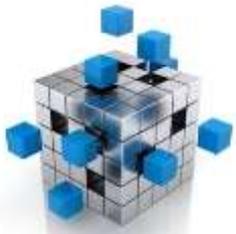


MODÉLISATION HYDROLOGIQUE M1 HU & OH

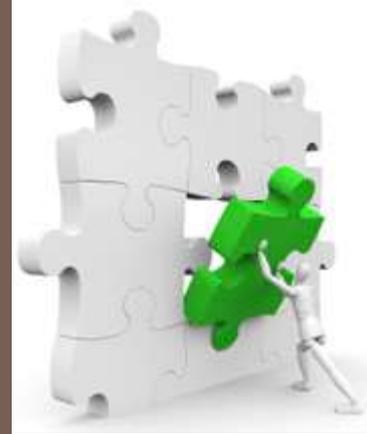
Pr BABA HAMED K.

2020 - 2021



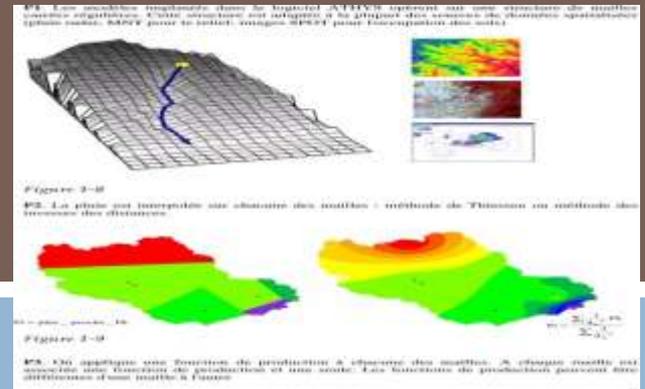
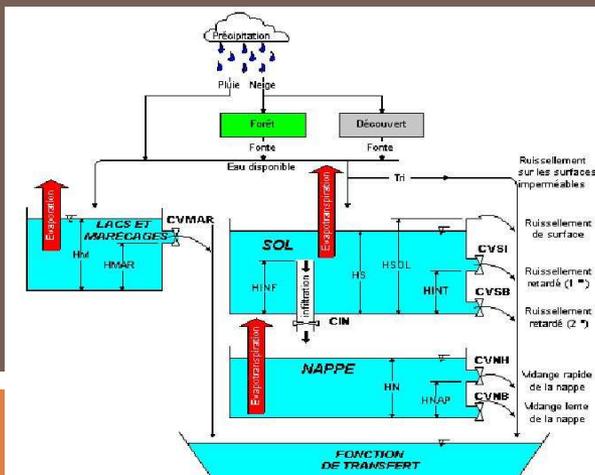


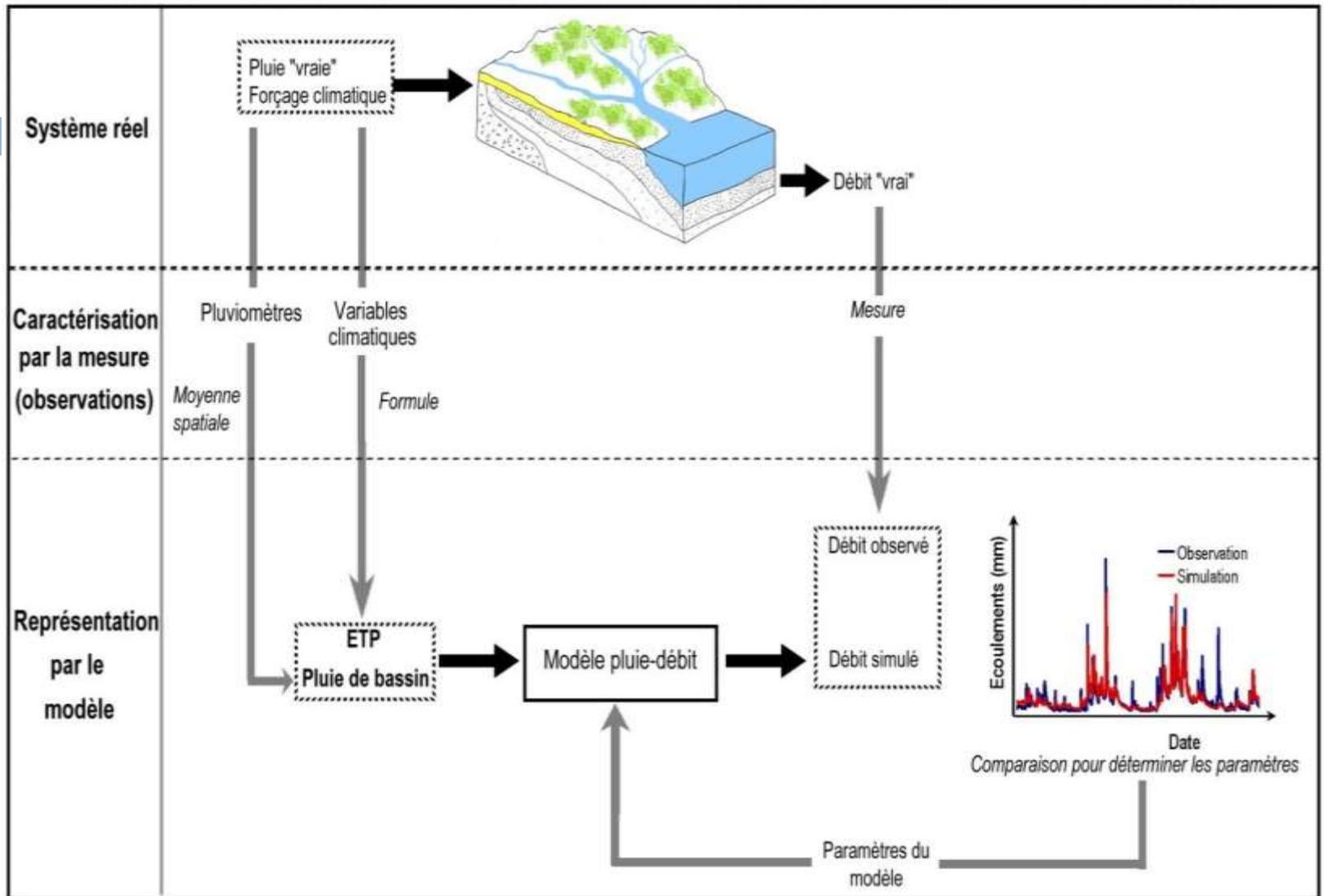
MODÉLISATION HYDROLOGIQUE M1 HU & OH



Pr BABA HAMED K.

Présentation de quelques modèles hydrologiques





Représentation schématique d'un modèle hydrologique



Modèle MIKE SHI

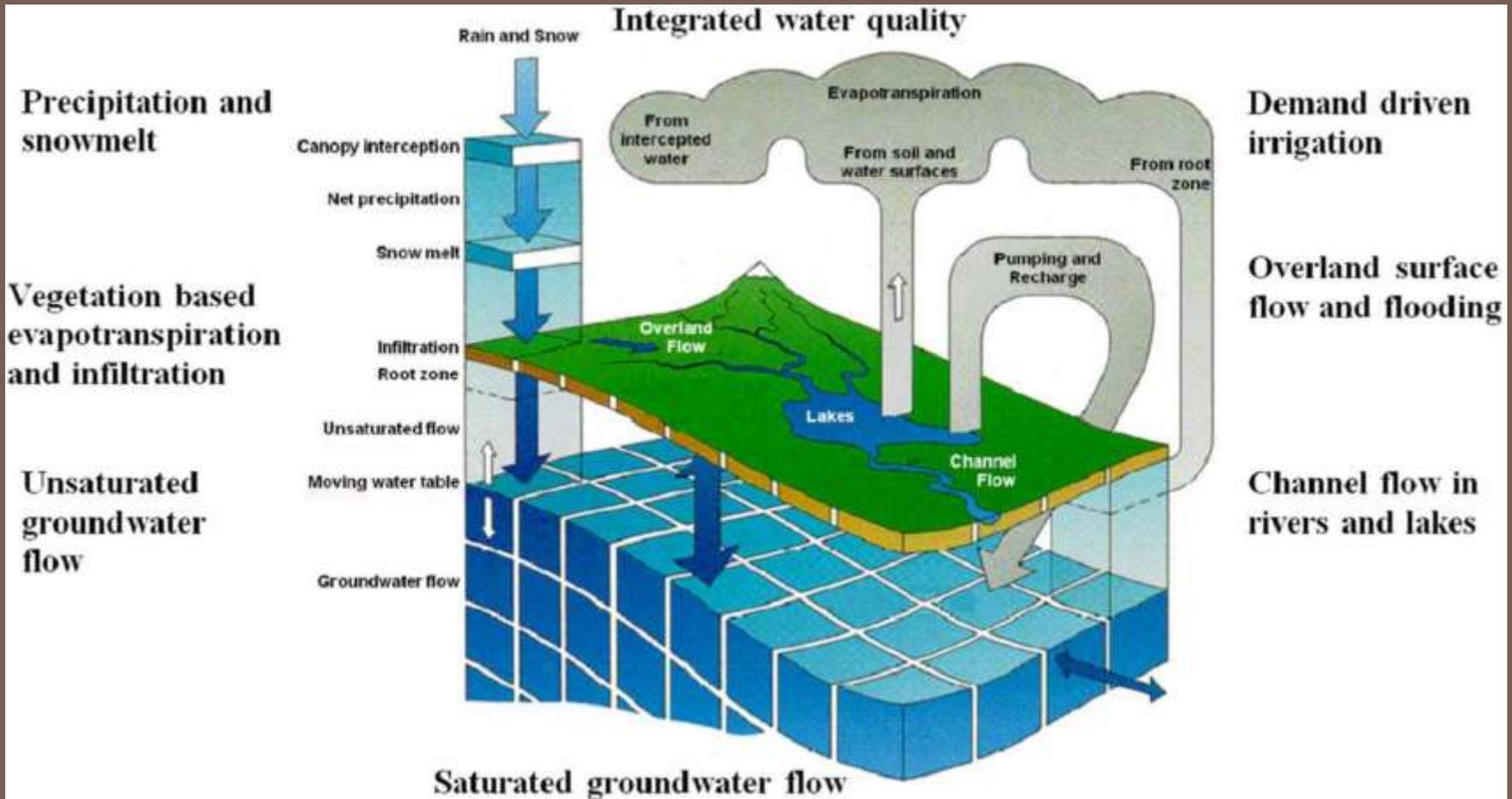


C'est le fruit d'une collaboration entre le Danish Hydrologic Institute, le British Institute of hydrology et la Sogreah. Le logiciel MIKE SHE (Système Hydrologique Européen) a pour objet la modélisation de la partie continentale du cycle de l'eau et peut être, en théorie appliqué à des surfaces allant de la parcelle à la totalité du bassin versant.

Les domaines d'application de MIKE SHI:

- l'étude classique de la dynamique du bassin versant,
- le suivi des pollutions,
- la prévision,
- les études d'impacts relatives aux modifications du bassin (occupation des sols, aménagement, ...) ou de scénarios climatiques (sécheresse, fortes pluies, ...).

Modèle MIKE SHI



Structure du modèle MIKE SHE



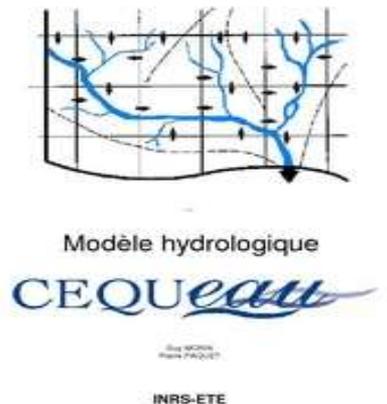
MODELE CEQUEAU

C'est un modèle hydrologique conceptuel spatialisé ou, comme le décrivent ses concepteurs, un modèle paramétrique matriciel à bilan, développé depuis 1971 par l'Institut de la Recherche Scientifique Eau et environnement du Canada.

Il tient compte à la fois des caractéristiques physiques du bassin versant et de leurs variations dans l'espace et dans le temps. Il a été appliqué à plusieurs rivières du Canada et d'ailleurs dans le monde.

Il sert à:

- déterminer les crues maximales probables (CMP),
- la prévision des débits en temps réel.



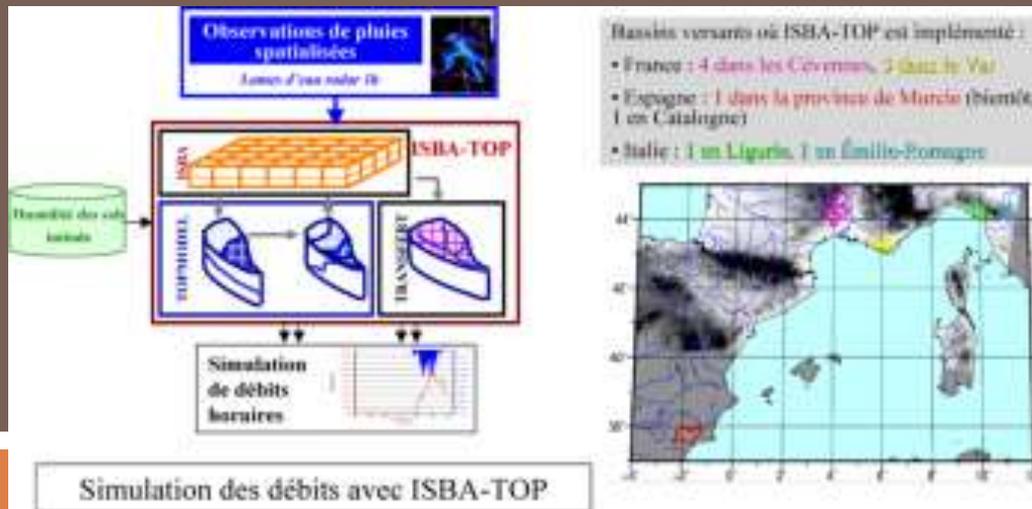


MODELE TOP MODEL

TOP MODEL (Topography-based hydrological Model) est un modèle hydrologique développé à l'Université de Lancaster.

Il s'agit d'un modèle pluie-débit semi distribué qui suit une approche articulée autour de deux idées centrales :

- le ruissellement se produit sur des zones contributives variables,
- la topographie influence la manière dont se produit le ruissellement.





MODELE ATHYS

C'est un modèle conceptuel distribué (Maillage d'Éléments Réguliers carrés pour l'étude des écoulements superficiels). Il généralise le principe de l'hydrogramme unitaire à une structure maillée. Le bassin versant est discrétisé en mailles carrées régulières et les pluies sont interpolées par la méthode de Thiessen.





MODELE ATHYS

P1. Les modèles implantés dans le logiciel ATHYS opèrent sur une structure de mailles carrées régulières. Cette structure est adaptée à la plupart des sources de données spatialisées (pluie radar, MNT pour le relief, images SPOT pour l'occupation des sols)

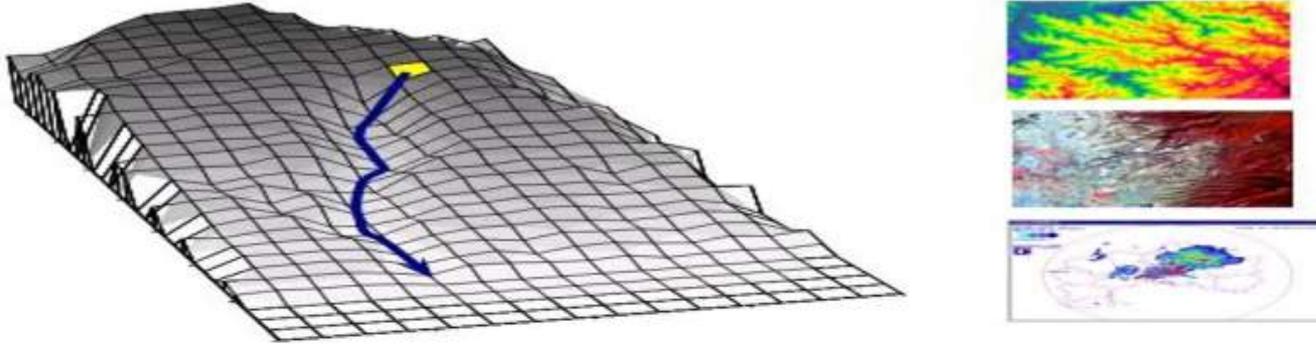


Figure 1-8

P2. La pluie est interpolée sur chacune des mailles : méthode de Thiessen ou méthode des inverses des distances.

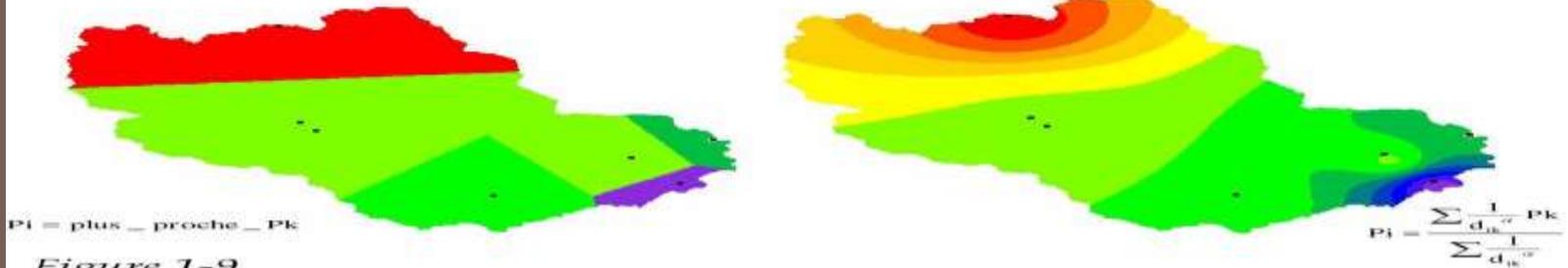
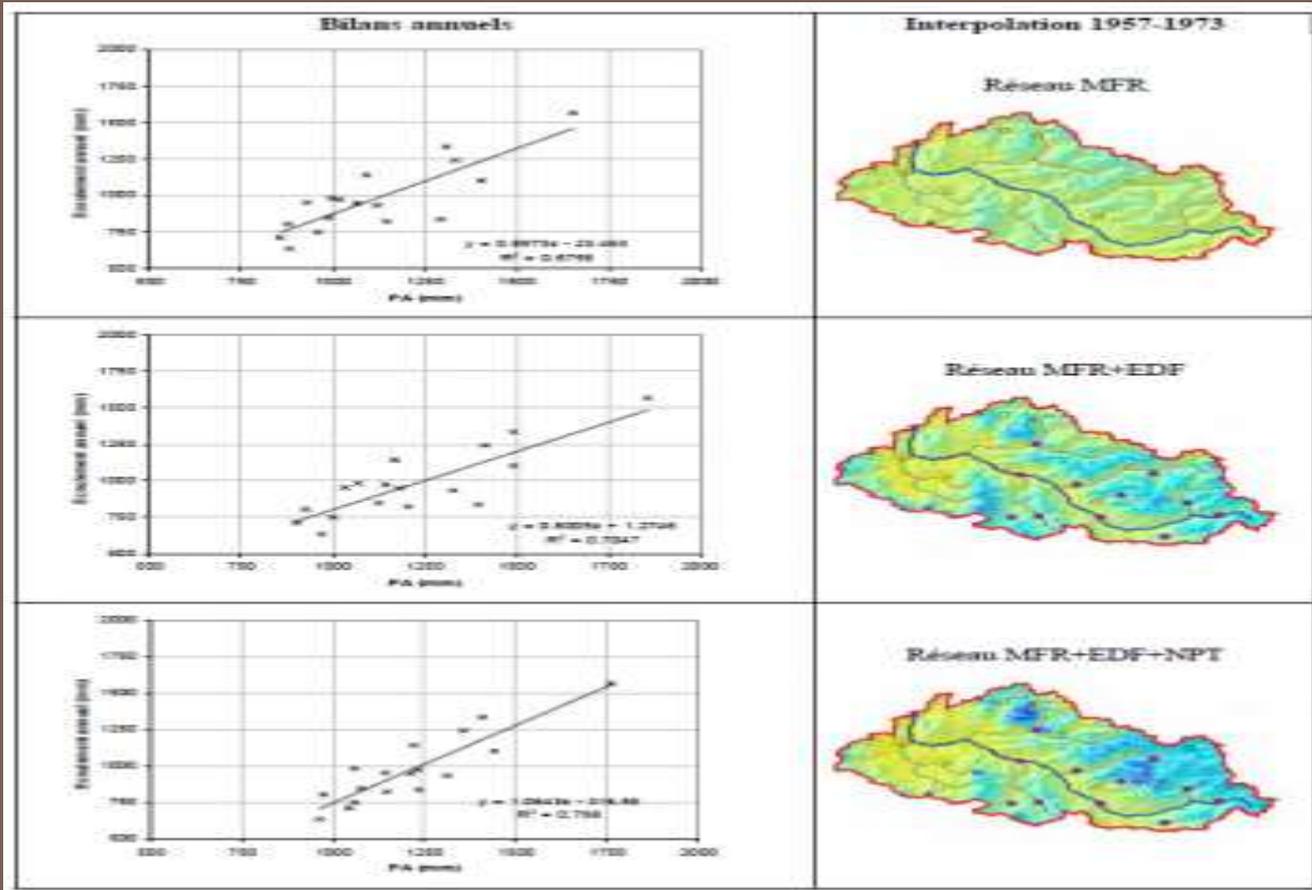


Figure 1-9

P3. On applique une fonction de production à chacune des mailles. A chaque maille est associée une fonction de production et une seule. Les fonctions de production peuvent être différentes d'une maille à l'autre



MODELE ATHYS





MODELE HEC-HMS

Le HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) est un logiciel qui simule le comportement hydrologique d'un bassin versant suite à des événements pluvieux prédéterminés, développé par Hydrologic Engineering Center (HEC) du corps de l'armée américaine des ingénieurs.

Ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues pour plusieurs objectifs à savoir :

- les études de drainage urbain,
- la prévision des crues et leur impact,
- la conception des réservoirs,
- la réduction des effets des inondations.

Le programme présente une interface graphique, des composantes hydrologiques intégrées, un système spécifique de stockage de données (DSS) et des outils de gestion, etc.



MODELE (IHACRES)

Le modèle global IHACRES (Identification of unit Hydrographs And Component flow from Rainfalls, Evaporation and Streamflow data) est le résultat d'une collaboration entre le CEH (Centre for Ecology and Hydrology) du Royaume-Uni et l'Université Nationale de l'Australie (ANU).

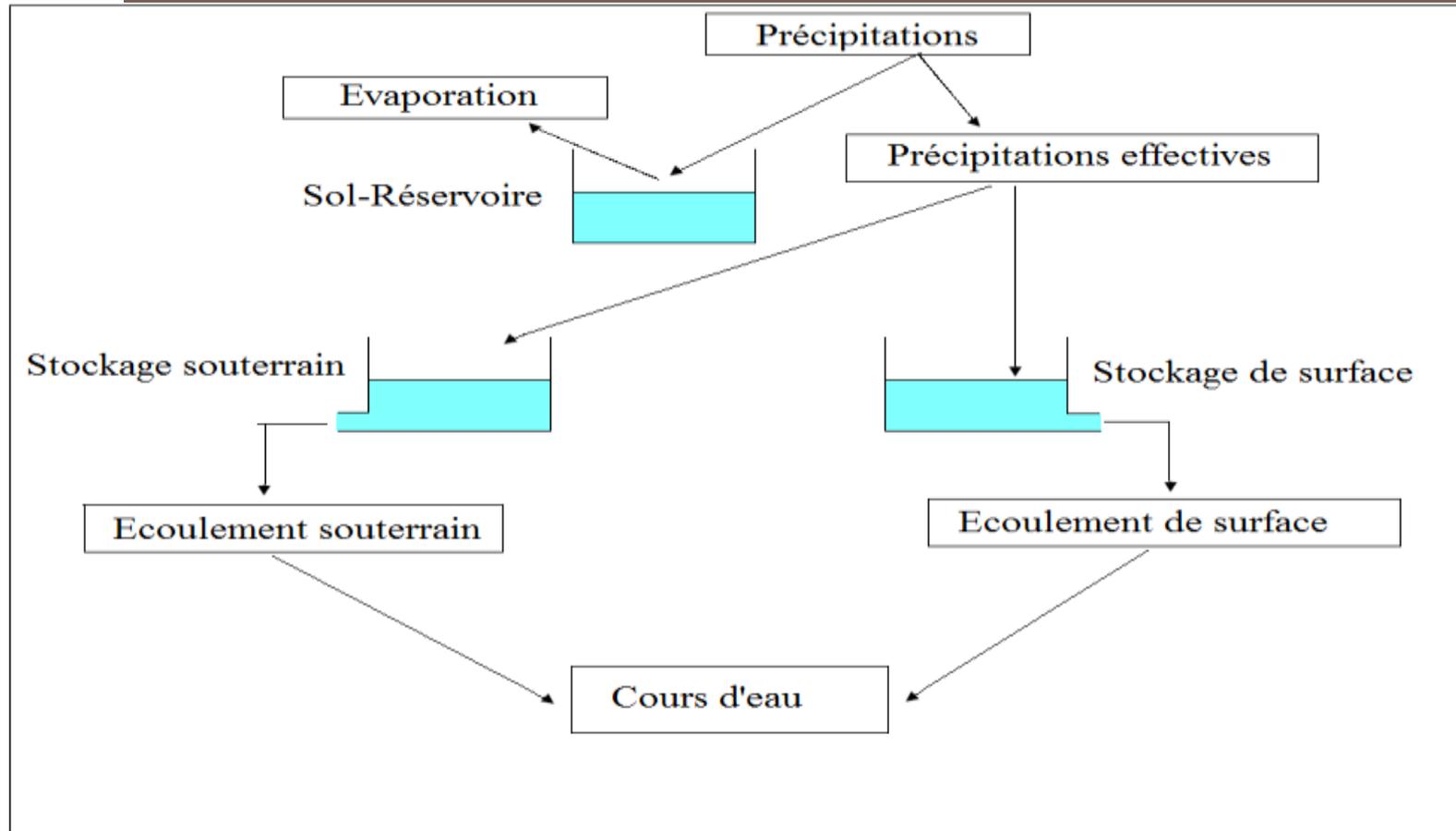
Ce logiciel peut être appliqué pour des investigations dans des petits bassins versants équipés pour des études spéciales ou pour des études régionales dans des grands bassins.

Le modèle IHACRES permet la simulation des écoulements continus ou instantanés pour n'importe quel bassin versant et pour n'importe quelle donnée temporelle supérieure ou égale à 1 min.

Ce modèle demande peu de données : les précipitations, un hyétogramme (pour le calage), la température ou l'ETP, et les dimensions du bassin versant. En sortie du modèle on récupère : un hydrogramme de crue modélisé, l'humidité du bassin et les incertitudes indicatives associées aux paramètres d'hydrogramme unitaire.



MODELE (IHACRES)



Architecture du modèle IHACRES



MODELE SWAT

Le modèle **SWAT** (**Soil and Water Assessment Tool**) est un outil développé en 1993 par le service de recherches agricoles (ARS) et le service de conservation des ressources naturelles du département de l'agriculture américain en collaboration avec le centre de recherche de l'université du Texas.

C'est un modèle mathématique, essentiellement physique, conçu pour l'**étude des bassins versants** (de quelques centaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés) qui permet une compréhension locale des **interactions** entre les **phénomènes climatiques**, la **végétation**, les sols, la **topographie** et les **activités agricoles** sur les **eaux de ruissellement**.

Le modèle SWAT intègre également une base de données des ressources naturelles internationales ainsi qu'un système d'information géographique (GIS) qui permet l'accès aux différentes variables.

MODELE SWAT



C'est un modèle spatialisé qui permet de manipuler et d'analyser de nombreuses données hydrologiques et agronomiques en vue de prédire les effets de la gestion des terres sur la ressource hydrique. Il permet de simuler les transferts de nutriments, de sédiments et pesticides vers le réseau de drainage et vers les aquifères. SWAT simule également les rendements des cultures en présence, en fonction des conditions environnementales et des techniques de culture.



MODELE GARDENIA

Le logiciel **GARDÉNIA** (Modèle Global À Réservoirs pour la simulation de DÉbits et de Niveaux Aquifères) Développé par le BRGM permet de calculer, à partir de la séquence des données météorologiques (précipitations, évapotranspiration potentielle) sur son bassin d'alimentation :

- Le débit à l'exutoire d'un cours d'eau (ou d'une source) et / ou le niveau piézométrique en un point de la nappe libre sous-jacente,
- Les effets d'un pompage, ou d'un ensemble de pompages, situés dans le bassin versant peuvent être pris en compte.



MODELE GARDENIA



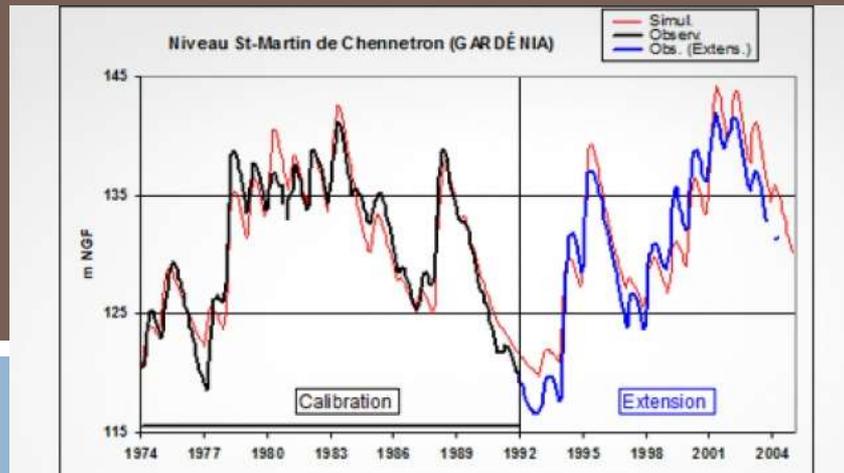
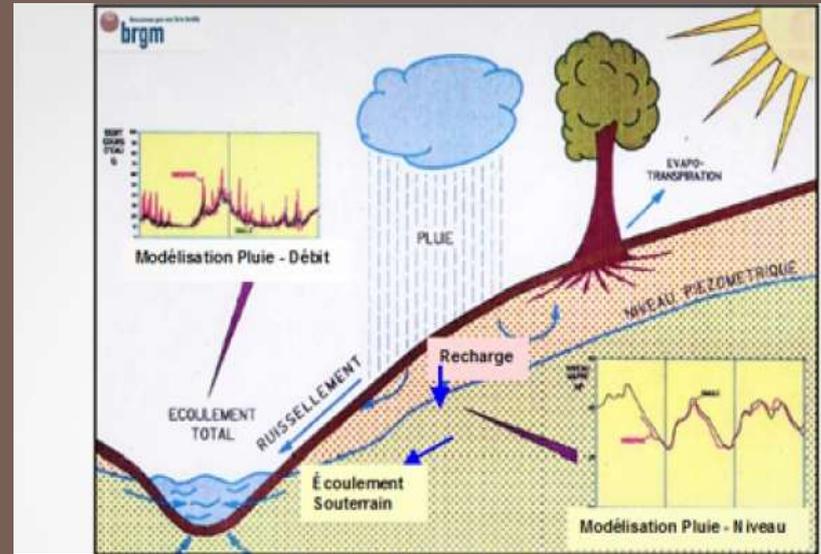
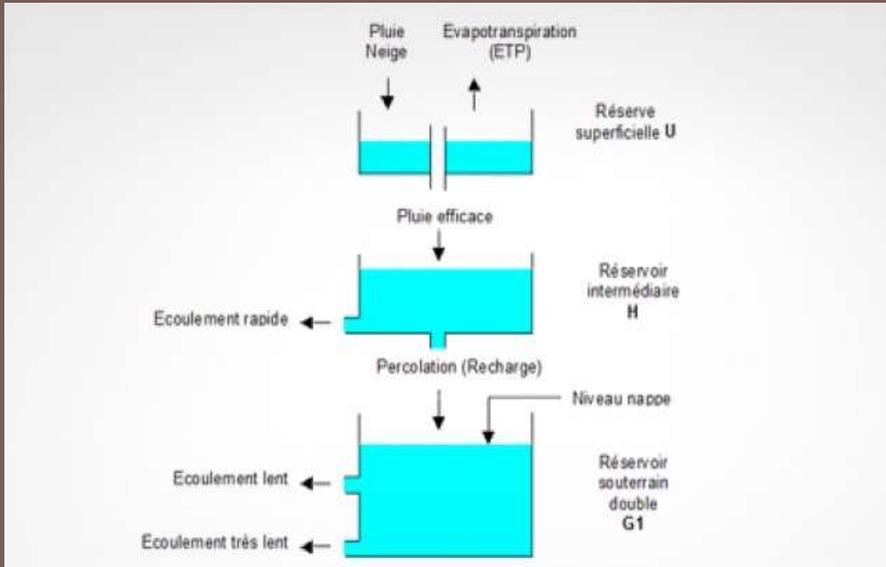
GARDÉNIA est un modèle hydrologique global à réservoirs. Il simule les principaux mécanismes du cycle de l'eau dans un bassin versant (pluie, évapotranspiration, infiltration, écoulement) par des lois physiques simplifiées. Ces lois physiques simplifiées correspondent à un écoulement à travers une succession de réservoirs.

Les calculs peuvent être réalisés au pas de temps **journalier**, **hebdomadaire**, **décadaire** (dix jours) ou **mensuel**. Il est également possible d'utiliser des pas de temps fins au choix de l'utilisateur : par exemple **5 mn** ou **½ heure**.

Il est possible de prendre en compte la **fonte de la neige**.



MODELE GARDENIA



MODELE HBV Light



Le HBV est un modèle informatique de bassin versant qui convertit, en simulant les processus hydrologiques naturels, les données sur les précipitations, l'évaporation potentielle et (le cas échéant) la fonte des neiges en valeurs de l'écoulement fluvial et/ou du débit entrant dans les réservoirs.

Il sert :

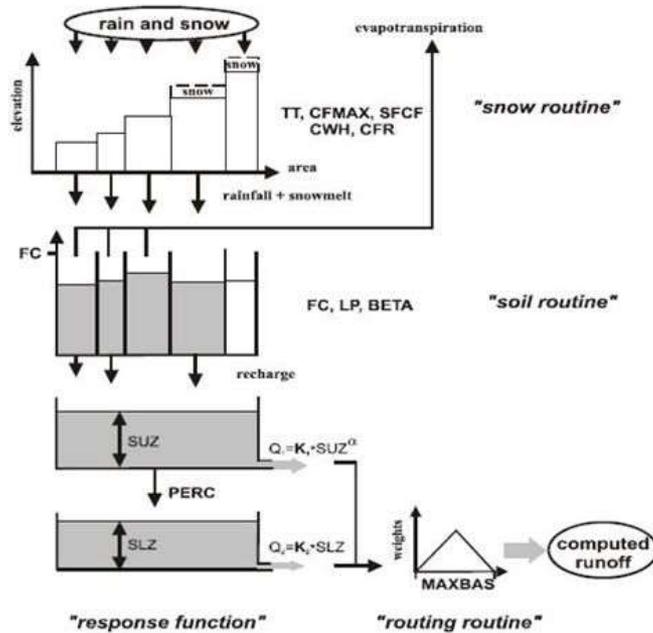
- à la prévision hydrologique,
- à la simulation des débits,
- au calcul des crues en vu de projets
- et à l'étude des changements climatiques.

Des versions spéciales (HBV-N et PULSE) du modèle peuvent être utilisées pour simuler la qualité de l'eau, par exemple sa teneur en azote, son pH et son alcalinité.

MODELE HBV Light



Design flood calculations with HBV model

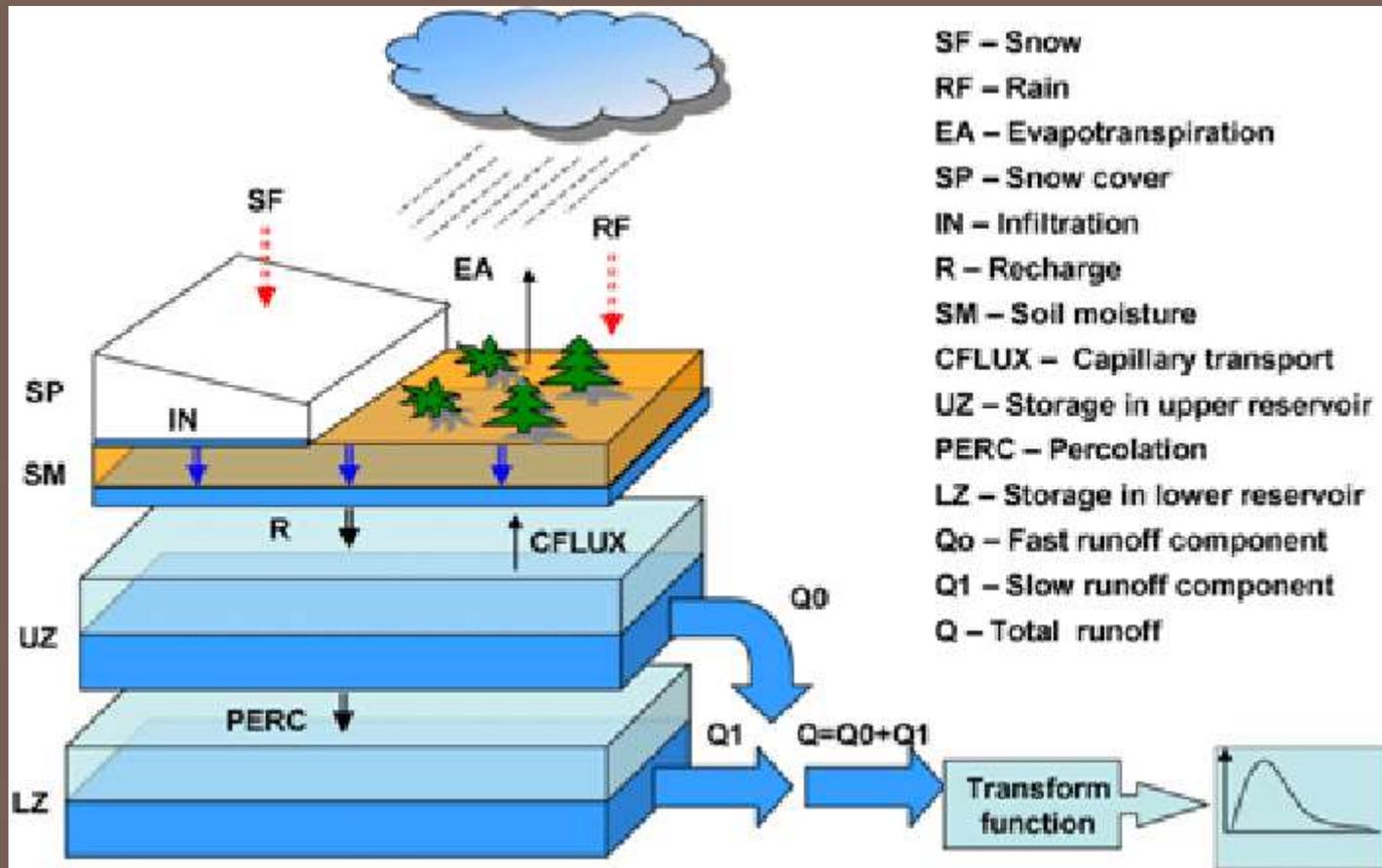


Calibration of model

Hypothetical precipitation and temperature

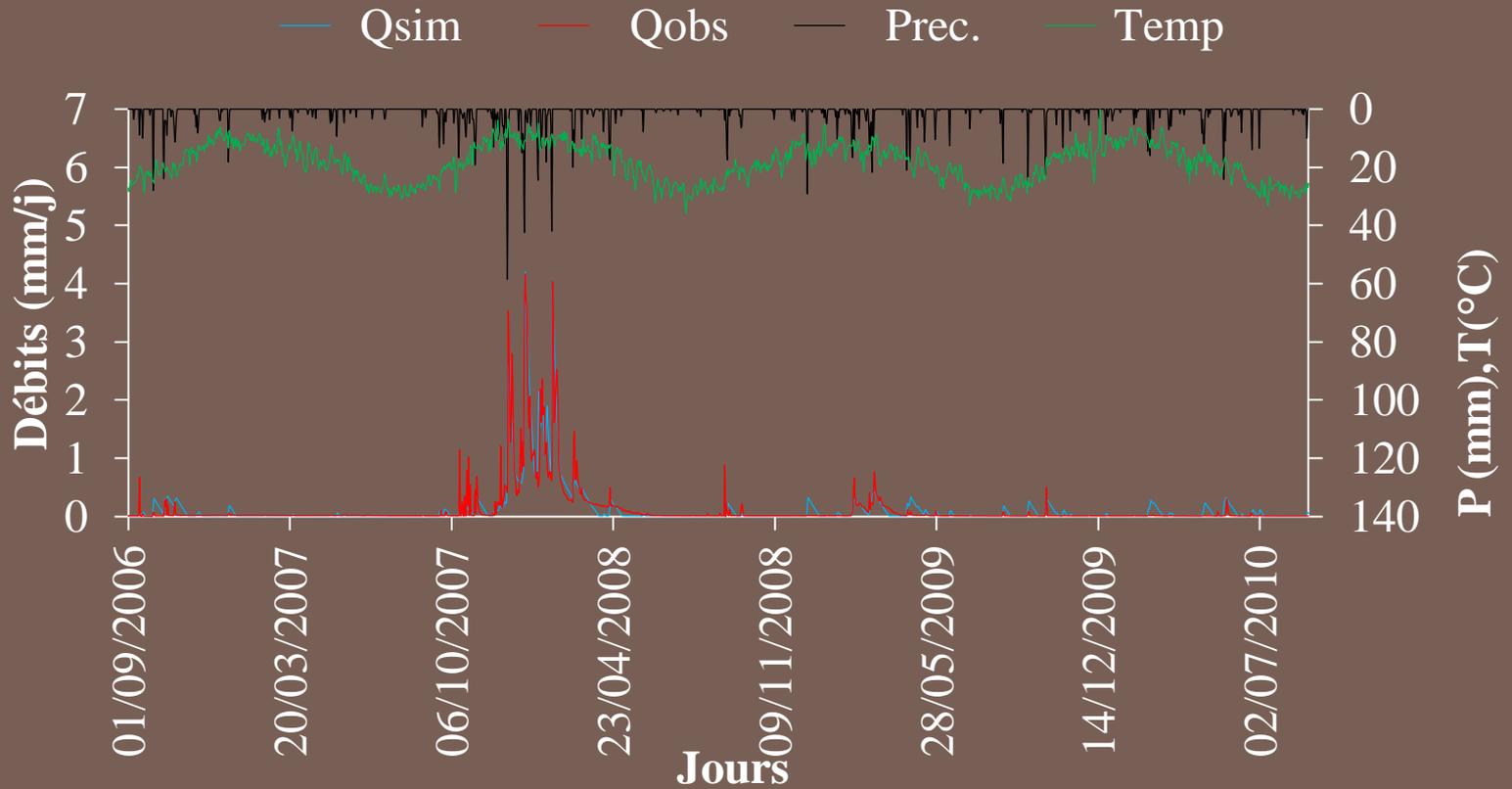
Simulation of design flood

MODELE HBV Light



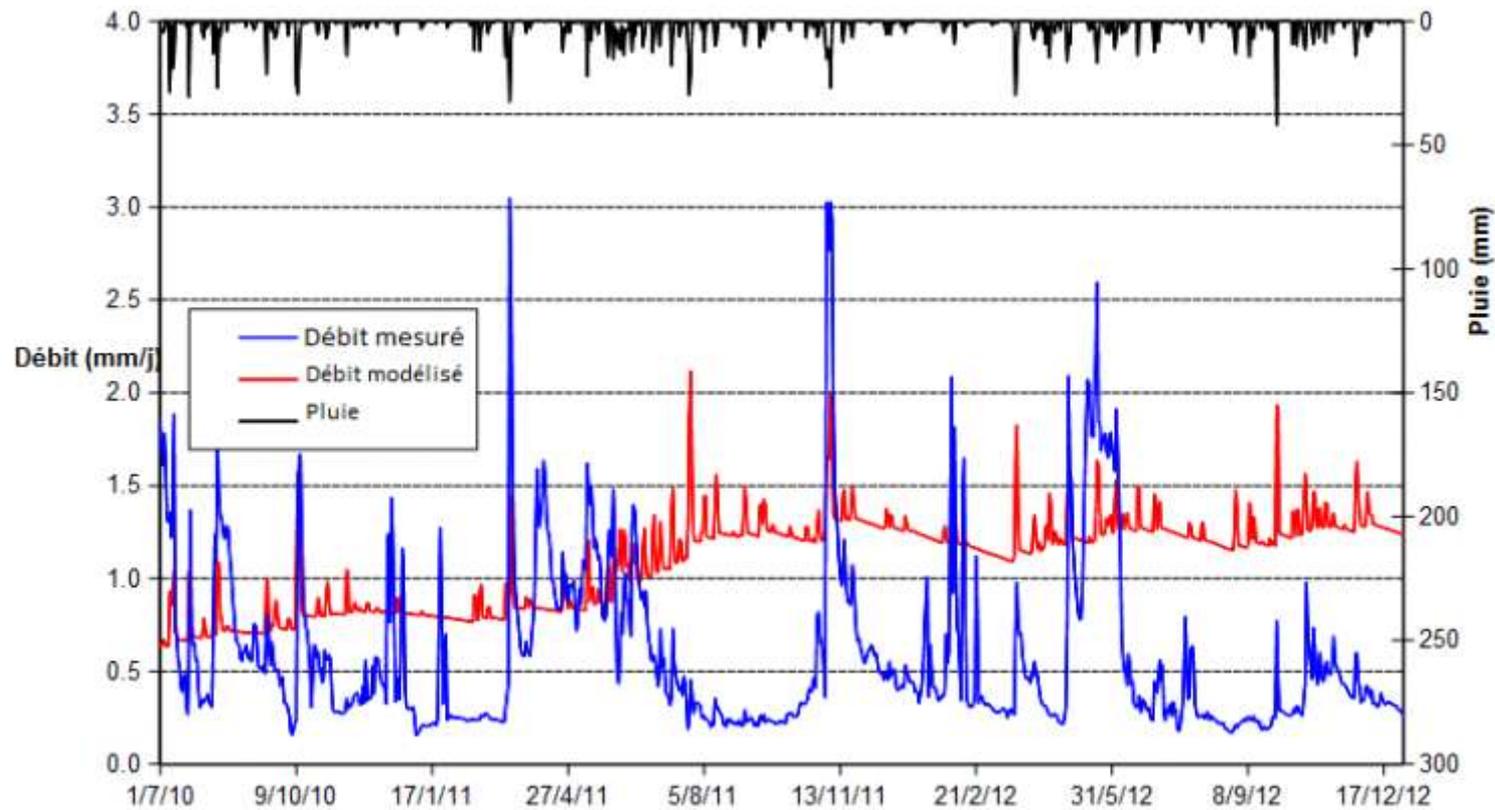
Structure du modèle HBV Light

MODELE HBV Light



Exemple des résultats du modèle HBV Light

MODELE du Génie Rural GR



MODELE du Génie Rural GR



La simulation du débit à l'exutoire d'un bassin versant est nécessaire voire indispensable pour de nombreuses applications d'ingénierie et de gestion de la ressource en eau, telles que le dimensionnement et la gestion d'ouvrages, la prévision des crues ou des étiages, la détection d'impact, etc.

C'est pour répondre à ces questions que le Cemagref a commencé à développer au début des années 1980 des modèles hydrologiques (du Génie Rural - GR) permettant de **faire le lien entre la lame d'eau précipitée sur un bassin versant et son débit à l'exutoire** (Michel, 1983).

Les modèles GR ont été développés pour des pas de temps de fonctionnement spécifiques : **annuel (GR1A)**, **mensuel (GR2M)**, **journalier (GR4J)** et **horaire (GR3H)**.

MODELE du Génie Rural GR



Bien que ces modèles soient parfois apparentés à des **modèles conceptuels** du fait de leur structure à **réservoirs**, ce sont en fait des **modèles empiriques**: leur construction s'est faite sur la base de grands jeux de données et en découvrant progressivement la structure permettant de reproduire au mieux le comportement hydrologique du bassin versant (c'est-à-dire sa réponse aux pluies).

Les idées imposées au cours du développement de ces modèles sont:

- **représentation globale du bassin versant,**
- **approche empirique de développement sans recours à priori à la physique des écoulements,**
- **augmentation progressive de la complexité de la structure du modèle en partant de structures simples,**
- **justification de la complexité de la structure d'un modèle par ses performances,**
- **recherche de structures de modèle générales (applicables à des bassins variés),**
- **utilisation de larges échantillons de bassins versants pour tester les performances des modèles,**
- **évaluation d'un modèle par comparaison à d'autres structures de modèle.**

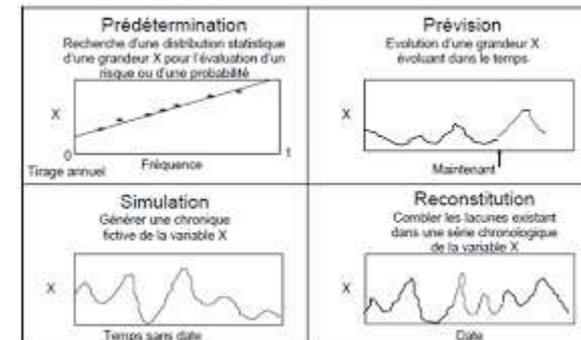
MODELE du Génie Rural GR



MODELE GR1A

Description du modèle pluie-débit annuel GR1A

Le modèle GR1A (modèle du Génie Rural à 1 paramètre Annuel) est un modèle pluie-débit **global** à **un seul paramètre**. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1990, avec pour objectif de mettre au point un modèle de simulation pluie-débit **robuste** et **fiable** en vue d'utilisations pour des applications d'évaluation et de gestion de la ressource en eau.





MODELE GR1A

Description mathématique

La structure du modèle est très simple puisqu'elle se résume à une simple équation, le débit Q_k de l'année k étant proportionnelle à la pluie P_k de la même année, avec un coefficient d'écoulement dépendant de P_k , de la pluie P_{k-1} de l'année $k-1$ et de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne E . Le modèle s'écrit :

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X \cdot E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$$

Q_k : Débit simulé de l'année k

P_k : Pluie observée de l'année k

P_{k-1} : Pluie observée de l'année $k-1$

E_k : Evapotranspiration potentielle de l'année k

X : Paramètre du modèle à optimiser



MODELE GR1A

Description mathématique

Cette formule dérive de la formule de Turc (1955), qui donne l'écoulement moyen interannuel. Une recherche systématique de la meilleure manière de prendre en compte l'état antérieur du système a montré que l'on devait se limiter à prendre en compte la pluie de l'année précédant l'année en cours.

Le **paramètre X** traduit l'influence d'une ouverture du bassin sur l'extérieur non atmosphérique (par exemple échange avec des nappes profondes ou avec des bassins adjacents) : si **X** est **supérieur à 1**, le **système perd de l'eau** et si **X** est **plus petit que 1**, le **système en gagne**, le tout exprimé en fraction de l'ETP.

MODELE du Génie Rural GR



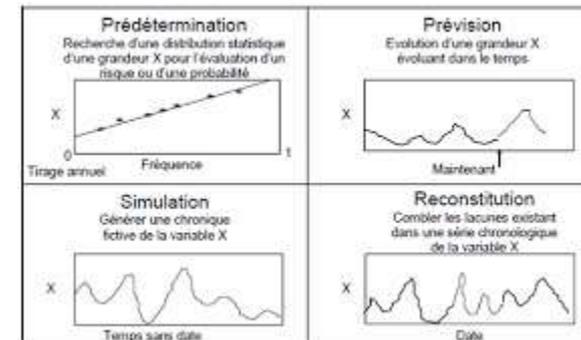
MODELE GR1A

Paramètre

Le modèle ne comporte qu'un paramètre optimisable, le paramètre **X adimensionnel**, qui apparaît comme un coefficient modulateur de l'évapotranspiration potentielle.

Sur un large échantillon de bassins versants, la médiane de X vaut 0.7 et un intervalle de confiance à 90% est donné par :

[0.13 - 3.5].



MODELE du Génie Rural GR



MODELE GR2M

Description du modèle pluie-débit mensuel GR2M

Le modèle GR2M (modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel) est un modèle pluie-débit global à deux paramètres. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1980, avec des objectifs d'applications dans le **domaine des ressources en eau** et des étiages.

Sa structure, bien qu'empirique, l'apparente à des modèles **conceptuels à réservoirs**, avec une procédure de suivi de l'état d'humidité du bassin qui semble être le meilleur moyen de tenir compte des conditions antérieures et d'assurer un fonctionnement en continu du modèle.

MODELE du Génie Rural GR



MODELE GR2M

Description du modèle pluie-débit mensuel GR2M

Sa structure associe **un réservoir de production** et un **réservoir de routage** ainsi qu'une ouverture sur l'extérieur autre que le milieu atmosphérique.

Ces trois fonctions permettent de **simuler le comportement hydrologique du bassin**.

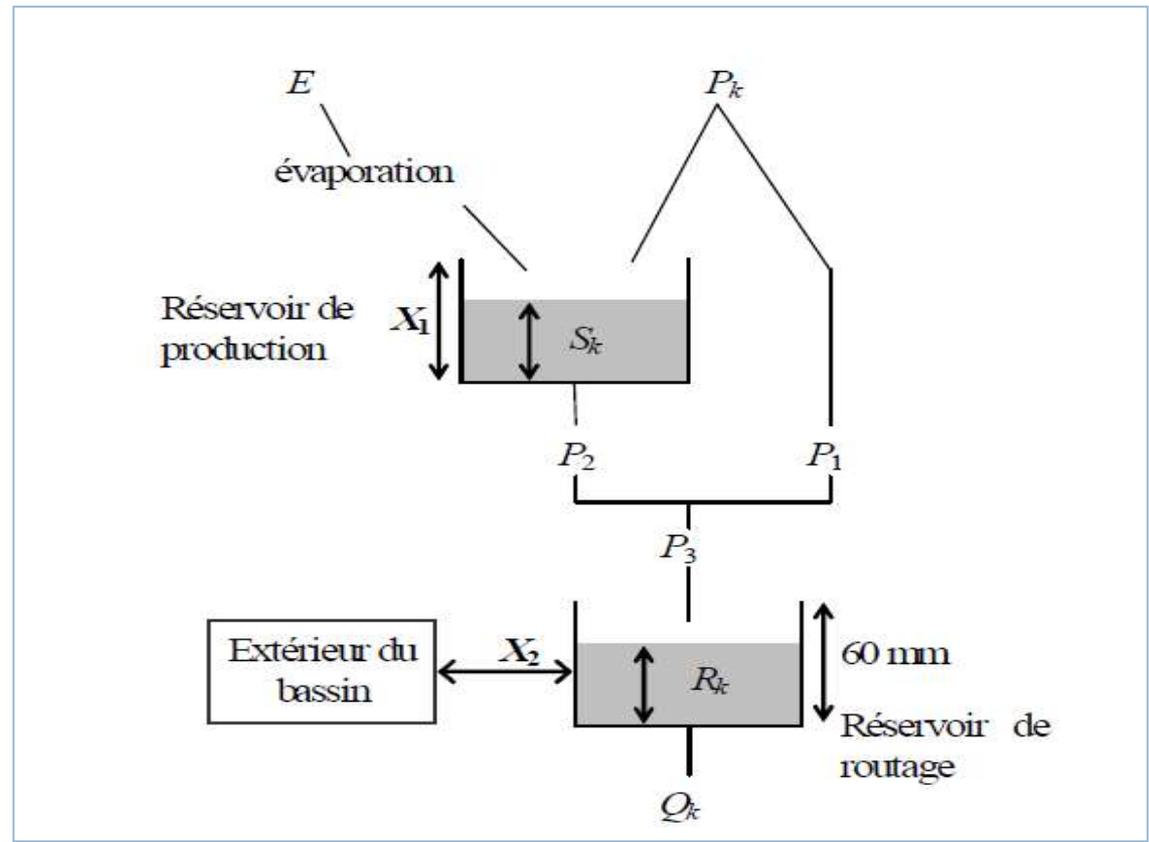
MODELE du Génie Rural GR



MODELE GR2M

Description mathématique

Schéma de la structure du modèle
GR2M



MODELE du Génie Rural GR



MODELE GR2M

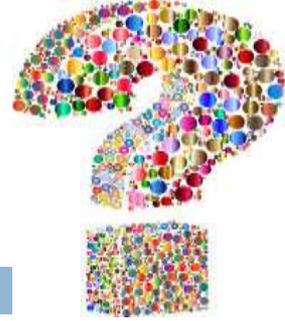
Description mathématique

P_k est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire.

La fonction de production du modèle repose sur un **réservoir de suivi d'humidité du sol.**

Le paramètre, capacité du réservoir, est positif et est exprimée en mm.

MODELE du Génie Rural GR



MODELE GR2M

Paramètres

Le modèle a deux paramètres optimisables :

X1: Capacité du réservoir de production (mm).

X2: Coefficient d'échanges souterrains (-).

Sur un large échantillon de bassins versants, on obtient les valeurs données dans le tableau qui suit:

Paramètre	Médiane	Intervalle de confiance à 90%
X1 (mm)	380	140 - 2640
X2 (-)	0,92	0,21 - 1,31



MODELE du Génie Rural GR



MODELE GR4J

Description du modèle pluie-débit journalier GR4J

Le modèle **GR4J** (modèle du Génie Rural à **4 paramètres Journaliers**), est un modèle pluie-débit **global**.

Son développement a été initié au Cemagref au début des années 1980, avec pour objectif de mettre au point un modèle de simulation pluie-débit **robuste** et **fiable** en vue d'utilisations pour des applications de **gestion de la ressource en eau** et d'**ingénierie** (dimensionnement d'ouvrage, prévision des crues et des étiages, gestion de réservoirs, détection d'impact...).





Description du modèle pluie-débit journalier GR4J

On distingue dans ce modèle:

- **la fonction de production**, qui permet de calculer la pluie efficace à partir des données journalières de pluie et d'évapotranspiration potentielle grâce à un premier réservoir,
- **la fonction de transfert** qui permet de transformer la pluie efficace en débit. Cette fonction de transfert est composée de deux branches qui se vidangent de manière différente :
 - l'une permet de représenter les écoulements rapides (branche directe),
 - l'autre qui est à vidange lente puisqu'elle transite par un réservoir à vidange linéaire.



Description du modèle pluie-débit journalier GR4J

L'utilisation du modèle **GR4J** requiert pour ses différents calculs les informations suivantes :

- la superficie du bassin,
- les chroniques des moyennes journalières des pluies,
- les chroniques journalières d'ETP,
- les valeurs des taux de remplissage des deux réservoirs: de production (X1) et de transfert (X3).

MODELE du Génie Rural GR



MODELE GR4J

Description du modèle pluie-débit journalier GR4J

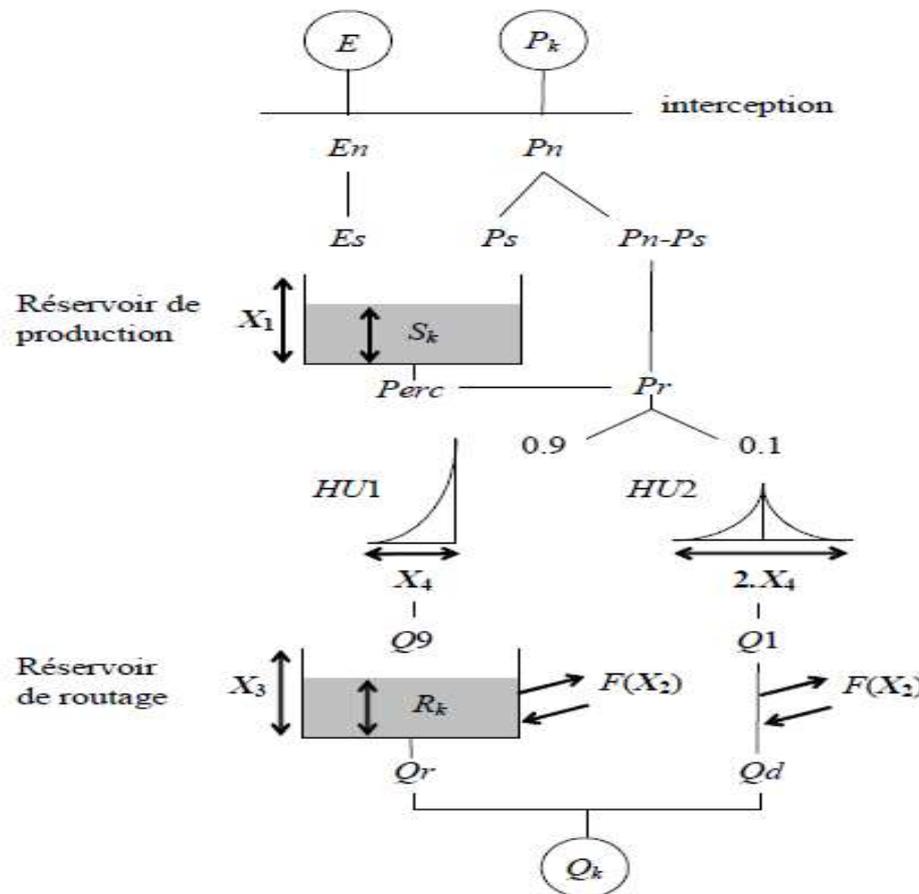


Schéma de la structure du modèle
GR4J



Paramètres

Le modèle GR4J ne comporte que quatre paramètres à caler:

X1: Capacité du réservoir de production (mm)

X2: Coefficient d'échanges souterrains (-)

X3: Capacité à un jour du réservoir de routage (mm)

X4: Temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (j)

Paramètre	Médiane	Intervalle de confiance à 90%
X1 (mm)	350	100 - 1200
X2 (-)	0	-5 à 3
X3 (mm)	90	20 - 300
X4 (jours)	1,7	1,1 - 2,9

Merci de votre attention





Merci de votre attention