

Présenté par : **ABDI Ishak**

Maitre assistant -A- à l'université de Jijel

Analyse et modélisation hydrologique

Modélisation hydrologique

Cours Magistral destiné aux étudiant de 1^{ere} année master hydraulique



Objectif du chapitre

- **Présenter le principe des outils mathématiques utilisés dans les modèles conceptuels pluie-débit**
- **Comprendre le fonctionnement d'un modèle**
- **Présenter quelques modèles existants**

Introduction

La modélisation hydrologique est une discipline des sciences hydrologiques qui s'intéresse principalement au cycle hydrologique afin d'aboutir à un outil de travail exploitable dans différents domaines.

Au cours de ces dernières années, les efforts de la recherche pour la compréhension du cycle de l'eau dans les milieux naturels (bassins versants, rivières, nappes, ...etc.), associés aux développements de l'informatique, se sont concrétisés par l'apparition d'une multitude de modèles mathématiques.

Un modèle est une représentation sous une forme quelconque d'un objet, d'un processus, ou d'un système.

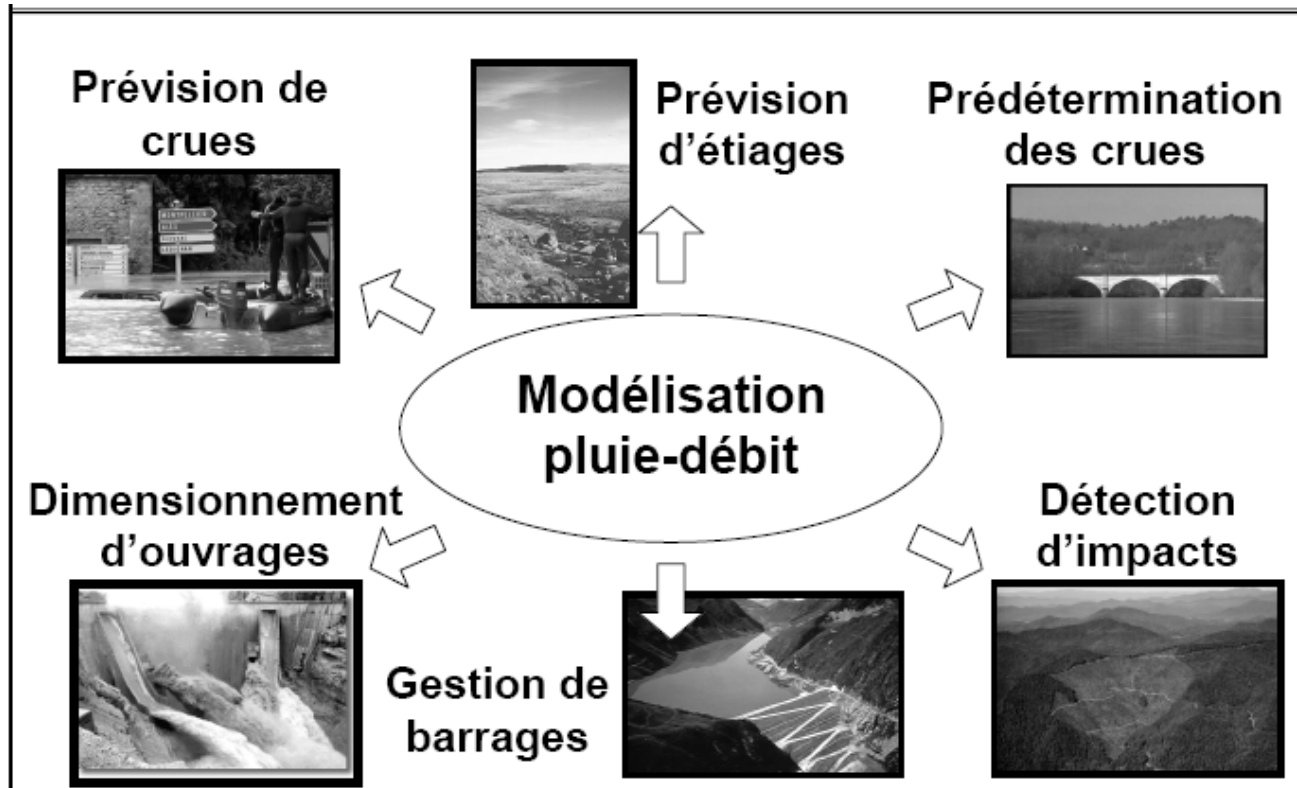
Un modèle hydrologique est défini comme la représentation simplifiée de tout ou partie des processus du cycle hydrologique par un ensemble de concepts hydrologiques, exprimés en langage mathématique et reliés entre eux dans des séquences temporelles et spatiales correspondant à celles que l'on observe dans la nature.

Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Représentation simplifiée d'un système complexe (ici système naturel : bassin versant)
- Moyen de raisonner sur un phénomène / synthèse architecturée de connaissances (outil de recherche)
- Permet de répondre à des questions d'ordre opérationnel (outil d'application)
- Modèles pluie-débit (P-Q):

Outils mathématiques qui permettent de calculer des débits à partir de données de pluie et d'évaporation potentielle

Intérêt d'un modèle hydrologique



1. La modélisation comme outil de recherche :
2. La modélisation comme outil de prévision :
3. La modélisation comme outil d'extrapolation :

Intérêt d'un modèle pluie-débit

- Les débits sont parfois inexistants ou connus sur une durée trop faible
- Les pluies sont plus faciles à observer et à modéliser
- Le délai de prévision est augmenté si l'on remonte aux pluies
- Avec les débits seuls, on ne peut pas faire la différence entre variations climatiques et évolution du bassin

Intérêt d'un modèle pluie-débit

- Les débits sont parfois inexistants ou connus sur une durée trop faible
- Les pluies sont plus faciles à observer et à modéliser
- Le délai de prévision est augmenté si l'on remonte aux pluies
- Avec les débits seuls, on ne peut pas faire la différence entre variations climatiques et évolution du bassin

Classification des modèles hydrologiques

Il existe, dans la littérature, de nombreux modèles hydrologiques de bassins versants ayant chacun leurs spécificités et leur domaine d'application. Une fois le modèle choisi, il faut évaluer sa capacité à représenter la réalité. Ceci se fait le plus souvent en comparant les résultats du modèle avec les observations. C'est une étape très délicate.

Caractéristiques	Type de modèle
Selon la nature de la variable	Modèle déterministe (variables non aléatoires) Modèle stochastique (variables aléatoires)
Traitement de l'espace (Homogénéité du bassin)	Modèle global Modèle semi-distribué (ou semi-global) Modèle spatialisé
Fondement théorique et approche de développement	Modèle empirique Modèle conceptuel Modèle à base physique
l'évolution temporelle	Modèle cinématiques (descriptifs) Modèle dynamiques (explicatifs),
Fonction objectif	Modèle de simulation Modèle de gestion

Classification des modèles hydrologiques

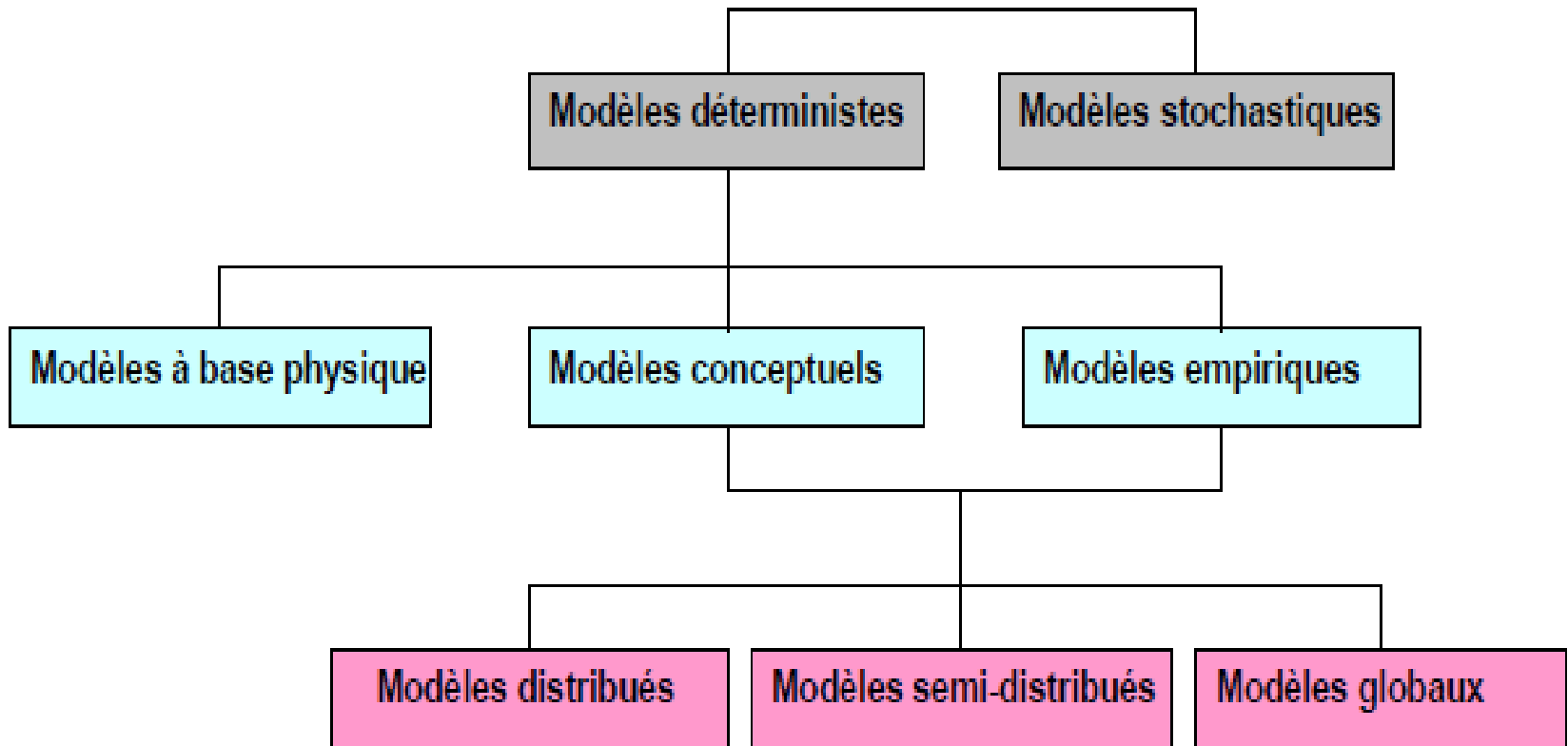
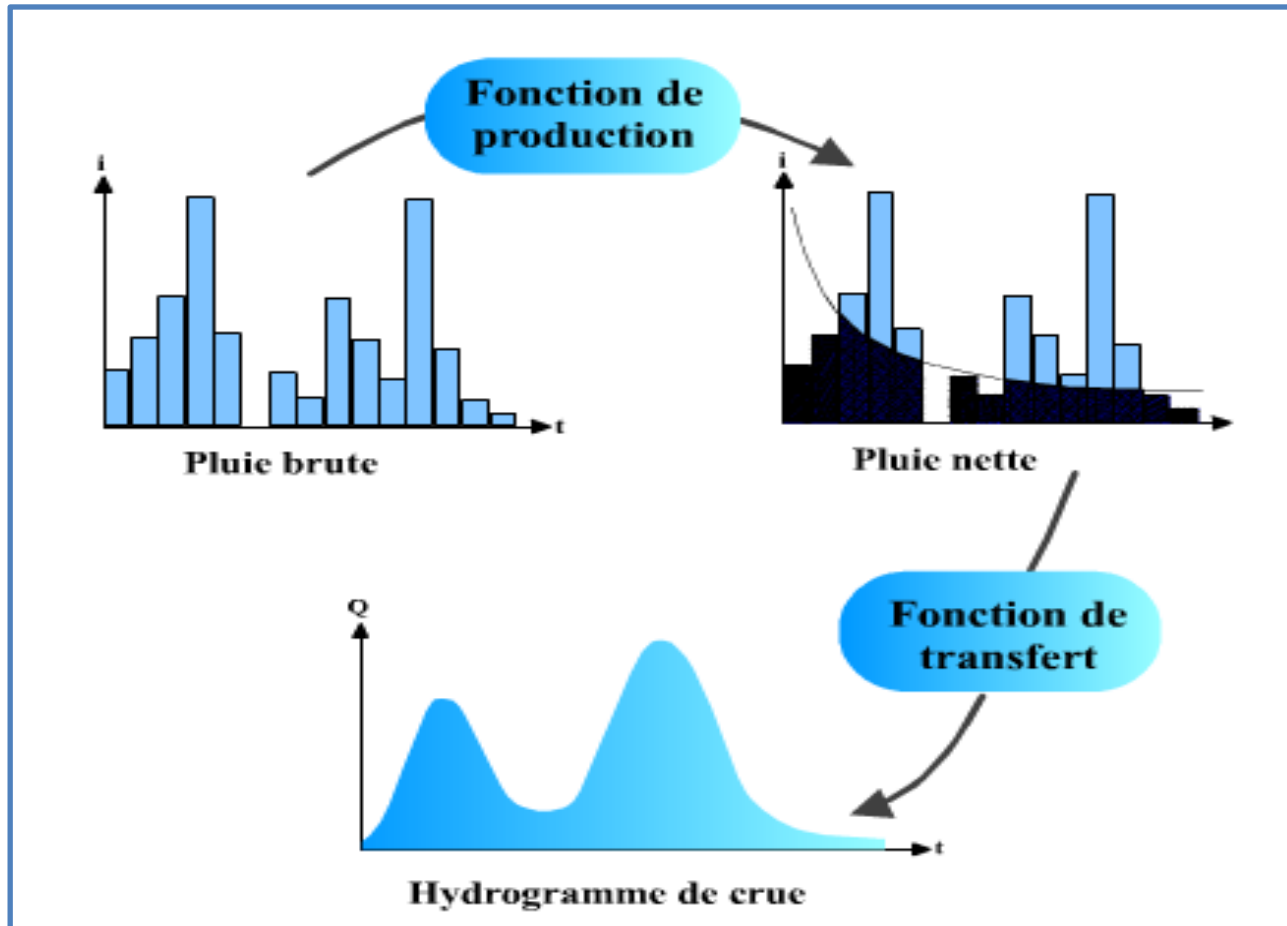


Figure : Relation entre les modèles pluie-débit (Berthier, 2008)

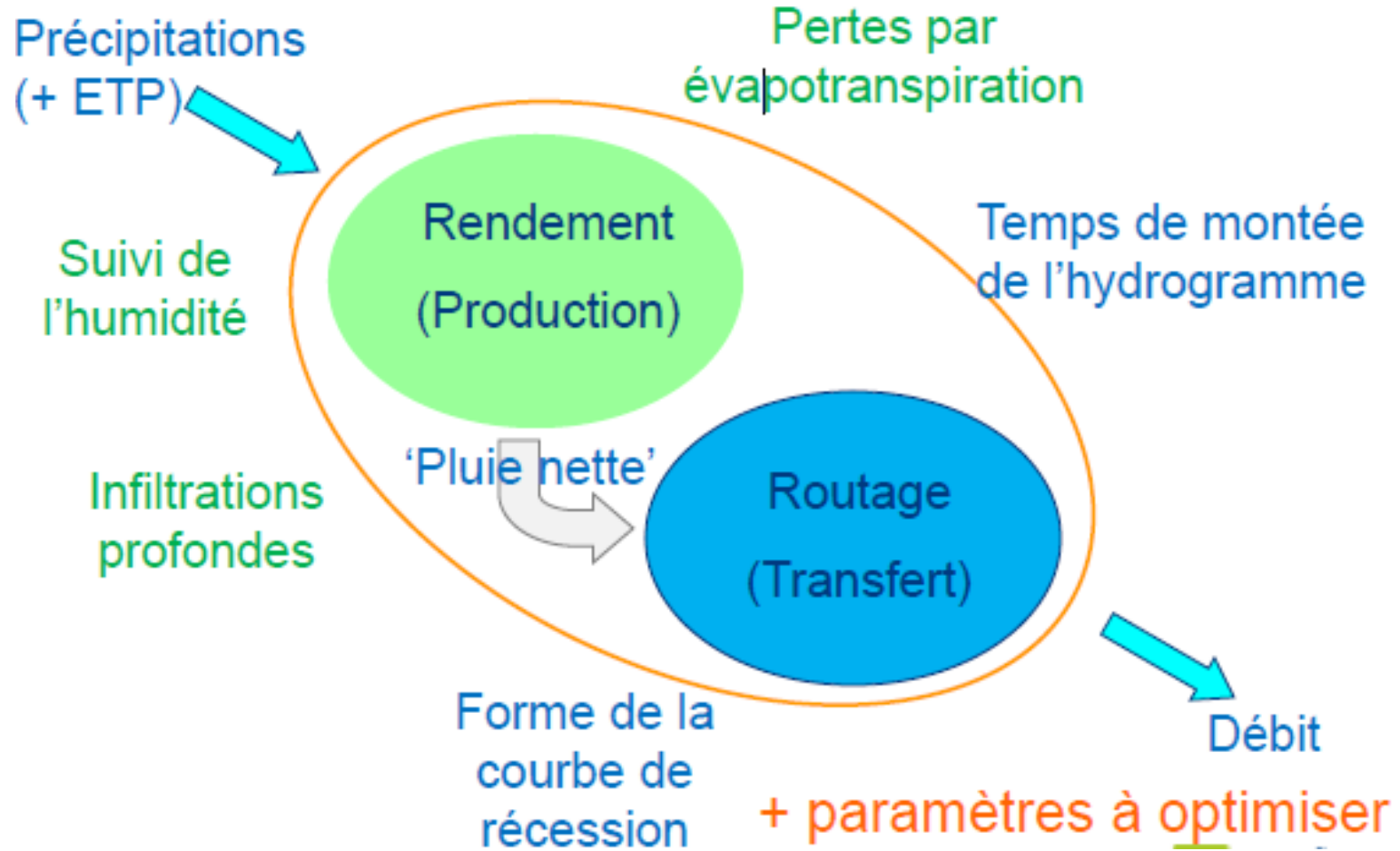
Qualités requises des modèles hydrologiques

- Le modèle doit être basé sur des fondements scientifiques sains ;
- Les données nécessaires au bon fonctionnement du modèle doivent être en accord avec la disponibilité de celles-ci ;
- La complexité du modèle doit être aussi limitée que possible pour atteindre un objectif de performance donné ;
- Le modèle doit être correctement validé, général, transposable et robuste ;
- Le modèle doit être compréhensible par les utilisateurs.

Structure de modèles (pluie – débit)



Structure de modèles (pluie – débit)

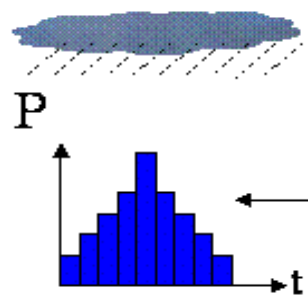


Discrétisation spatiale

Le bassin est discrétisé en mailles carrées régulières. La taille des mailles n'est pas limitative. Les mailles sont caractérisées géographiquement par altitude, direction de drainage, type de sols et d'occupation des sols, et toute autre information géographique additionnelle.

Données hydro-climatiques

Les données hydro-climatiques (pluies, débits, températures ...) sont organisées à pas de temps fixe, à définir entre 1s et 24h. La modélisation est de type événementielle. Les données peuvent être ponctuelles et interpolées dans l'espace, ou spatiales, fournies par satellite ou radar

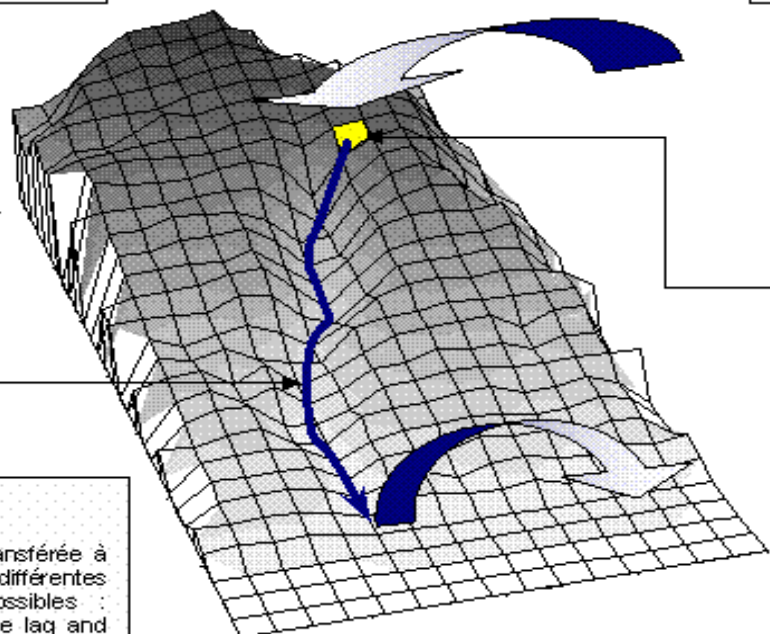
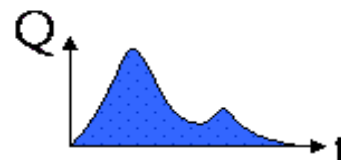


Production

Pour chaque maille à chaque pas de temps, la pluie nette est calculée à l'aide de différentes fonctions de production possibles : SCS, Green&Ampt, Smith&Parlange, TopModel, Girard ainsi que différentes combinaisons de réservoirs. Plusieurs jeux de paramètres et/ou plusieurs fonctions de production peuvent être appliquées aux différentes mailles pour différencier les contributions de production sur le bassin. Les pertes à l'écoulement sont appliquées à la pluie reçue par la parcelle (mailles indépendantes) et/ou à l'apport des mailles amont (mailles interactives)

Transfert

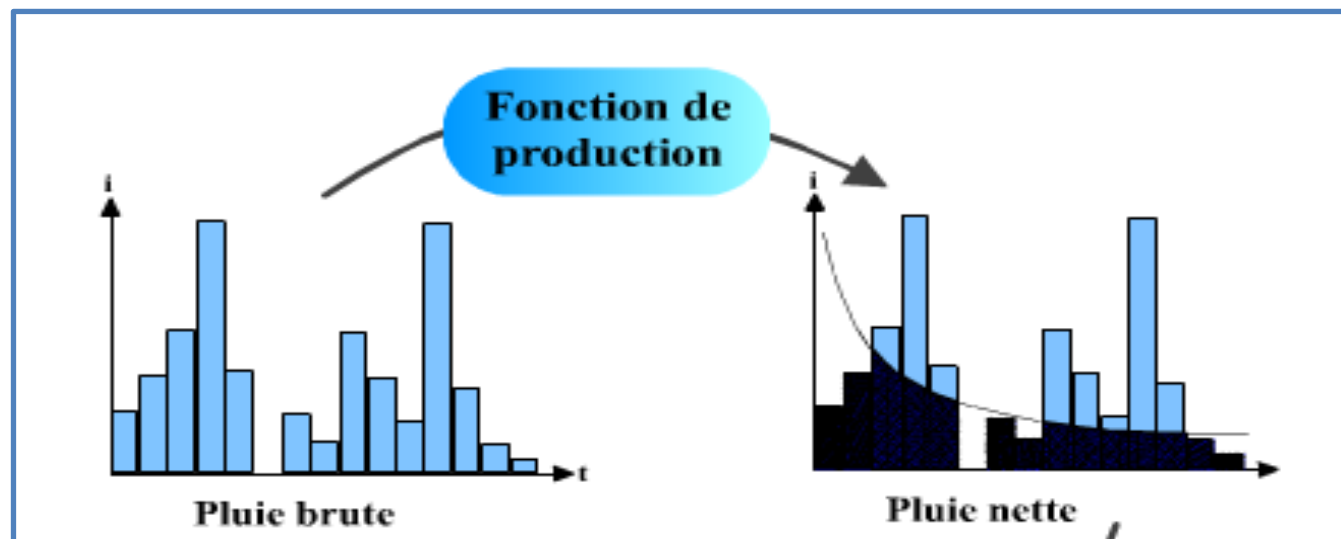
Chaque contribution est transférée à l'exutoire à l'aide de différentes fonctions de transfert possibles : fonctions conceptuelles type lag and route, fonctions mécanistes type onde cinématique. Plusieurs jeux de paramètres et/ou plusieurs fonctions de transfert peuvent être appliquées aux différentes mailles pour différencier les contributions de transfert sur le bassin.



Fonctions de production :

Les fonctions de production déterminent la part de la pluie brute qui va s'écouler à l'exutoire, par ruissellement direct ou retardé. Les fonctions de production les plus célèbres sont :

1. Green et Ampt
2. Horton
3. TopModel
4. Réservoirs
5. SCS
6. Smith et Parlange
7. Althair



Exemple Fonctions de production SCS

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

$$I_a = \lambda S$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

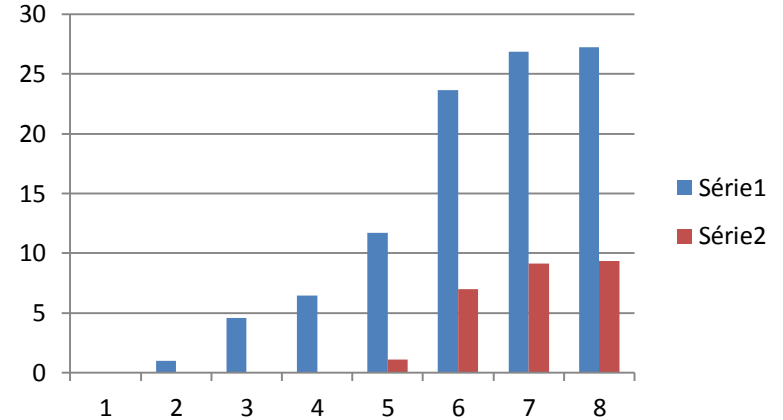
Land use	Soil groups*			
	A	B	C	D
Agricultural land				
Crops in good condition	72	81	88	91
Crops in poor condition	62	71	78	81
<hr/>				
Pasture, grassland or range				
Good condition	68	79	86	89
Poor condition	39	61	74	80
<hr/>				
Meadow/brush				
	30	58	71	78
<hr/>				
Woods				
Sparse forest cover	30	58	71	78
Dense forest cover	25	55	70	77
<hr/>				
Open spaces, lawns, golf courses, cemeteries:				
- more than 75% grass cover	39	61	74	80
- 50 - 75 % grass cover	49	69	79	84
<hr/>				
Commercial (85% impervious area)				
	89	92	94	95
<hr/>				
Industrial (72% impervious area)				
	81	88	91	92

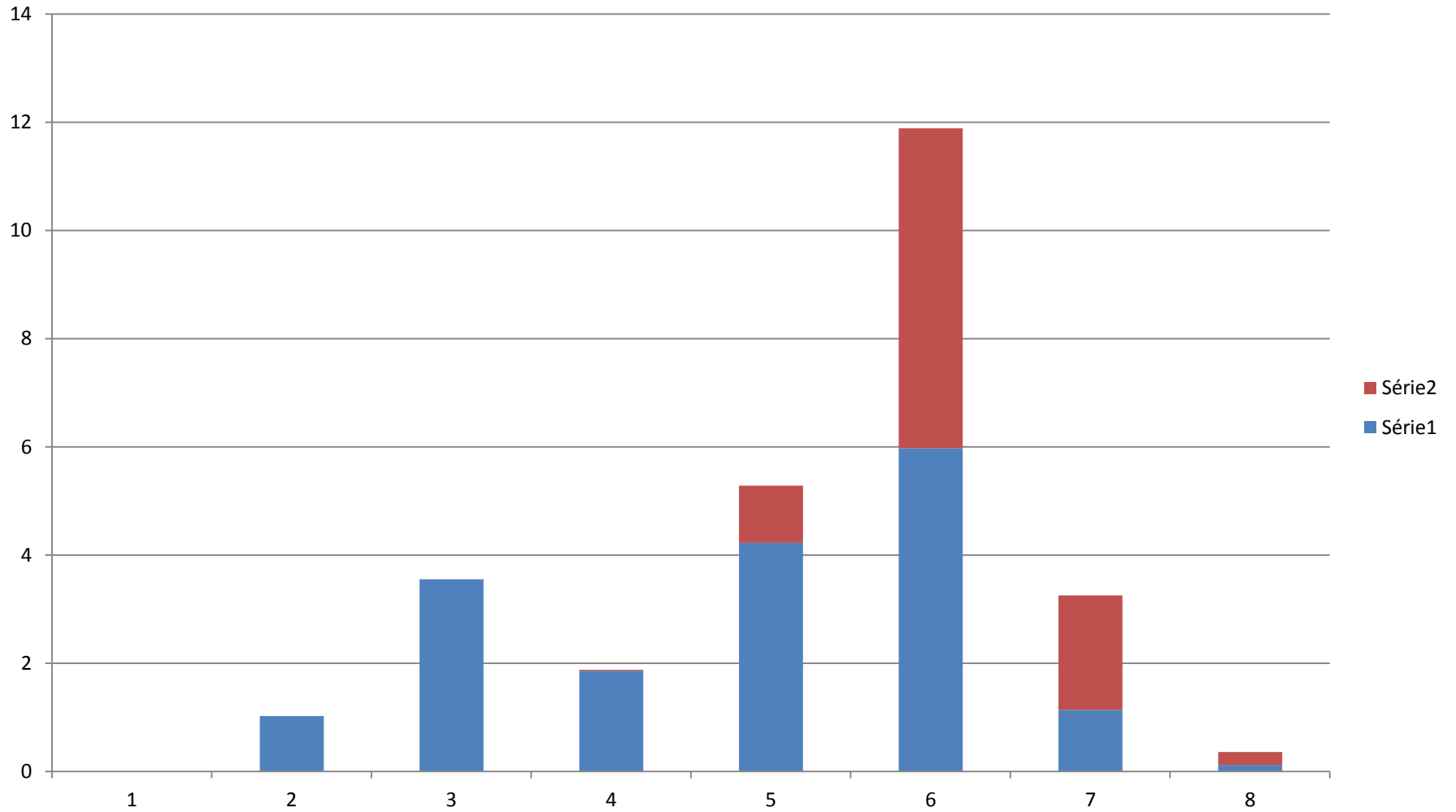
Exemple d'application CN-SCS

t	P	Pcum
h	mm	mm
0	0	0
1	1.02	1.02
2	3.55	4.57
3	1.88	6.45
4	5.28	11.73
5	11.89	23.62
6	3.25	26.87
7	0.36	27.23

Calculer la pluie nette si on a un sol forestier CN=90

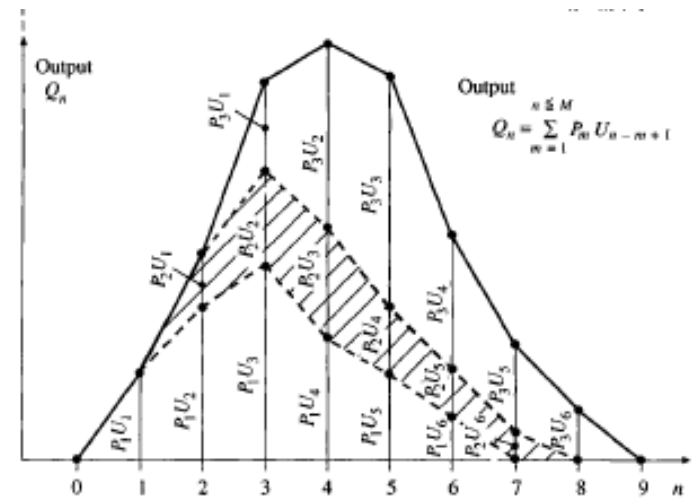
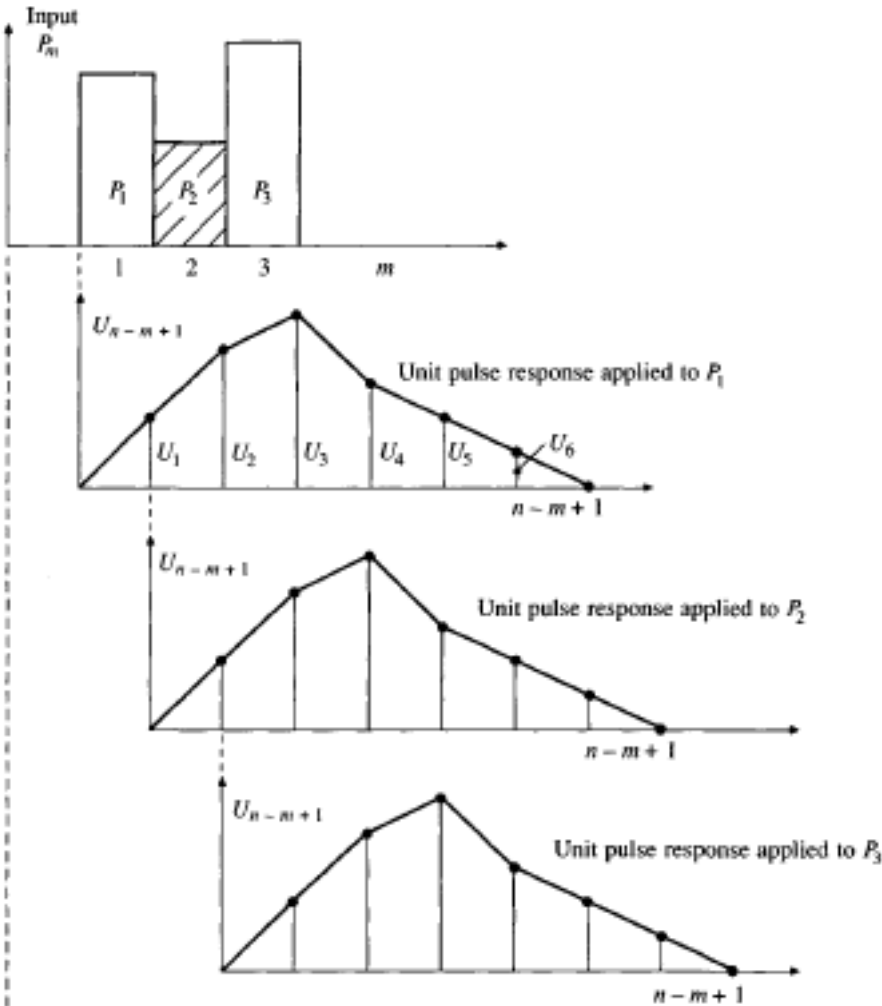
CN	90		
lambda	0.2		
S	28.22222		
la	5.644444		
t	P	Pcum	Pnette
h	mm	mm	
0	0	0	0
1	1.02	1.02	0
2	3.55	4.57	0
3	1.88	6.45	0.022355
4	5.28	11.73	1.079463
5	11.89	23.62	6.994289
6	3.25	26.87	9.111111
7	0.36	27.23	9.354688





Modèles de transfert

- L'hydrogramme unitaire



Exemple de calcul

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1}$$

Si les coordonnées de l'hydrogramme unitaire sont (0 0.3 0.5 0.2 0) calculer l'hydrogramme De crue résultant

	0	0	0	0.022355	1.057108	5.914825	2.116823	0.243576		tot
0	0									0
0.3	0	0								0
0.5	0	0	0							0
0.2	0	0	0	0						0
0	0	0	0	0.006707	0					0.006707
		0	0	0.011178	0.317132	0				0.32831
			0	0.004471	0.528554	1.774448	0			2.307473
				0	0.211422	2.957413	0.635047	0		3.803881
					0	1.182965	1.058411	0.073073		2.314449
						0	0.423365	0.121788		0.545153
							0	0.048715		0.048715
								0		0

