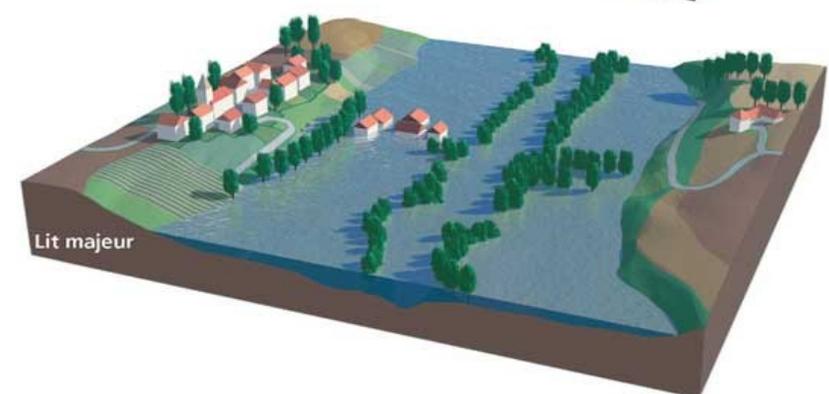


CRUES ET INONDATIONS

1) GÉNÉRALITÉS (rappels brefs cours hydrologie)

1) Introduction

Définition: Une inondation est simplement le débordement d'une rivière en dehors de son lit

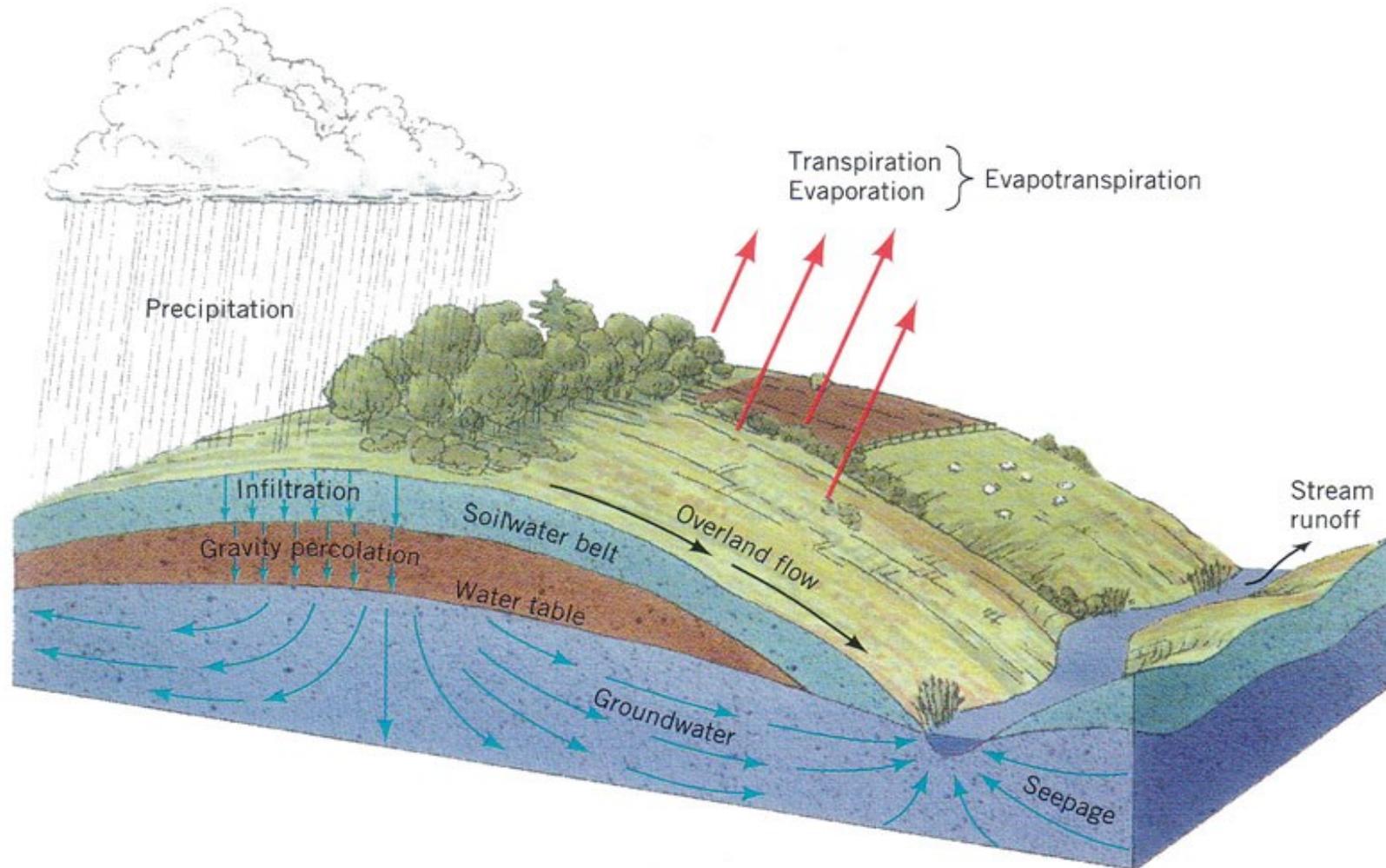


CRUES ET INONDATIONS

1) GÉNÉRALITÉS

2) rappels brefs cours hydrologie

a) Les différents types d'écoulement dans le bassin versant



CRUES ET INONDATIONS

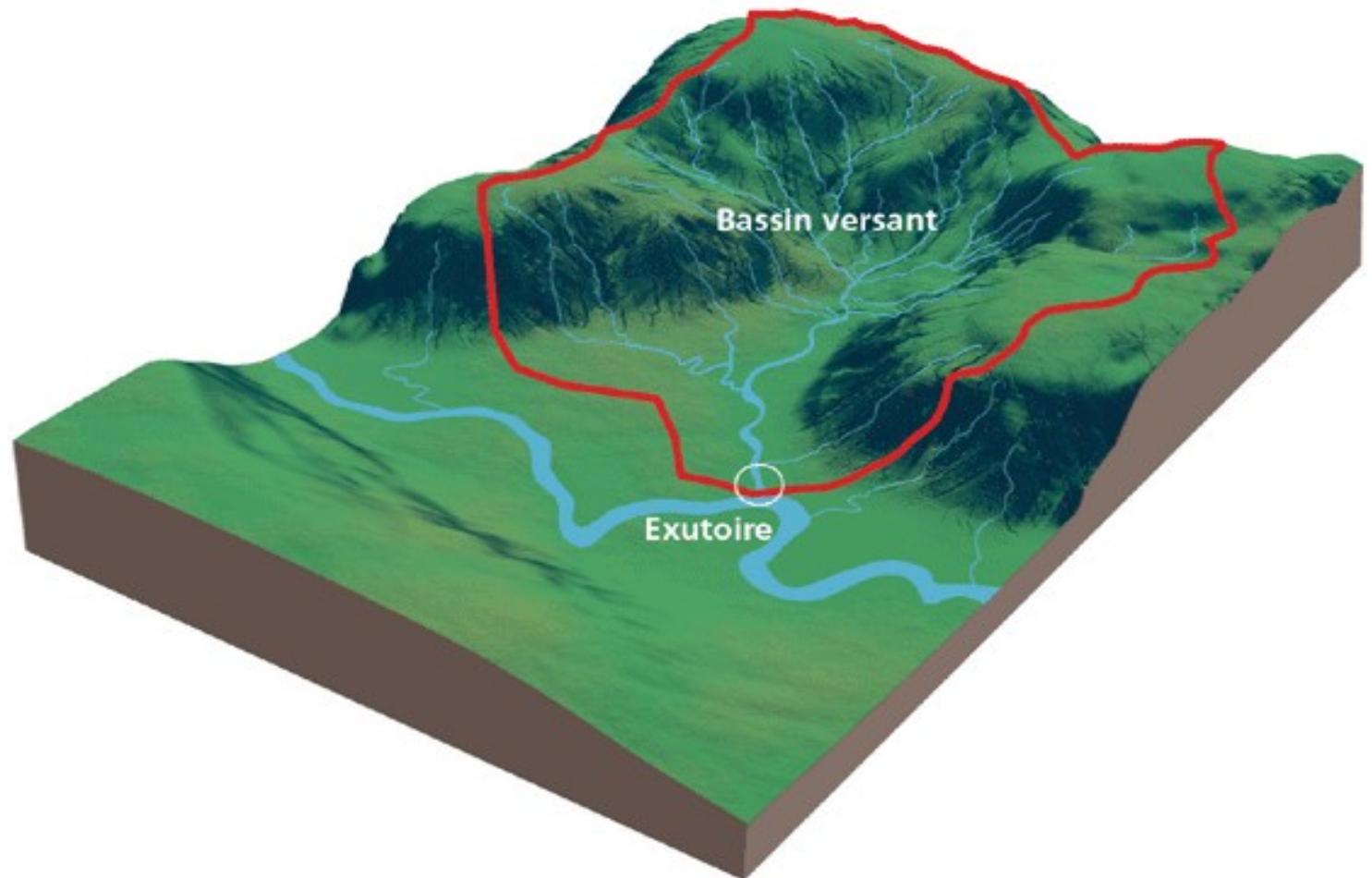
1) GÉNÉRALITÉS

2) rappels brefs cours hydrologie

a) Les différents types d'écoulement dans le bassin versant

Objectif:

Compréhension de la réponse hydrologique du bassin-versant



CRUES ET INONDATIONS

1) GÉNÉRALITÉS

2) rappels brefs cours hydrologie

a) Les différents types d'écoulement dans le bassin versant

- Précipitations directes
- Écoulements de surface
 - Écoulements par dépassement de la capacité d'infiltration
 - Écoulements sur surface saturée
- Écoulements de sub-surface
- Écoulements souterrain

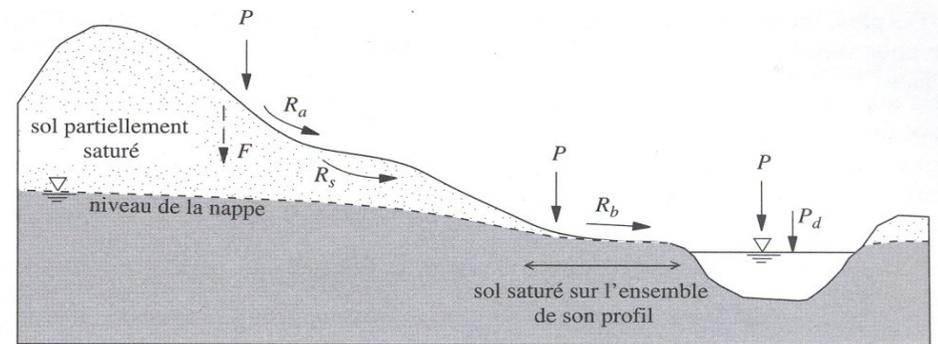


Fig. 11.1 Écoulement par dépassement de la capacité d'infiltration (R_a) et écoulement par saturation (R_b).

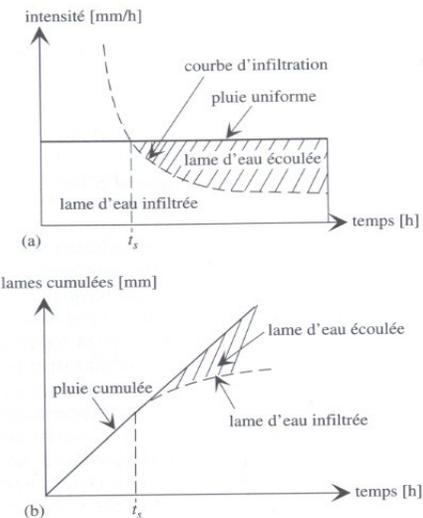


Fig. 11.9 Taux d'infiltration (a) et infiltration cumulée (b) pour une pluie uniforme, définition du temps de submersion.

CRUES ET INONDATIONS

1) GÉNÉRALITÉS

2) rappels brefs cours hydrologie

a) Les différents types d'écoulement dans le bassin versant

- Précipitations directes
- Écoulements de surface
 - Écoulements par dépassement de la capacité d'infiltration
 - Écoulements sur surface saturée
- Écoulements de sub-surface
- Écoulements souterrain

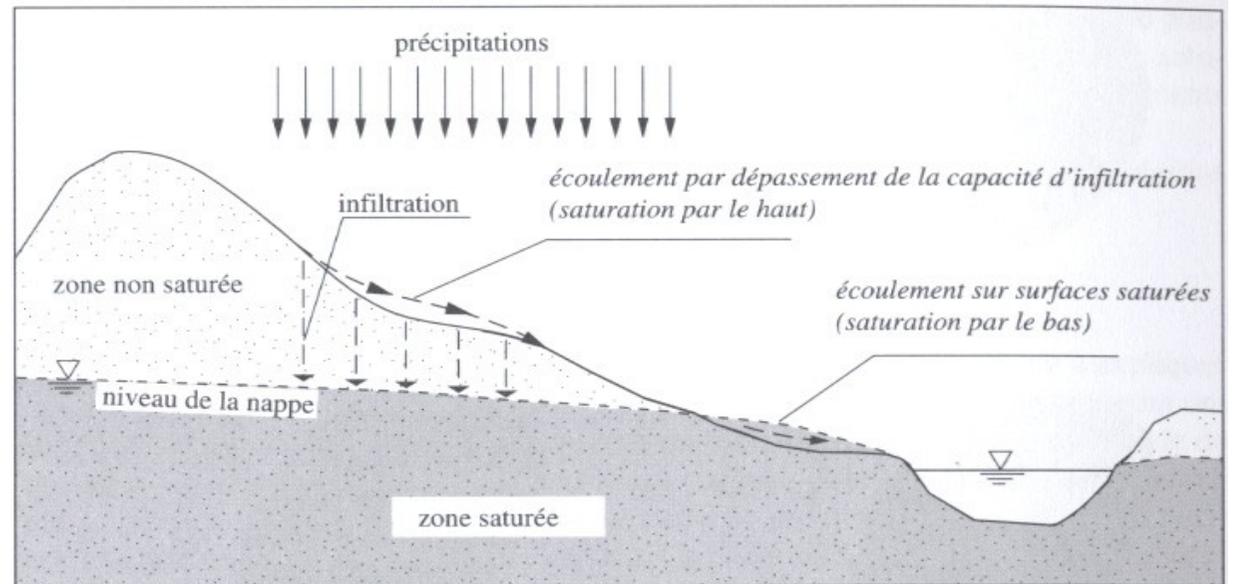


Fig. 11.10 Processus de génération d'écoulement par dépassement de la capacité d'infiltration ainsi que sur surfaces saturées.

CRUES ET INONDATIONS

1) GÉNÉRALITÉS

2) rappels brefs cours hydrologie

a) Les différents types d'écoulement dans le bassin versant

- Précipitations directes
- Écoulements de surface
 - Écoulements par dépassement de la capacité d'infiltration
 - Écoulements sur surface saturée
- Écoulements de sub-surface
- Écoulements souterrain

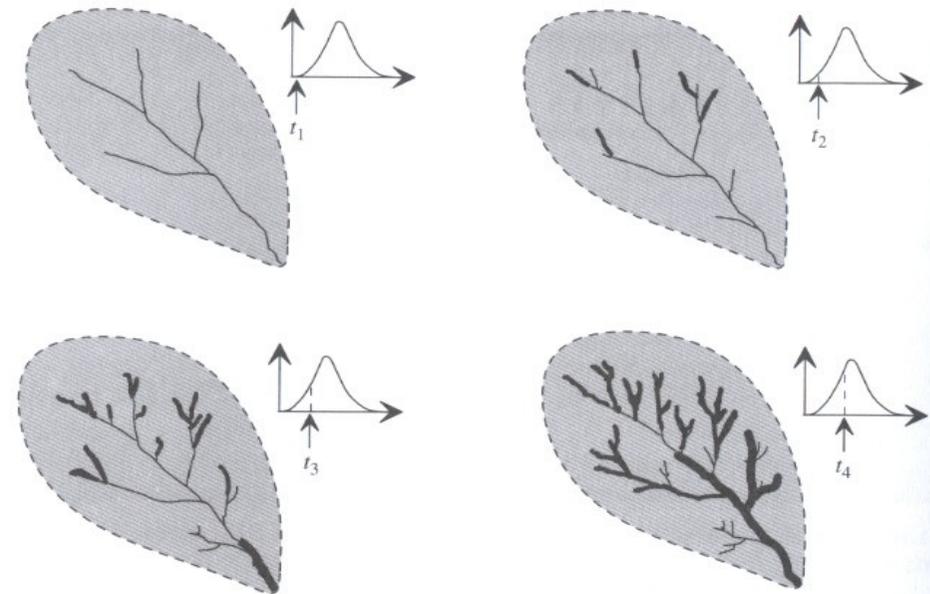


Fig. 11.11 Extension du réseau hydrographique et des surfaces saturées durant une crue pour 4 pas de temps (d'après Chorley, 1978).

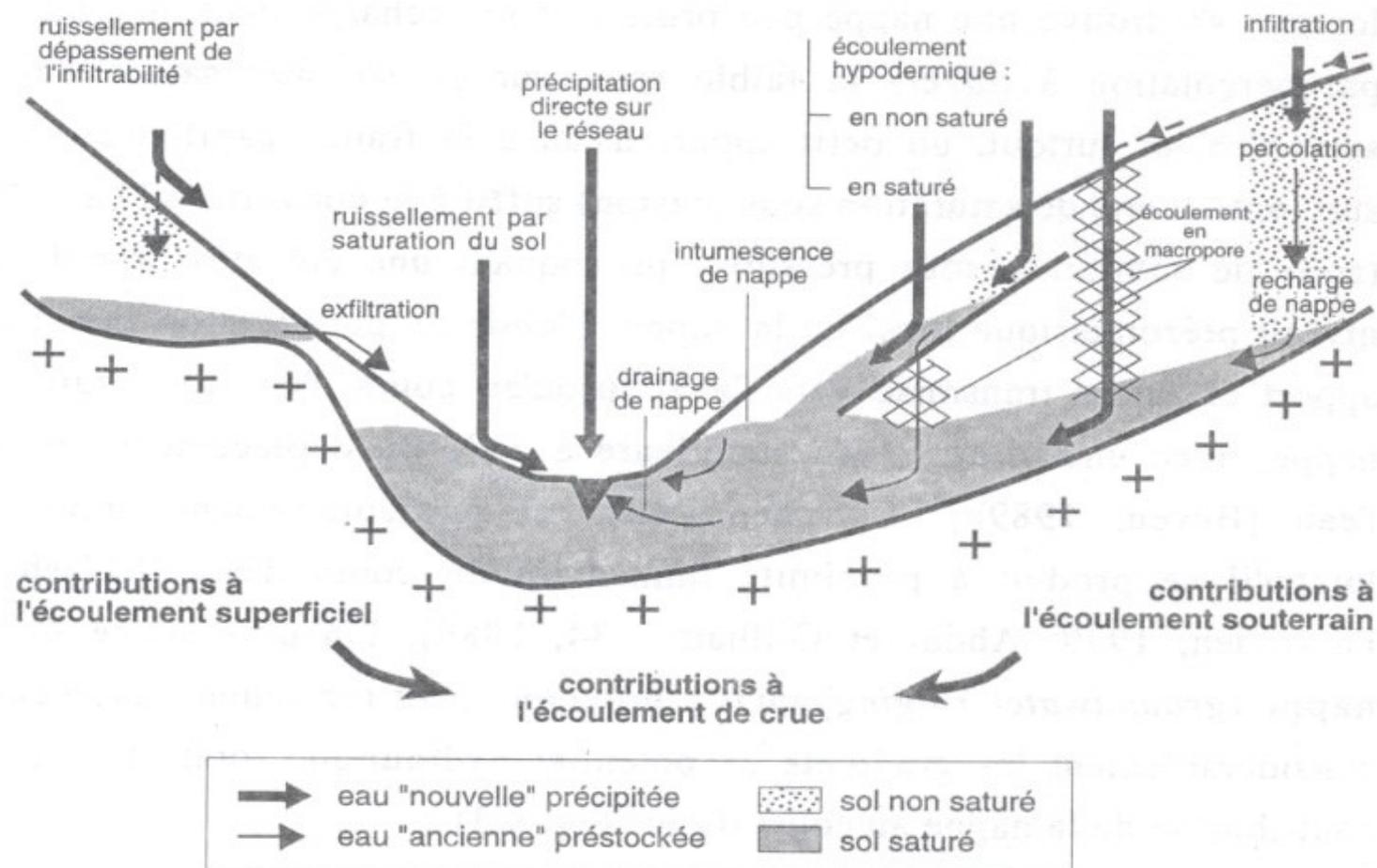
CRUES ET INONDATIONS

1) GÉNÉRALITÉS

2) rappels brefs cours hydrologie

b) La réponse hydrologique

Genèse des débits de crues



CRUES ET INONDATIONS

1) GÉNÉRALITÉS

2) rappels brefs cours hydrologie

b) La réponse hydrologique

Genèse des débits de crues (effet des conditions initiales)

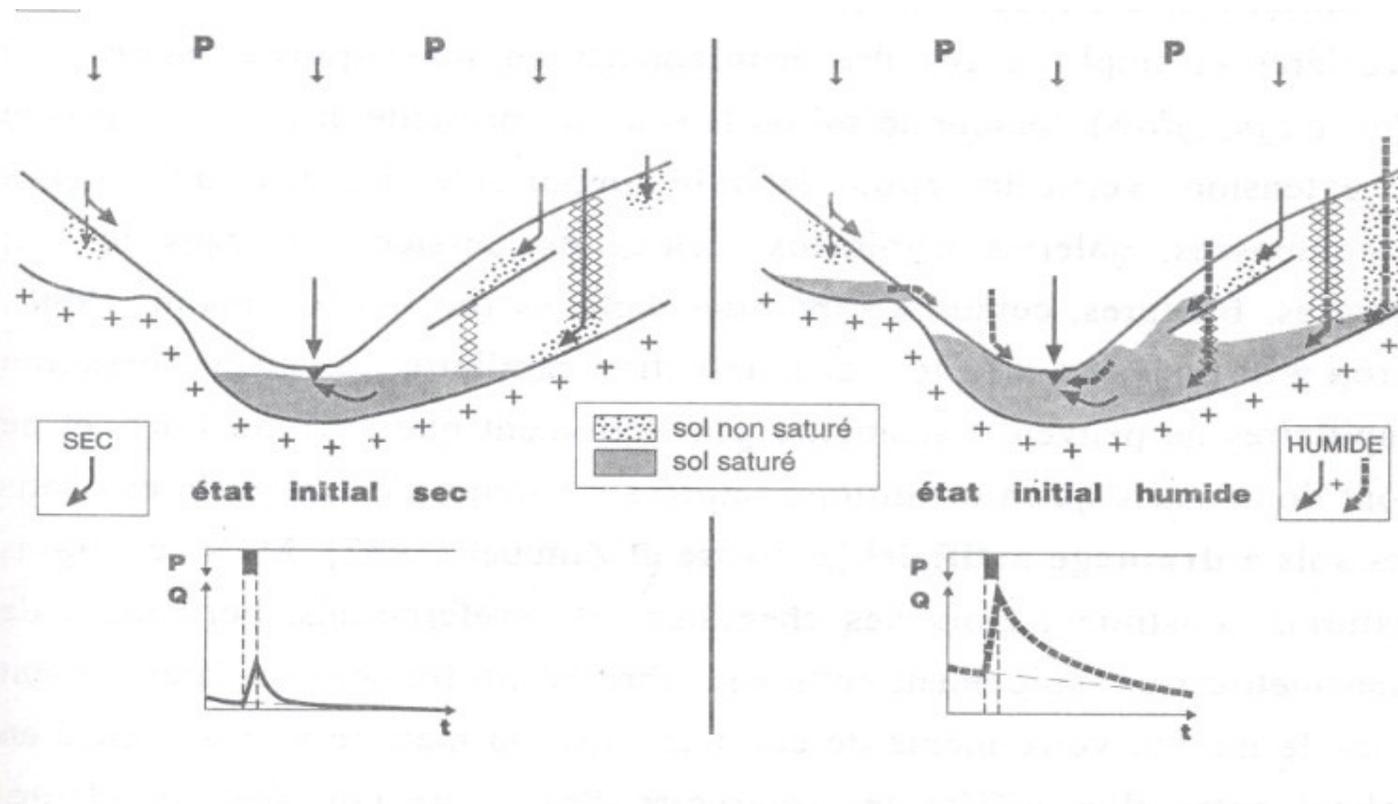


Figure 4.2: Genèse des débits de crues: (a) principaux processus d'écoulement superficiels et souterrains, et ancienneté relative de l'eau concernée; (b) effet des conditions initiales sur leur activation.

II) LES CRUES

1) Définitions

Définition: Une crue correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit

Hydrogramme de crue:

- Tarissement (avant la pluie nette)
- Cru
- Décru
- Tarissement (après)

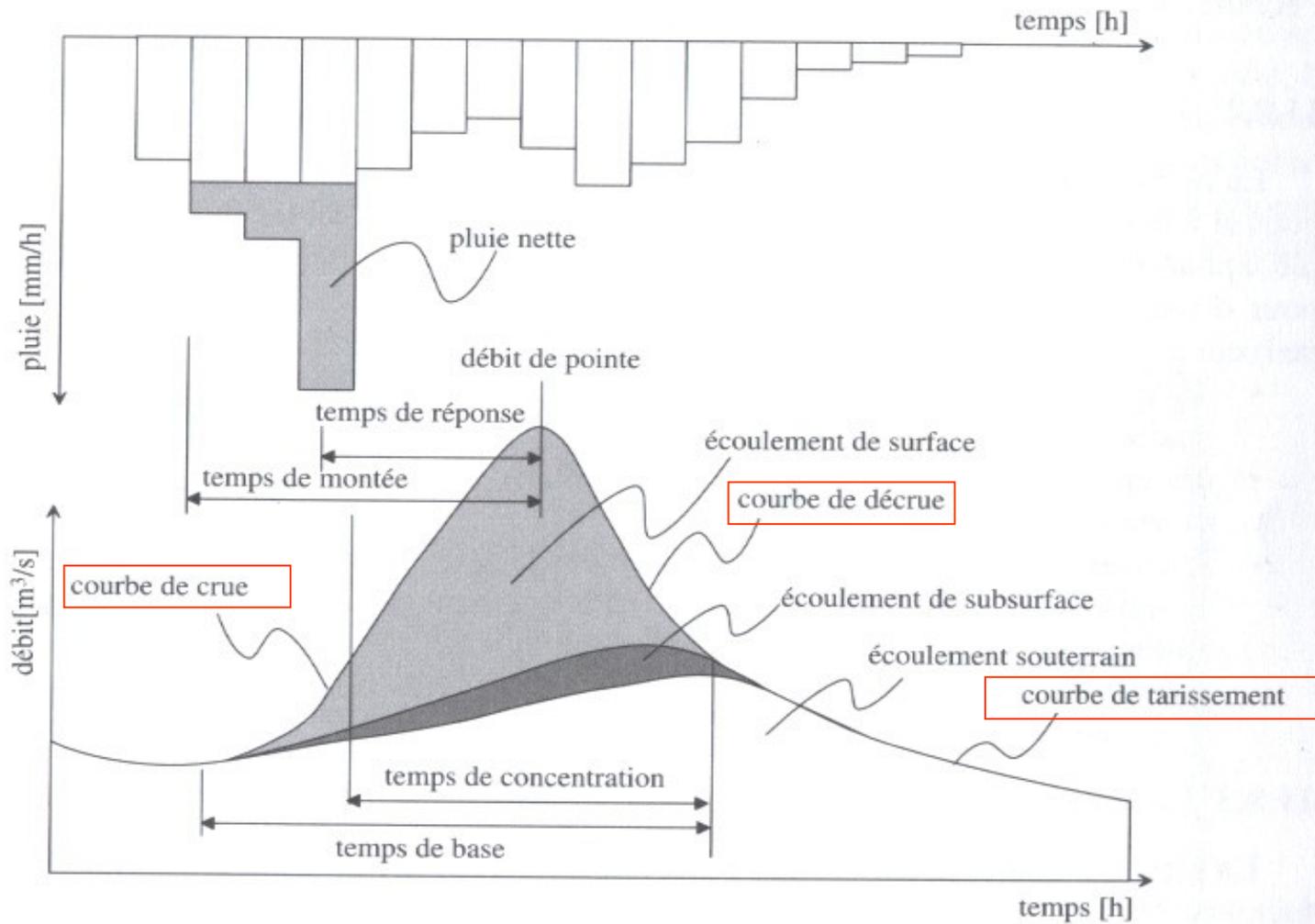
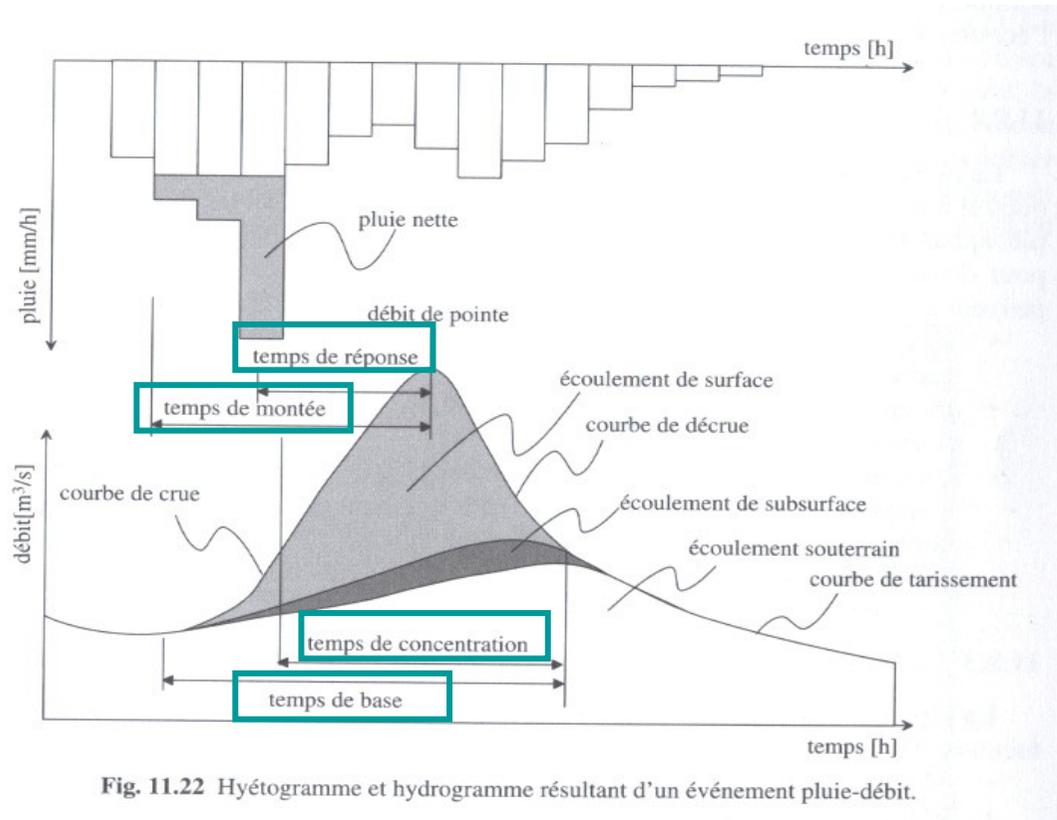


Fig. 11.22 Hyétochrome et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit.

II) LES CRUES

1) Définitions

Définition: Une crue correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit



Temps caractéristiques:

- 1) Temps de réponse du bassin
- 2) Temps de concentration
- 3) Temps de montée
- 4) Temps de base

Facteurs déclenchants:

- 1) taux d'infiltration et ruissellement
(nature du couvert végétal, saturation des sols, urbanisme...)
- 2) temps de concentration et d'écoulement des eaux pour parvenir à l'exutoire (profil, forme du bassin versant)

II) LES CRUES

1) Définitions

Définition: Une crue correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit

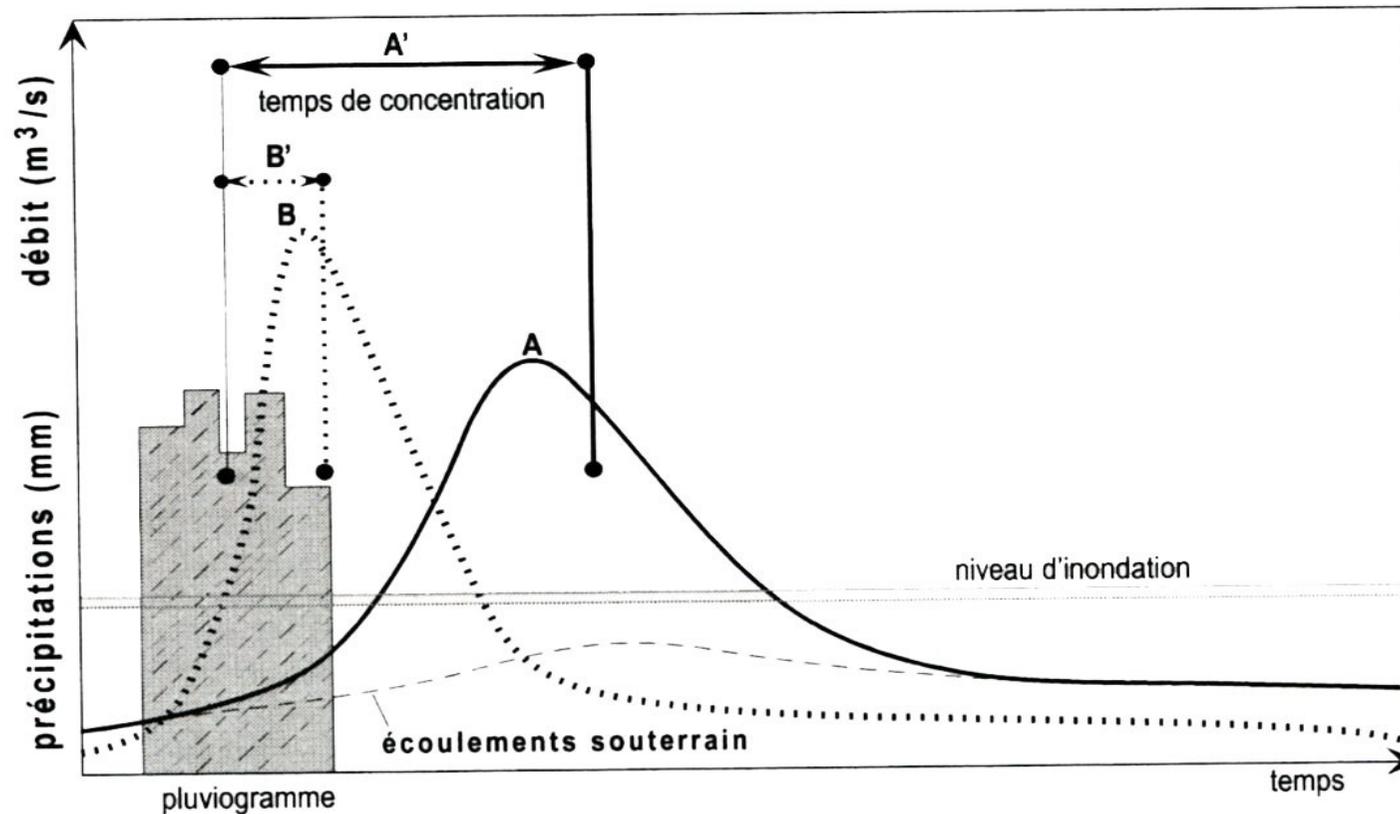


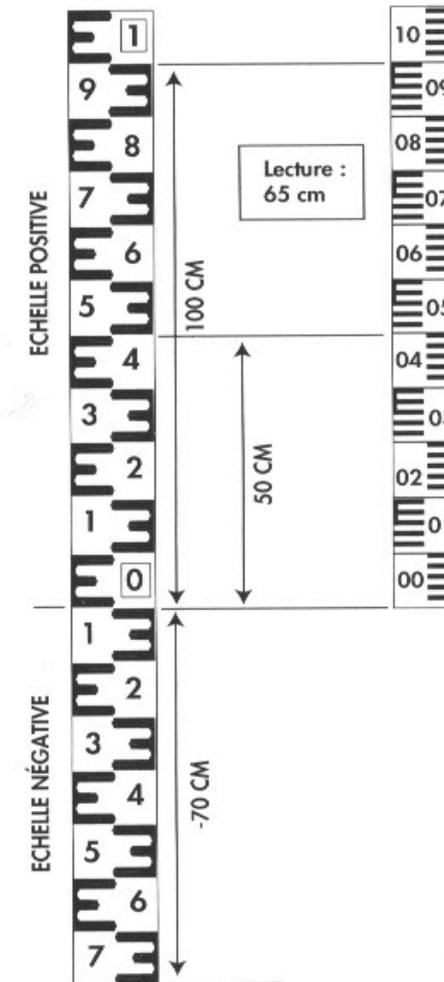
Figure 6.5 Hydrogrammes de crues et pluviogramme. A : crue lente ; B : crue rapide ; A' : temps de concentration des eaux lors d'une crue lente ; B' : temps de concentration des eaux lors d'une crue rapide (Inspiré de Casati et Pace, 1996).

II) LES CRUES

2) Mesures du débit



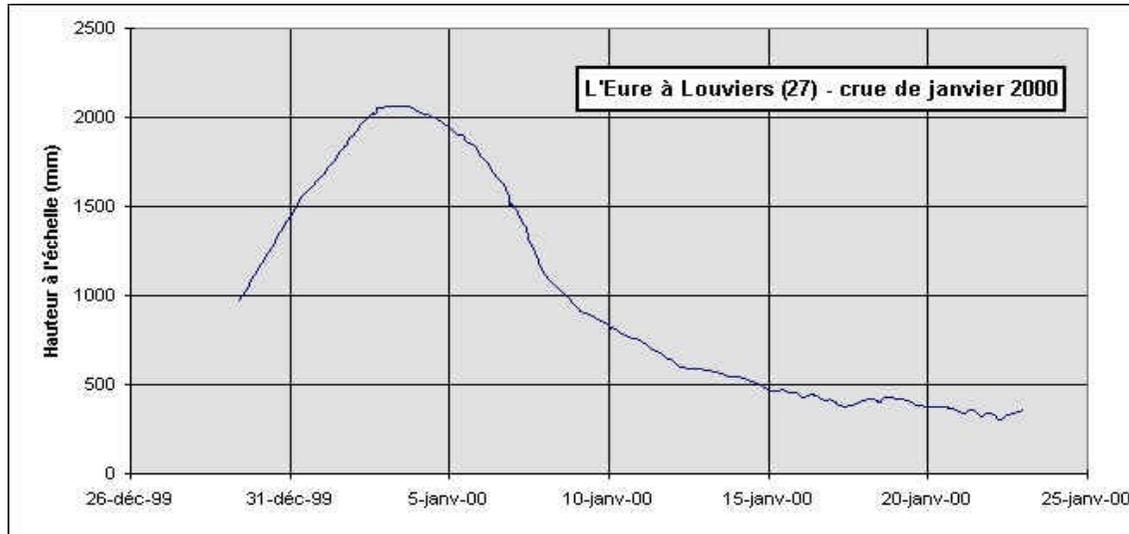
- **Station hydrométrique sur la Béthune à St Aubin (photo DIREN Haute-Normandie)**



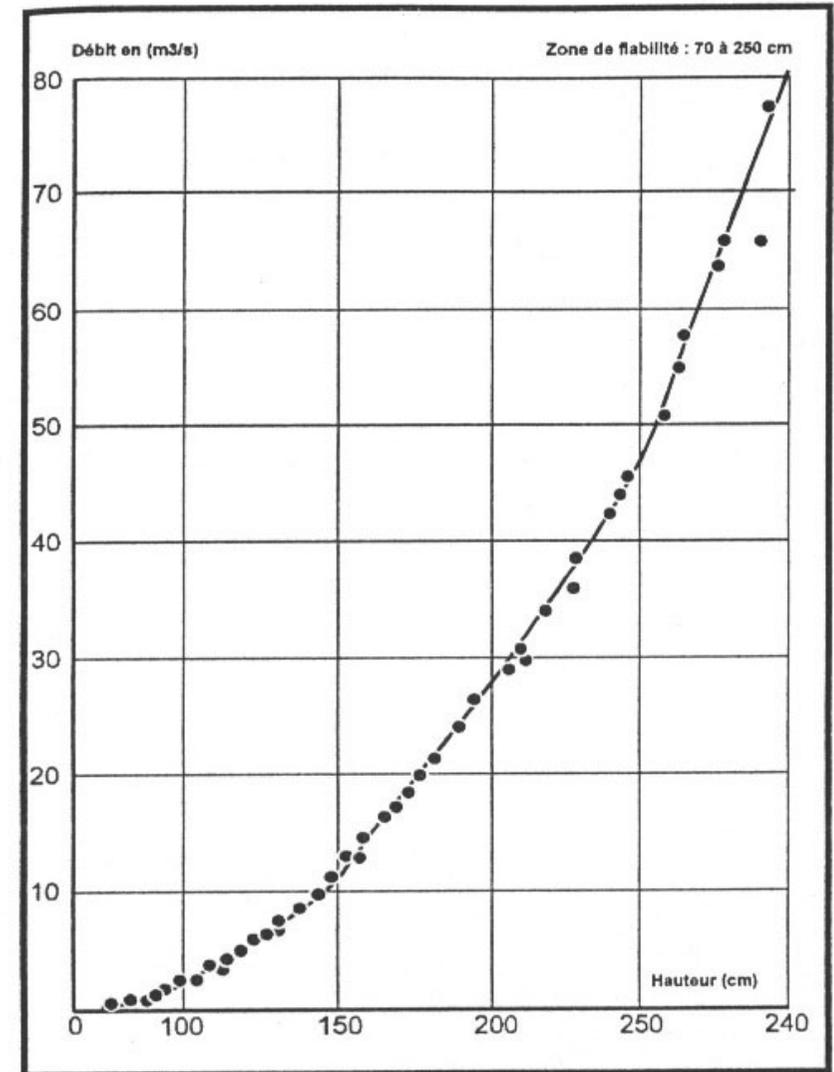
Echelle limnimétrique (source : Le prélèvement en rivière – Guide technique Agence de l'Eau Loire-Bretagne, janvier 1999)

II) LES CRUES

2) Mesures du débit



- **Limnigramme** (source : DIREN HN)



"classique" (Arcelot)

- **Courbes de tarage** (source : Charte qualité de l'Hydrométrie)

II) LES CRUES

3) Classification des crues

- a) Les crues lentes**
- b) Les crues à cinétique rapide**
 - Les crues instantanées**
 - Les crues subites**
 - Les crues rapides**

II) LES CRUES

3) Classification des crues

4) Fréquence des crues

A partir d'une chronique de débit sur n années, il est possible de calculer le temps de retour

Il faut classer la distribution du plus grand au plus petit

Temps de retour : $Tr = (n+1)/i$

Probabilité d'observer une crue dont le débit est
> À une certaine valeur : $P = i/(n+1)$

II) LES CRUES

3) Classification des crues

4) Fréquence des crues

Temps de retour : $Tr = (n+1)/i$

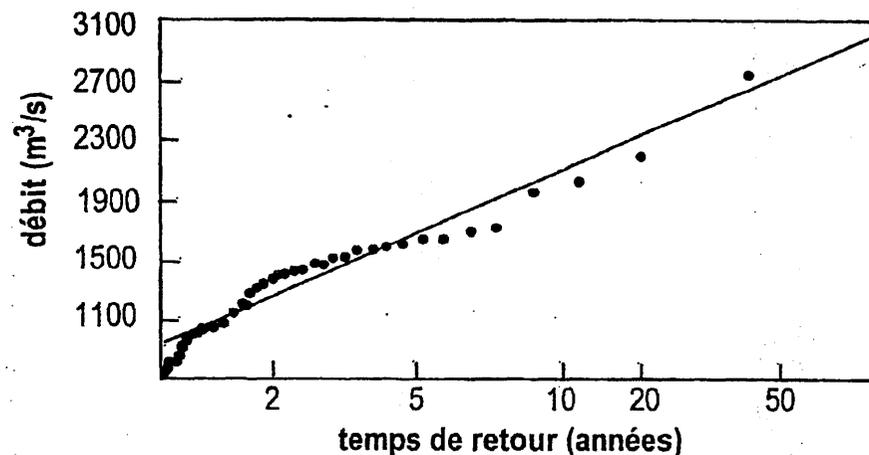


Figure 6.7 Temps de retour des crues de la rivière Tevere (région de Rome, Italie) en fonction du débit du cours d'eau, obtenu par la méthode de Gumbel sur la base de 41 années (d'après Casati et Pace, 1966).

	sur 1 an	sur 30 ans	sur 100 ans
Crue décennale (fréquente)	10 % 1 « chance » sur 10	96 % « sûrement une fois »	99,997 % « sûrement une fois »
Crue centennale (rare)	1 % 1 « chance » sur 100	26% 1 « chance » sur 4	63 % 2 « chances » sur 3
Crue millénaire (exceptionnelle)	0,1 % 1 « chance » sur 1000	3% 1 « chance » sur 33	10% 1 « chance » sur 10

Tableau 6.1 Probabilité d'occurrence d'une crue de fréquence donnée sur une période définie. (d'après : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement (1999)).

II) LES CRUES

5) Prédiction des crues

Objectif : prédire les variations de sorties du bassin, le débit de la rivière, en fonction des variables d'entrée : les précipitations

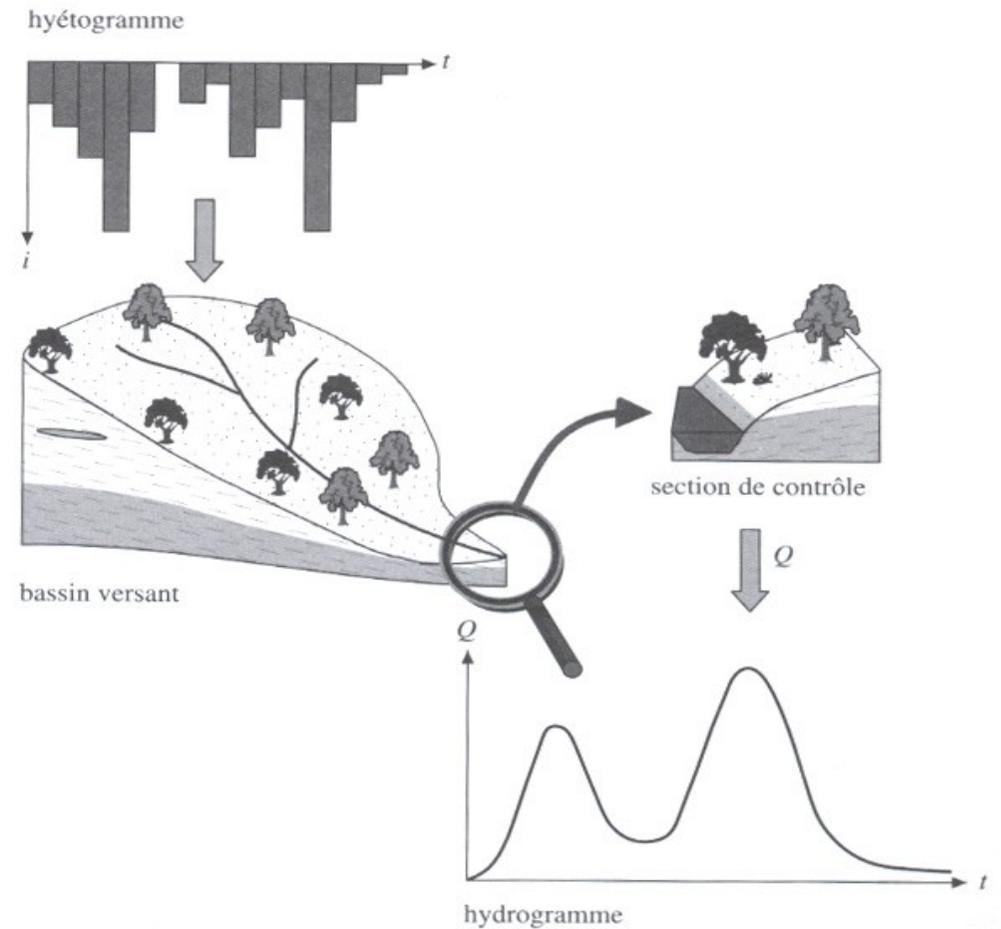


Fig. 11.20 Illustration du principe de la réponse hydrologique d'un bassin versant.

II) LES CRUES

5) Prédiction des crues

Objectif : prédire les variations de sorties du bassin, le débit de la rivière, en fonction des variables d'entrée : les précipitations

Méthodes :

- Méthode déterministe (à base physique)
- Méthode par fonction de transfert (hydrogramme unitaire)

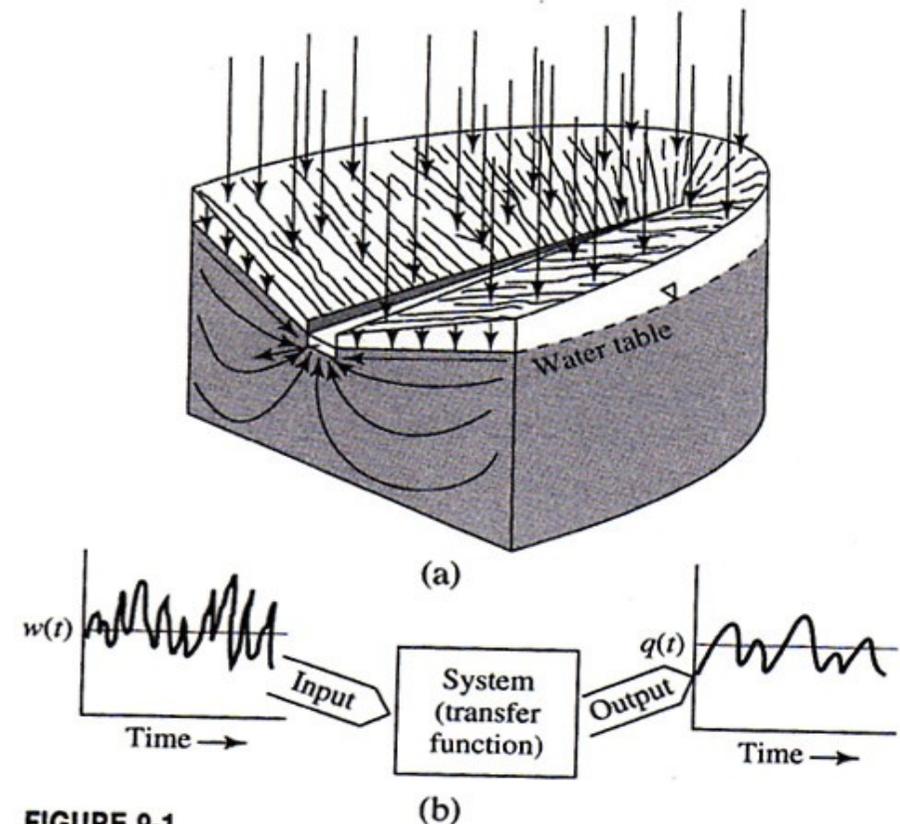


FIGURE 9-1
(a) Schematic flow paths in a small upland watershed receiving water inputs: the transparent box view of a watershed. (b) The black box (systems) view of a watershed as an algorithm generating outputs from specified inputs.

II) LES CRUES

5) Prévision des crues

a) Physique des  coulements   surface libre

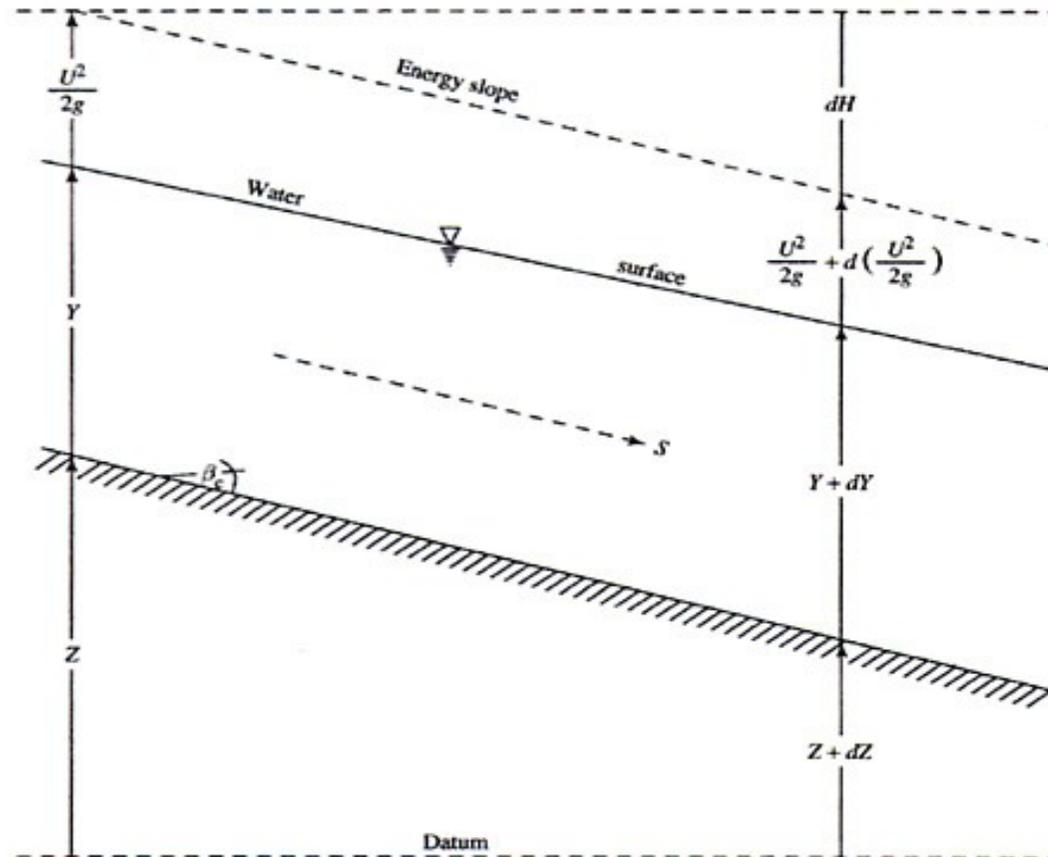


FIGURE 9-4
Definitions of terms for deriving the energy equation for open-channel flow in Box 9-1.

II) LES CRUES

5) Prévision des crues

a) Physique des  coulements   surface libre

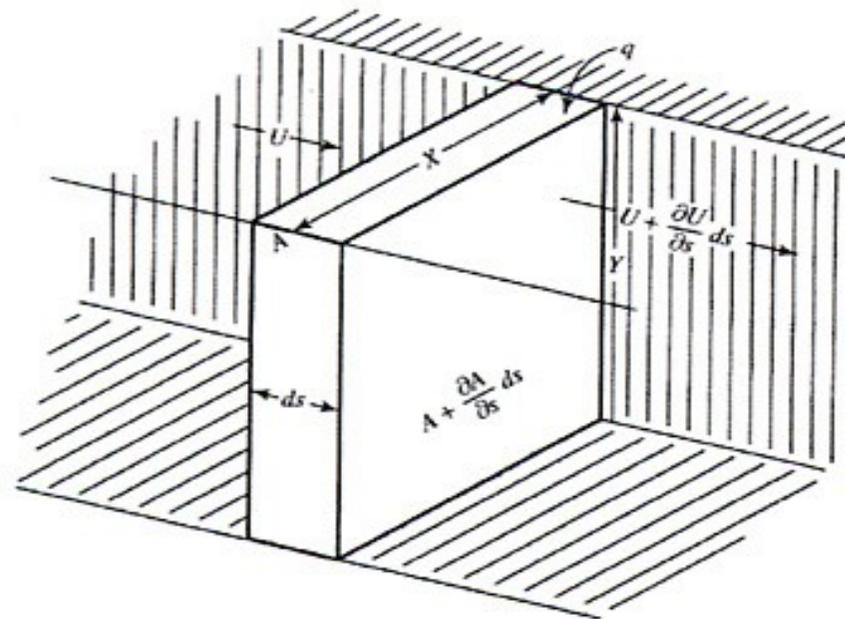
Complete (St. Venant) Equations

Energy
$$\frac{dH}{ds} = \tan \beta_c - \frac{\partial Y}{\partial s} - \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial s} - \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (9B1-4)$$

Continuity
$$q - U \frac{\partial A}{\partial s} - A \frac{\partial U}{\partial s} = \frac{\partial A}{\partial t} \quad (9B2-5)$$

FIGURE 9-6

Definitions of terms for deriving the continuity equation for open-channel flow in Box 9-2.



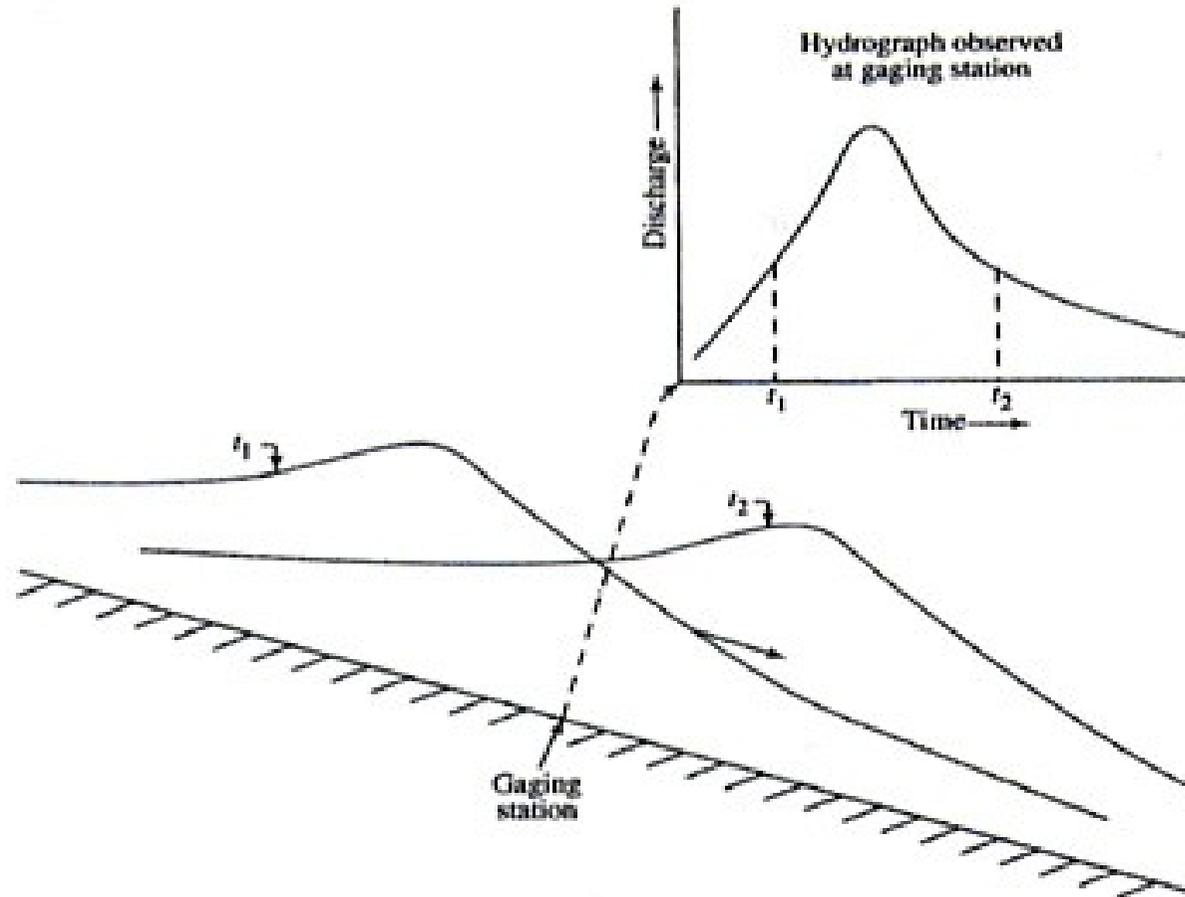
II) LES CRUES

5) Prévision des crues

a) Physique des  coulements   surface libre

FIGURE 9-3

A stream hydrograph during a water-input event is the picture made by an observer at a fixed point of a flood wave moving downstream.



II) LES CRUES

5) Prévision des crues

a) Physique des  coulements   surface libre

TABLE 9-2
Open-Channel Flow Equations^a

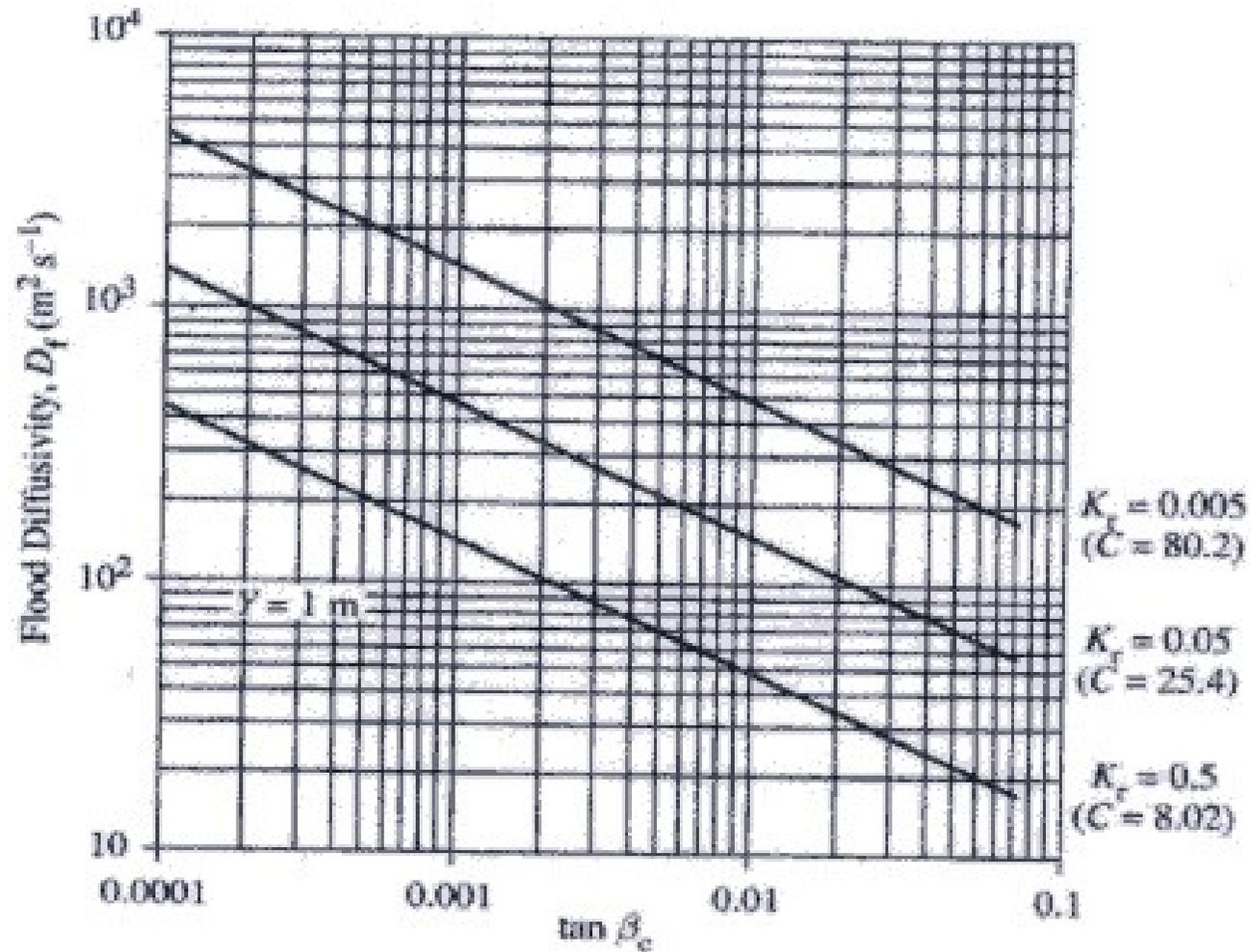
Complete (St. Venant) Equations		
Energy	$\frac{dH}{ds} = \tan \beta_c - \frac{\partial Y}{\partial s} - \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial s} - \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t}$	(9B1-4)
Continuity	$q - U \frac{\partial A}{\partial s} - A \frac{\partial U}{\partial s} = \frac{\partial A}{\partial t}$	(9B2-5)
Convection-Diffusion Equation (neglecting accelerations; width constant)		
Energy	$\frac{dH}{ds} = \tan \beta_c - \frac{\partial Y}{\partial s}$	(9-13)
Continuity	$q - \frac{\partial Q}{\partial s} = X \frac{\partial Y}{\partial t}$	(9B2-8)
Combined	$\frac{q}{X} - \frac{3}{2} U_u \frac{\partial Y}{\partial s} + \frac{U_u Y}{2 \tan \beta_c} \frac{\partial^2 Y}{\partial s^2} = \frac{\partial Y}{\partial t}$	(9-14)
Kinematic-Wave Equations (neglecting accelerations and depth (pressure) gradients; width constant)		
Energy	$\frac{dH}{ds} = \tan \beta_c$	(9-17)
Continuity	$q - \frac{\partial Q}{\partial s} = X \frac{\partial Y}{\partial t}$	(9B2-8)
Combined	$\frac{q}{X} - \frac{3}{2} U_u \frac{\partial Y}{\partial s} = \frac{\partial Y}{\partial t}$	(9-18)

^a See text and Figures 9-8 and 9-10 for definitions of symbols.

II) LES CRUES

5) Prévision des crues

a) Physique des écoulements à surface libre



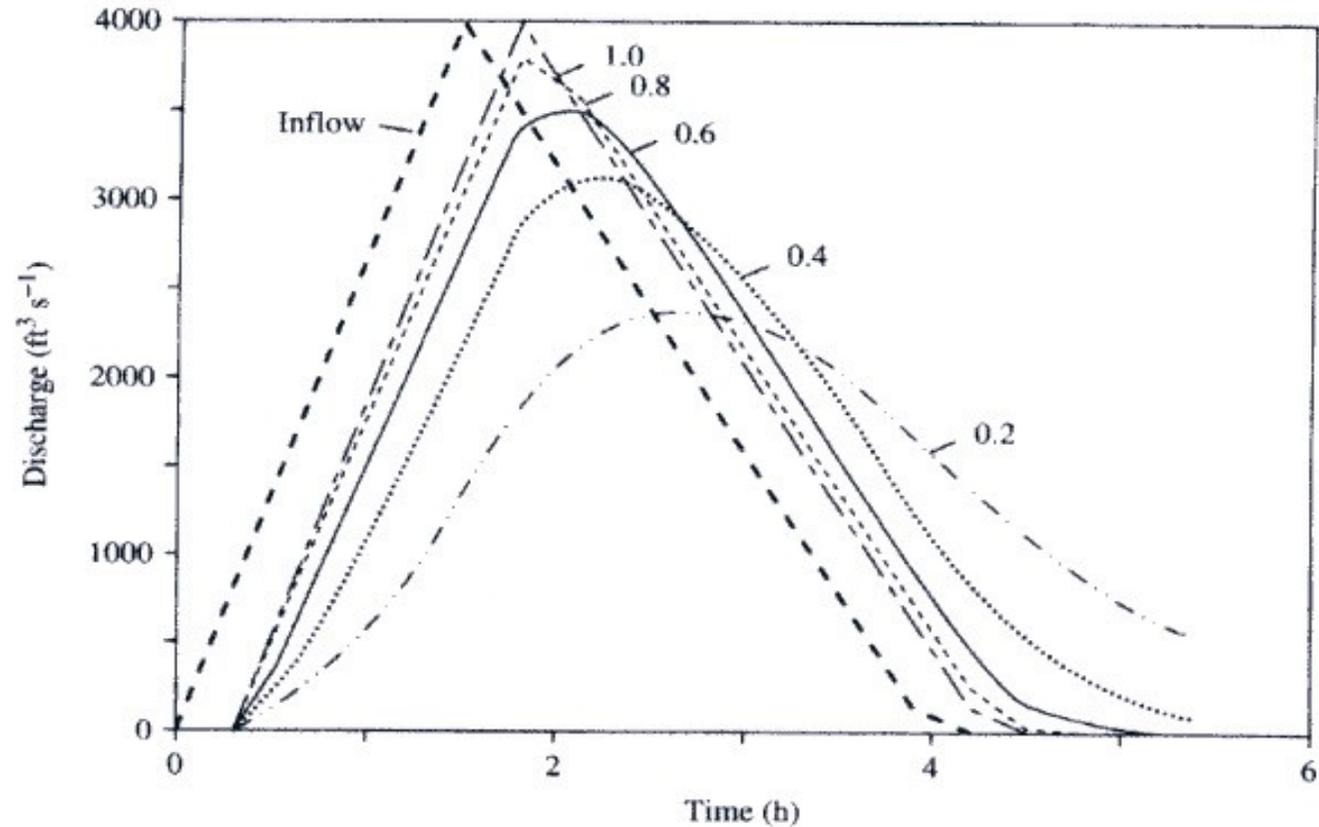
II) LES CRUES

5) Prévision des crues

a) Physique des écoulements à surface libre

FIGURE 9-10

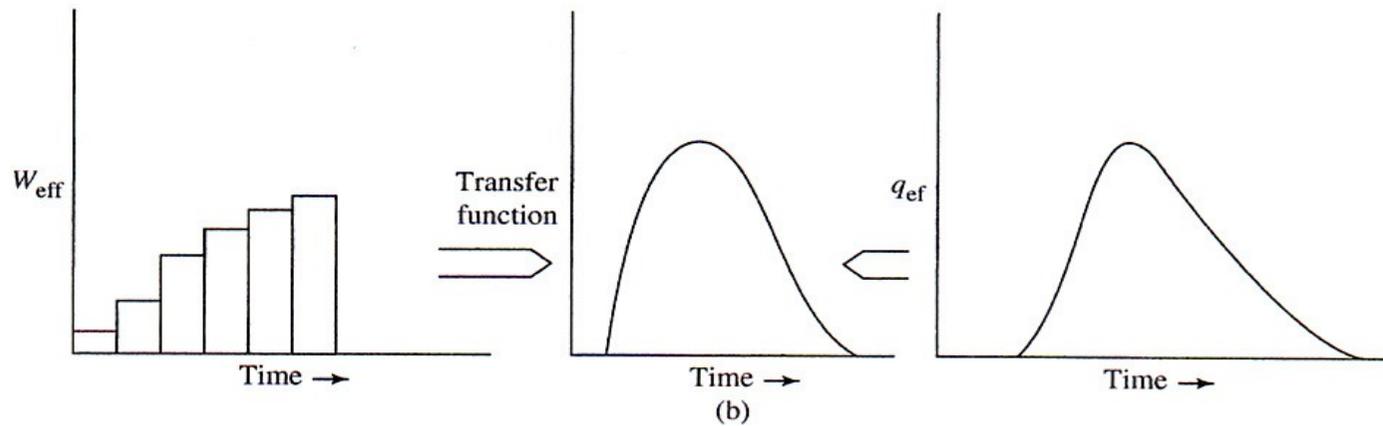
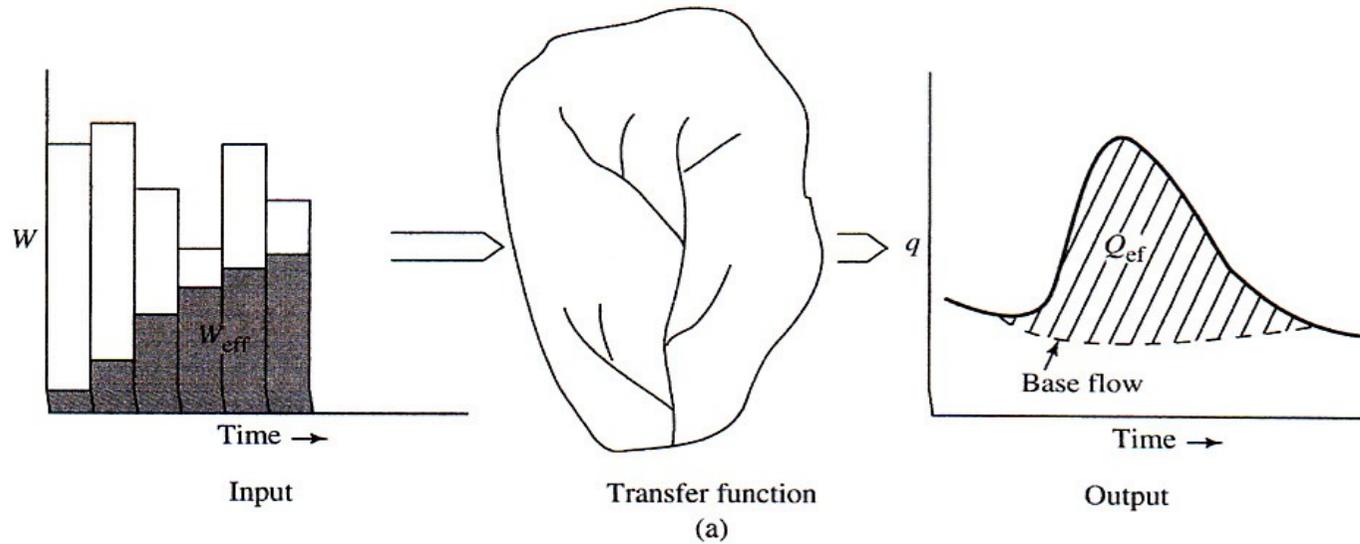
Effect of the routing coefficient, $\Delta t/T^*$, in the convex method on the outflow hydrograph from a hypothetical channel reach. Labels are values of $\Delta t/T^*$. When $\Delta t/T^* = 1$, there is no diffusive effect and the flood wave is purely translatory. Successively smaller values of $\Delta t/T^*$ (longer travel times) successively flatten and delay the outflow peak.



II) LES CRUES

5) Prévision des crues

b) Fonctions de transfert



II) LES CRUES

5) Prévision des crues

b) Fonctions de transfert

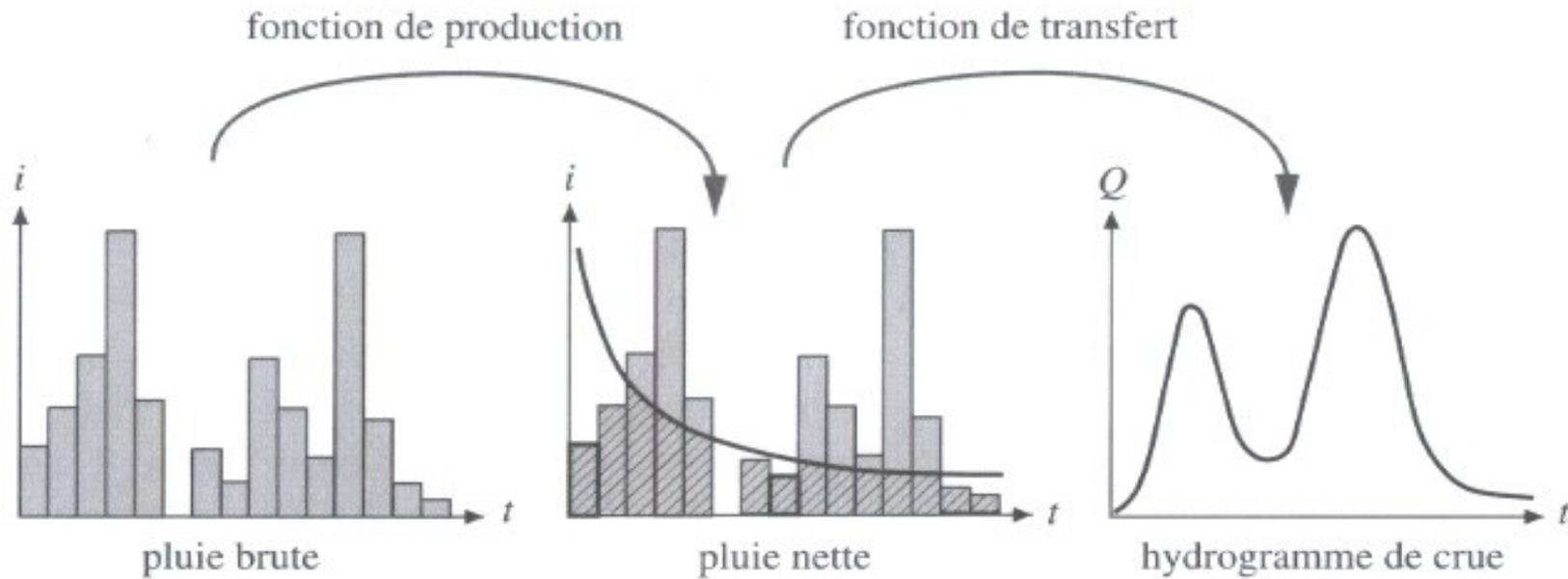


Fig. 11.21 Transformation de la pluie brute en hydrogramme de crue.

Relations Pluie-Débit ??

II) LES CRUES

5) Prévision des crues

b) Fonctions de transfert

Détermination de la pluie nette (les précipitations efficaces)

Estimation de la fonction de production :

Par séparation des
hydrogrammes de crues
(voir TD ou plusieurs
méthodes seront présentées)

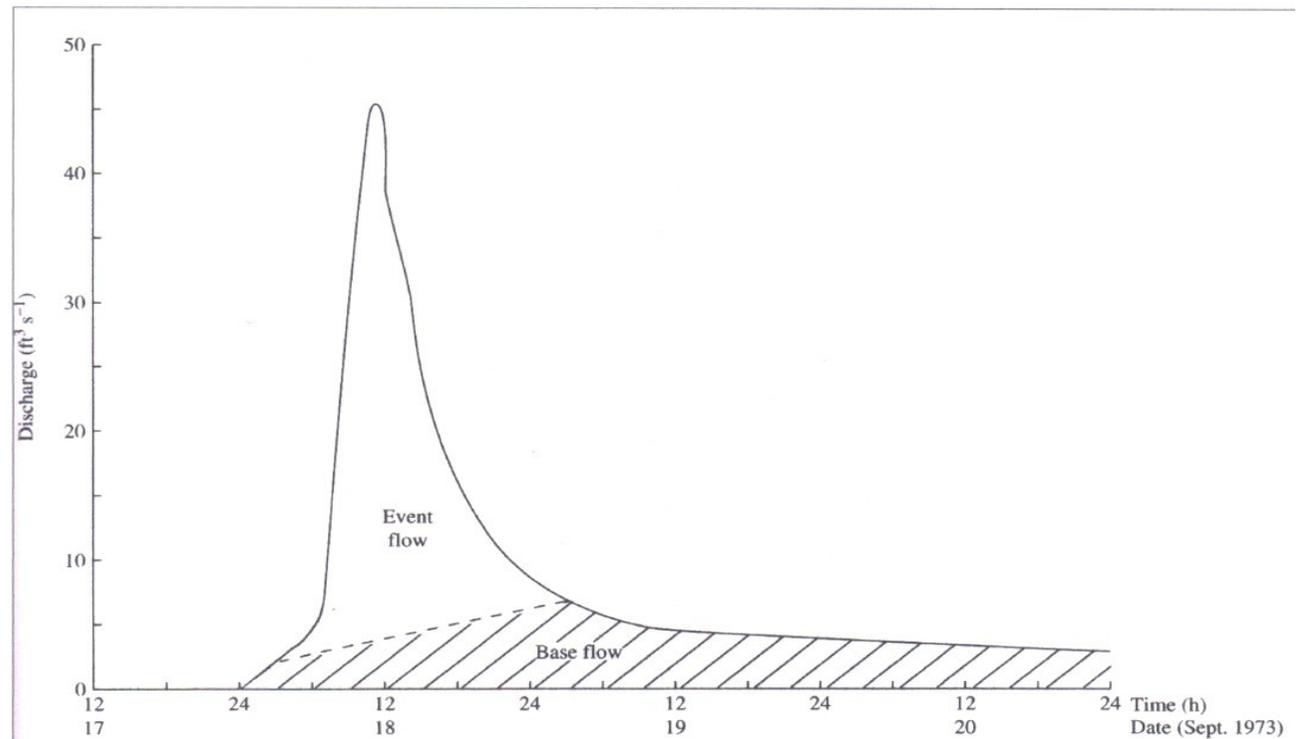


FIGURE 9-14

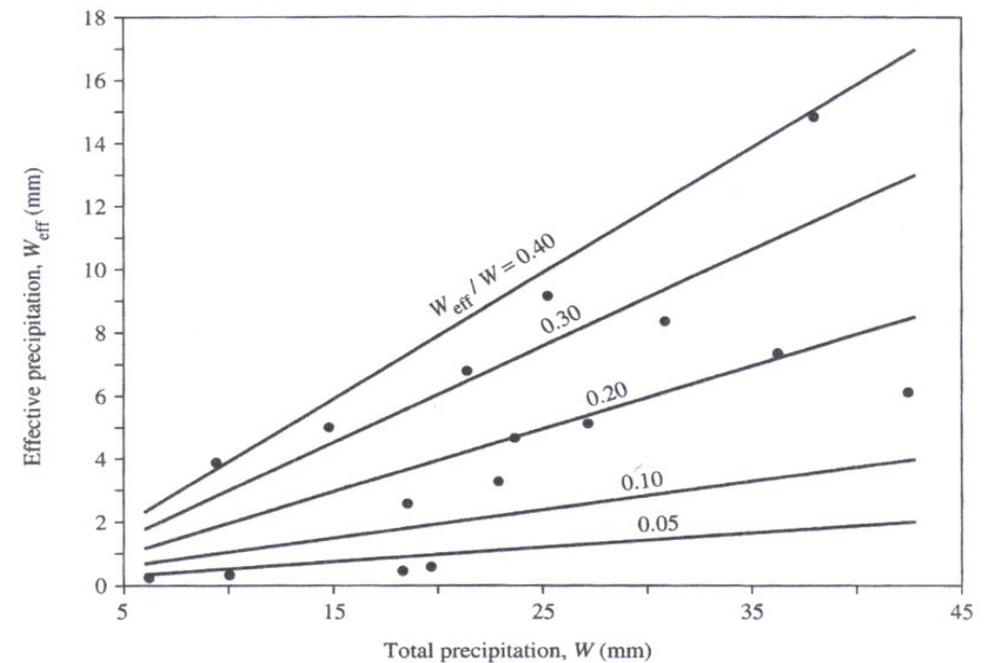
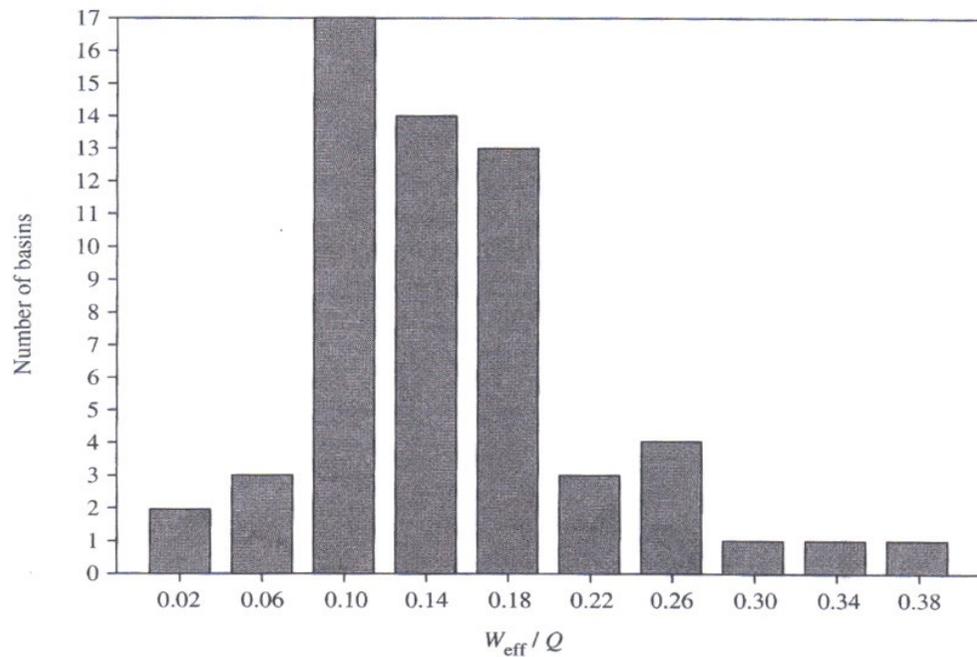
Hydrograph separation applied to the hydrograph of Watershed W-3, Sleepers River Research Watershed, Vermont, in response to rain of 18 September 1973. See Example 9-3.

II) LES CRUES

5) Prévision des crues

b) Fonctions de transfert

Problème de la variabilité des résultats



II) LES CRUES

5) Prévision des crues

b) Fonctions de transfert

Rôle de l'état hydrique du bassin

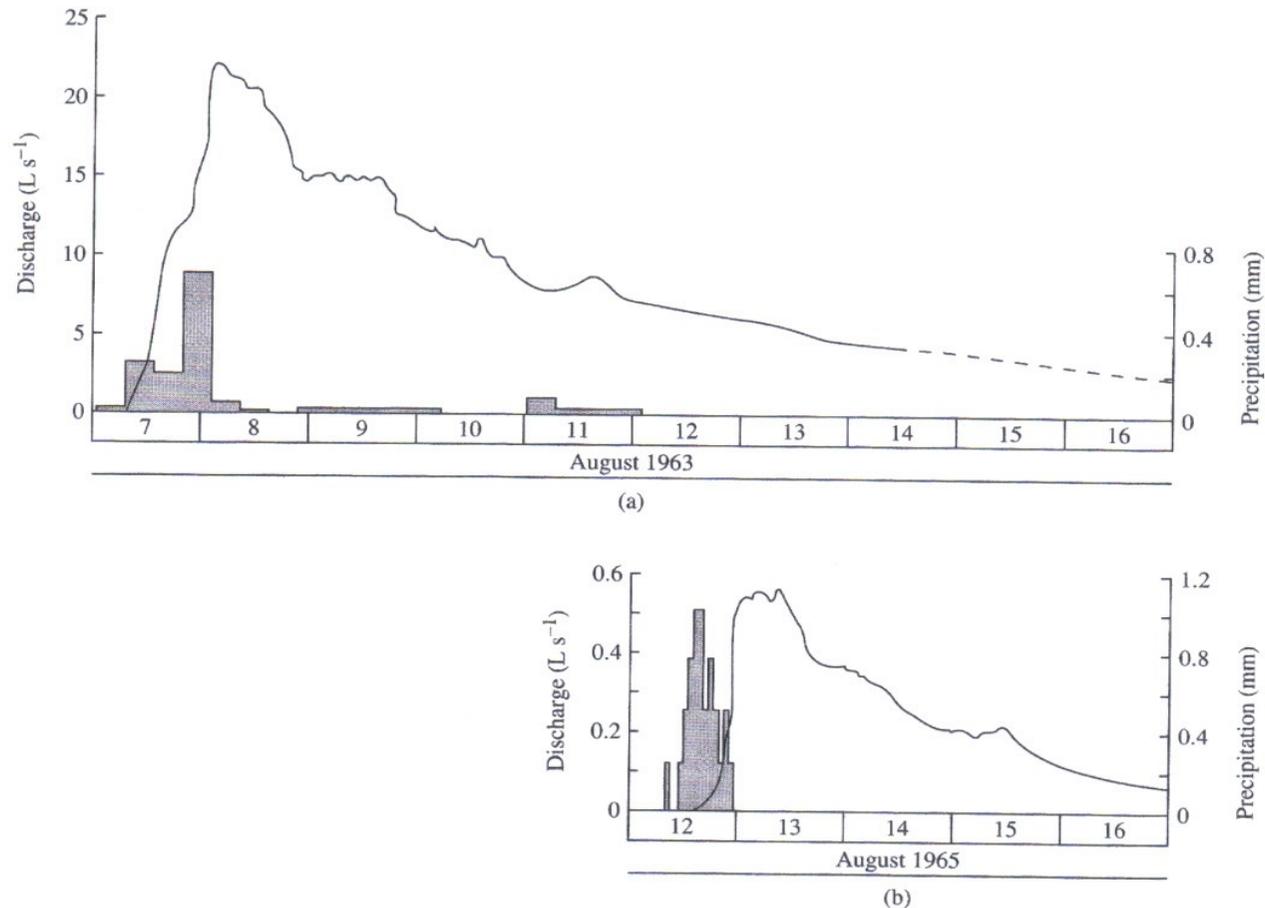


FIGURE 9-18

Hydrographs and hyetographs (histograms) for two similar storms on a 1.6-km² watershed at Barrow, Alaska. Note different scales. (a) August 1963: $W = 7.9$ mm, $t_w = 24$ h; $Q = 5.0$ mm, $Q/W = 0.63$. (b) August 1965: $W = 6.9$ mm, $t_w = 13.5$ h; $Q = 0.08$ mm, $Q/W = 0.012$.

Source: **Physical Hydrology**, Dingman, G&B, SGF, 2003

II) LES CRUES

5) Prévision des crues

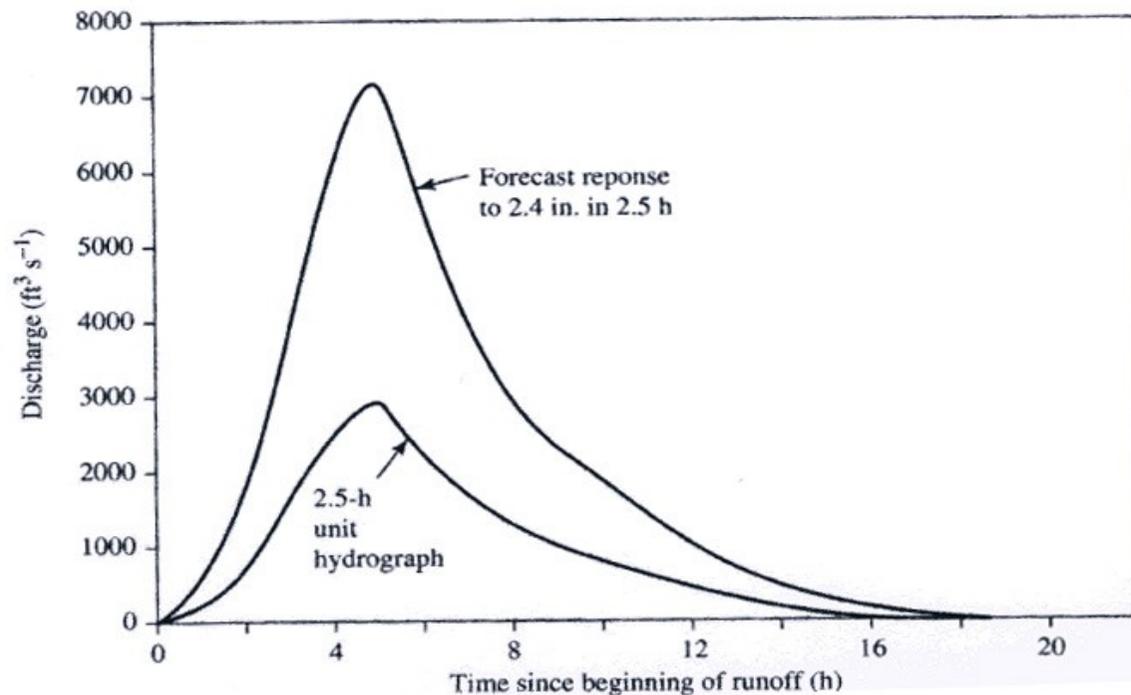
b) Fonctions de transfert

Fonction de transfert la plus connue : l'hydrographe unitaire

« un hydrographe unitaire de T_w heures est la réponse caractéristique d'un bassin-versant donn e pour des précipitations efficaces unitaires appliqu es à un taux (intensité) constant pendant T_w heures » (voir TD)

FIGURE 9-29

The 2.5-h unit hydrograph for a 27.2-mi² watershed in Ohio, as derived by Dunne and Leopold (1978), and the hydrograph given by the unit-hydrograph approach for 2.4 in. of effective rain applied for 2.5 h on that watershed.

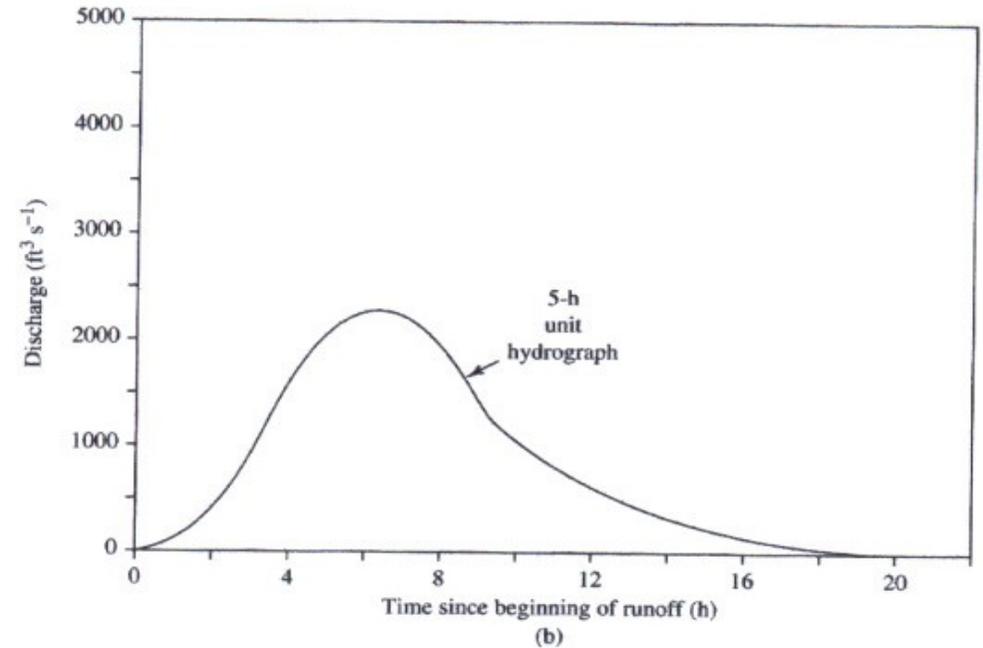
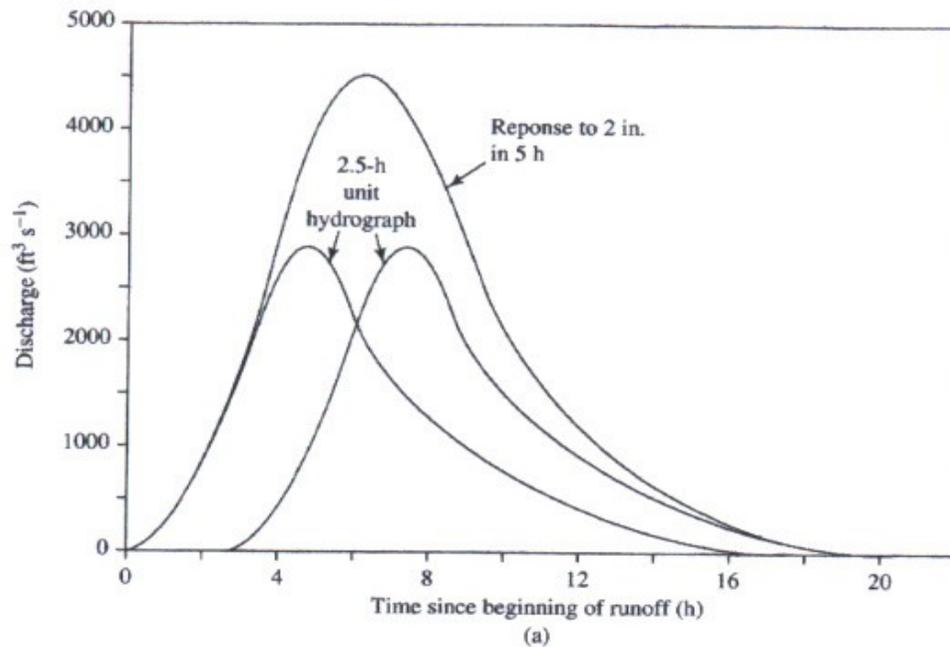


II) LES CRUES

5) Prévision des crues

b) Fonctions de transfert

l'hydrographe unitaire



Principe de construction des hydrographes unitaires

II) LES CRUES

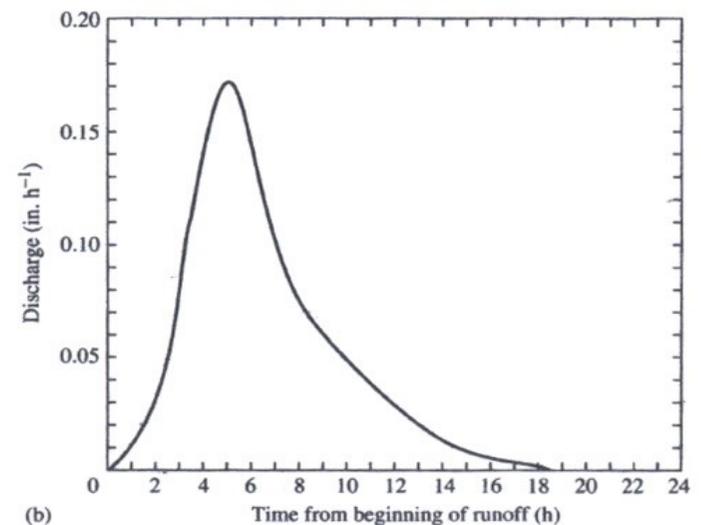
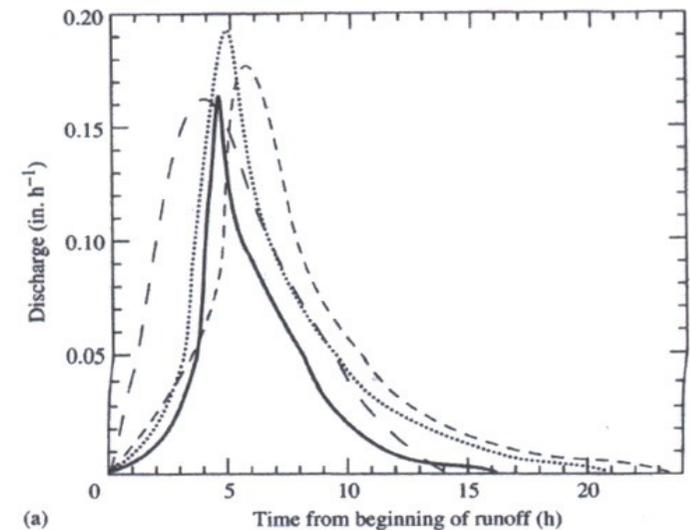
5) Prévision des crues

b) Fonctions de transfert

Exemple de méthode :

- Choisir 4 à 5 hydrogrammes de crues pour des  v enements intenses, de durée approximativement similaire
- Séparer graphiquement Q_{eff} de Q et estimer W_{eff} en mm/h
- Multiplier l'ordonnée par $1/W_{eff}$
- Reporter toutes les courbes sur un même graphique avec la même base temps
- Déterminer un pic moyen et temps moyen
- Réaliser un hydrographe moyen ayant déjà prédéterminer le pic
- Vérifier que l'aire de la surface correspond bien à une unité sinon ajustements

Principe de construction des hydrographes unitaires



II) LES CRUES

5) Prévision des crues

c) Conclusions

Approche déterministe : Physique des écoulements à surface libre

- Approche à base physique qui permet de comprendre le rôle de certaines particularité du bassin, très utile pour la gestion de bassin
- Difficulté d'application pour la prévision des crues car impossibilité de connaître l'ensemble des paramètres et des états à un instant donné

Fonction de transfert : l'hydrographe unitaire

- Approche relativement simple et facile d'application
- Manque de bases physiques
- Difficulté d'estimer W_{eff}
- Pas de prise en compte de la variabilité temporelle des aires contributives dans le bassin (qui induisent une variabilité des temps caractéristiques)
- La réponse du bassin dépend de son état hydrique, c'est-à-dire des conditions passées, or cette approche linéaire ne prend pas cela en compte