer le débit à la base du ruissellement direct, une ligne horizontale relie le point **A**, où le ruissellement direct prend naissance, au point **E**, où il se termine. Le volume sous la courbe **ABCDEA**, qui est équivalent au volume effectif de la pluie, représente la quantité de ruissellement direct (voir la figure ci-dessus).

2) La méthode de la base fixe ou constante

Le ruissellement direct devrait cesser après une période désignée, notée **N**, suivant le sommet de l'hydrogramme. Le débit de base préexistant devrait se poursuivre jusqu'à ce qu'il croise la ligne verticale passant par le sommet de l'hydrographe (point **G**). À ce stade, un segment de ligne **GD** est construit, **D** étant positionné à une distance équivalente à **N** du point **G**. Le volume inclus sous la courbe **ABCDGA** (comme illustré dans la figure ci-dessus) représente le volume du ruissellement direct.

3) La méthode de la pente variable

La courbe de débit de base avant le commencement du ruissellement direct est extrapolé jusqu'au temps de la pointe de l'hydrogramme (point **G**), et la courbe du débit de base après la fin du ruissellement direct est extrapolé en arrière jusqu'au temps du point d'inflexion **C** (droite **EF**). Un segment de droite joint ces deux points **G** et **F**. Le ruissellement direct est égal au volume sous la courbe **ABCDEFGA**(Voir la figure ci-dessus)

4) La méthode de l'indice ϕ (taux de recharge)

Si pour une averse donnée, l'on dispose du hyétogramme, de l'indice ϕ et de l'hydrogramme total généré par cette averse, on peut déterminer la pluie efficace en utilisant une méthode similaire à celle de la détermination de l'indice ϕ . une fois la pluie efficace (ruissellement direct)trouvée.Onretranche, par une méthode graphique, de la surface totale de l'hydrogramme une surface égale àcelle du ruissellement direct. Le résultat est égal au débit de base

L'indice ϕ est définit comme l'intensité pluviométrique moyenne au-dessus de laquelle le volume des précipitations est égal au volume des écoulements superficiels (débits).

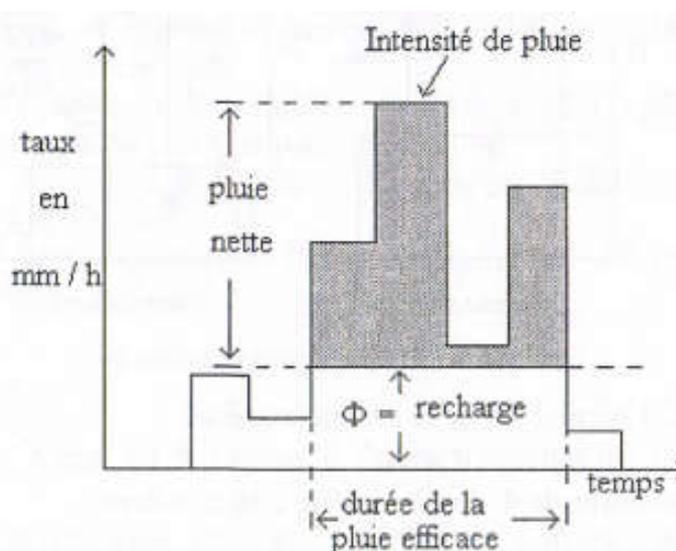


Figure 4: Schéma e définition de l'indice ϕ

Autrement dit, c'est l'intensité moyenne au-dessus la quelle tout excédent pluviométrique se retrouve sous forme écoulement à l'exutoire.

Dans la figure précédent, la surface non-hachurée au-dessous de la ligne représente toutes les pertes comprenant l'eau dans les dépressions, l'évaporation et l'infiltration

Le temps de concentration

Temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. On peut estimer t_c en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (i.e. fin de l'écoulement de surface).

Il faut savoir qu'il y a une multitude de formules, il revient en dernier ressort à l'ingénieur de faire son choix, le choix de la méthode appropriée, dépend de facteurs topographiques, pluviométriques et aussi de facteurs d'échelle, liés à la taille du bassin versant

a) : Les formules empiriques

1- Formule de Giandotti

$$T_c = \frac{6L\sqrt{A}}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Où :

T_c : Temps de concentration (h)

A : Superficie du bassin versant (Km²).

L : Longueur du talweg principal (Km).

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

H_{min} : Hauteur minimal du bassin versant en (m).

2- Formule de Kirpich

$$T_c = 0,38 \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,77}$$

Où :

I : Pente moyenne du thalweg principal

L : Longueur du talweg principal (Km).

3- La formule Algérienne

Elle est été déterminée par Melles Saadi Cherif et Tamani , dans leur projet de fin 'étude à l'USTHB-IGC, en 1992

$$T_c = 0,0055 A + 0,1657 L + 0,0078 D_H + 0,821$$

Où :

T_c : Temps de concentration (h)

A : Superficie du bassin versant (Km²).

L : Longueur du talweg principal (Km).

$$D_H = H_{moy} - H_{min}$$

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

H_{min} : Hauteur minimal du bassin versant en (m).

Cette formule a été déterminée à partir de l'analyse des événements « averse-crues » relevés sur 15 bassins versants du Nord de L'Algérie

b) L'analyse des avènements « averse-crues »

Transformation de la pluie en hydrogramme de crue

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 :

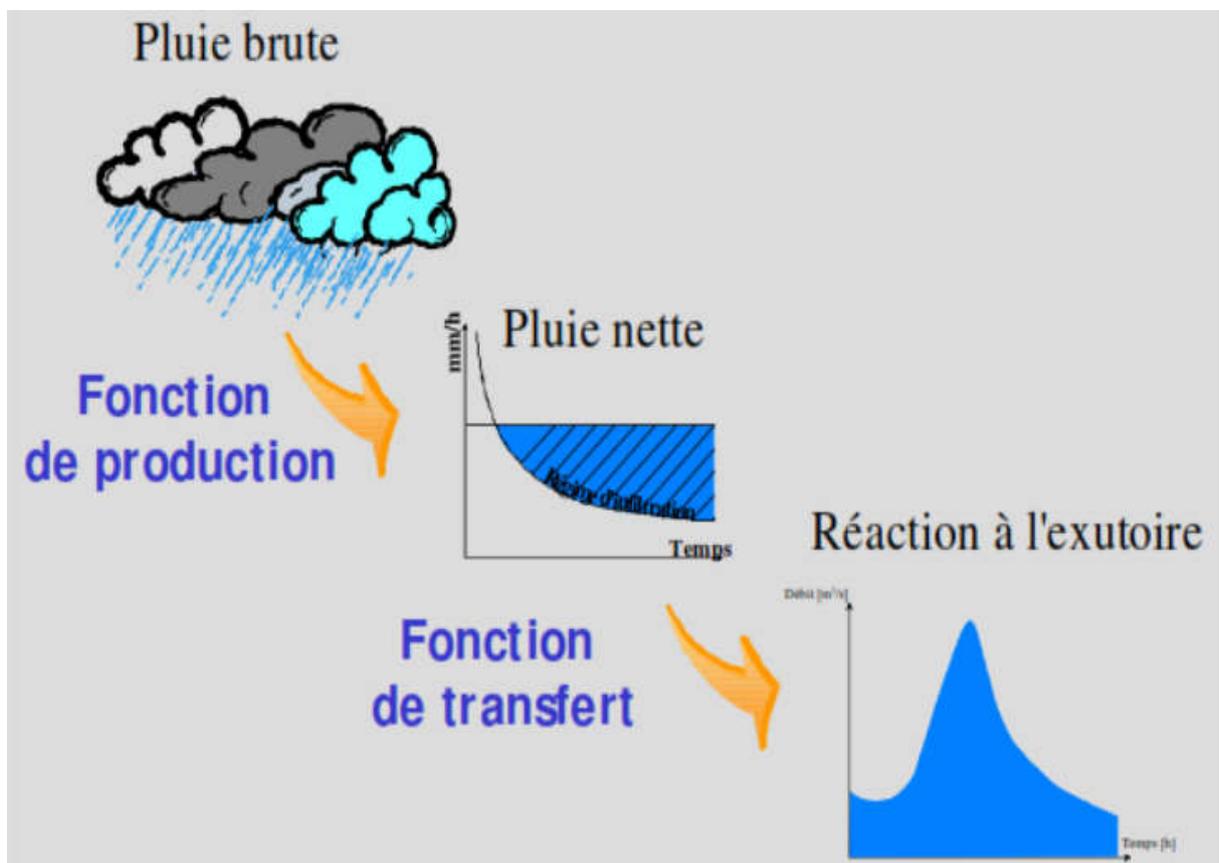


Figure5:Transformation de la pluie en hydrogramme de crue

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 : permet de déterminer l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie (souvent considéré comme la pluie nette)

L'analyse des événements pluies-débits requiert la connaissance d'un certain nombre d'éléments caractéristiques de la crue (forme et durées caractéristiques). Une averse, définie dans le temps et dans l'espace, tombant sur un bassin

versant de caractéristiques connues, et dans des conditions initiales données, provoque à l'exutoire du bassin considéré un hydrogramme défini

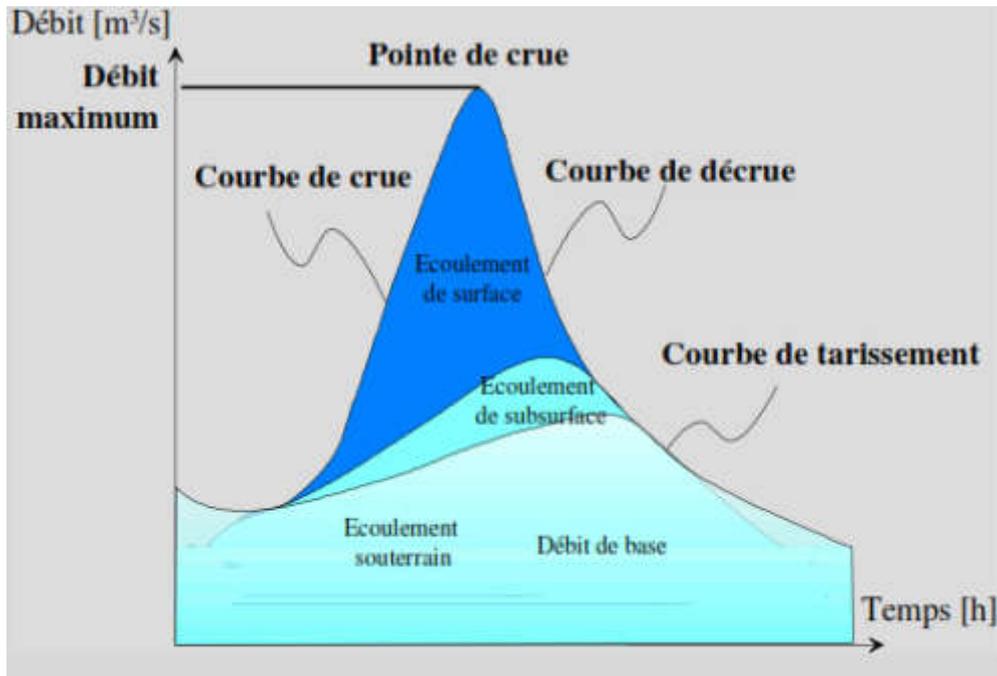


Figure 6 : Forme de l'hydrogramme de crue

La Forme de l'hydrogramme de crue est caractérisée par :

- La courbe de montée de crue ou de concentration
- La pointe de crue ou crête de l'hydrogramme
- La courbe de décroissance
- La courbe de tarissement

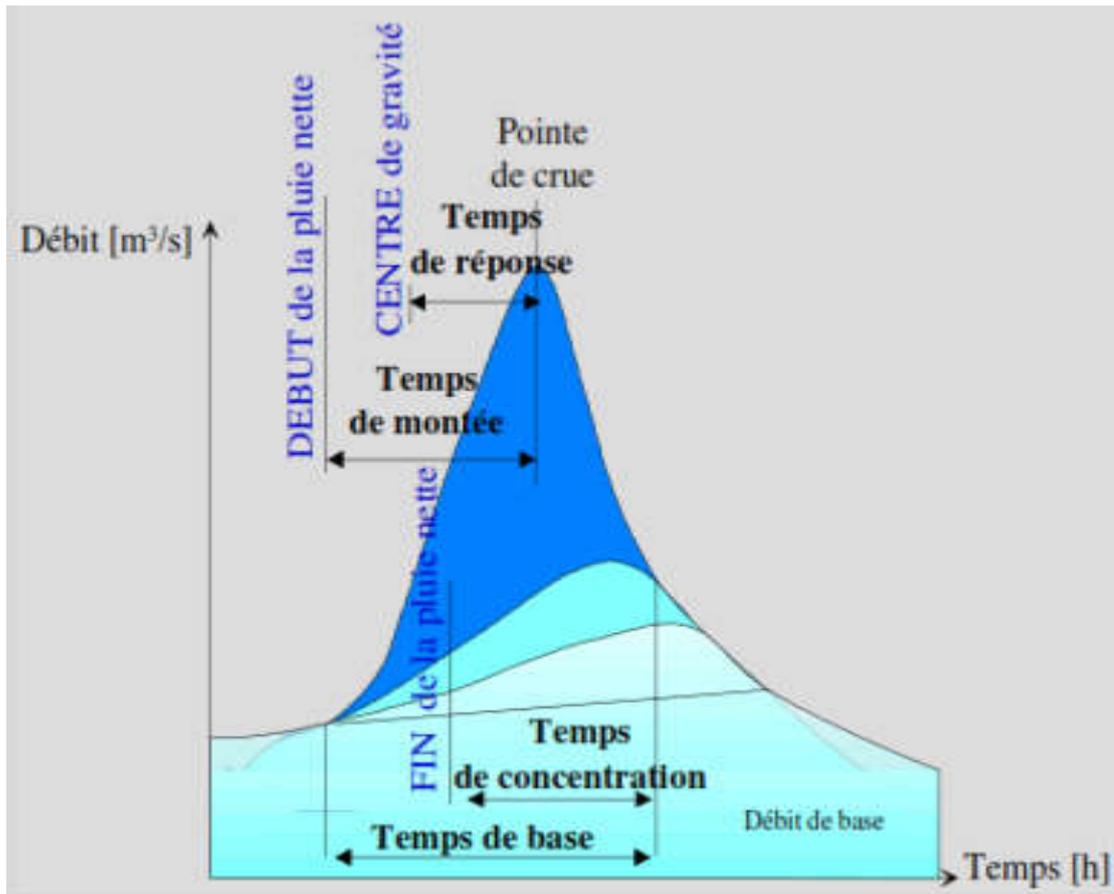


Figure 7 : Caractéristiques de l'hydrogramme

Les temps caractéristiques de l'hydrogramme de crue sont :

- Le temps de réponse du bassin
- Le temps de concentration
- Le temps de montée
- Le temps de base
- **Temps de réponse du bassin** t_p (ou "lag") - Intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette de la pointe de crue ou parfois du centre de gravité de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.
- **Temps de concentration** t_c - Temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. On peut estimer t_c en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (i.e. fin de l'écoulement de surface).
- **Temps de montée** t_m - Temps qui s'écoule entre l'arrivée à l'exutoire de l'écoulement rapide (détectable par le limnigraphe) et le maximum de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface
- **Temps de base** t_b - Durée du ruissellement direct, c'est-à-dire la longueur sur l'abscisse des temps de la base de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.

La surface comprise entre la courbe de l'écoulement retardé et l'hydrogramme de crue/décru représente le volume ruisselé. Ce volume, exprimée en lame

d'eau, est égal par définition au volume de la pluie nette. Cependant, la distinction entre écoulement retardé de subsurface et ruissellement direct de surface étant relativement floue, il n'est pas rare de considérer un volume de ruissellement direct équivalent à celui de la pluie nette définie comme la surface comprise entre la courbe de l'hydrogramme de crue/décru et celle de l'écoulement souterrain.