

Chapitre I : Recherche bibliographique

Introduction

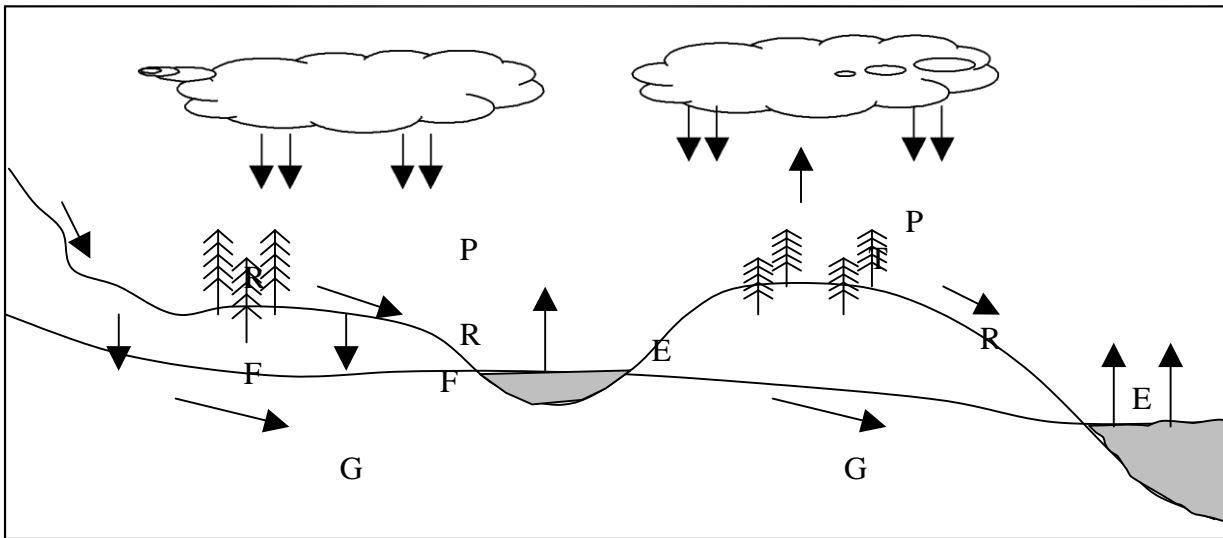
La résolution des problèmes liés à la gestion des bassins versants notamment l'aménagement de ponts et de barrages, la prévision des conséquences des inondations nécessite une parfaite connaissance de leurs étiages et de leurs crues. Dans cette optique, l'utilisation d'un modèle de calcul des débits et destination des eaux à l'échelle d'un bassin versant devient nécessaire.

L'intérêt d'un modèle réside dans sa capacité à apporter une réponse «satisfaisante» aux questions que l'on se pose à propos de l'objet modélisé, ce qui nous renvoie à l'objet assigné au modèle qui doit bien entendu précéder et orienter la conception et la construction du modèle. Généralement les modèles sont utilisés pour la prévision, la prédétermination (évaluation de données d'un projet), la reconstitution ou l'extrapolation de données, etc.

Dans ce chapitre nous présentons les modèles les plus utilisés dans le domaine de la modélisation hydrologique ainsi que les logiciels les plus utilisés dans le domaine public. Mais avant d'entamer ces détails, il est utile de donner un rappel sur le cycle hydrologique qui est la base de toute modélisation hydrologique.

I.1 Cycle hydrologique

Les composantes de base du cycle hydrologique (figure 1) incluent : les précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration, l'écoulement de surface, l'écoulement dans les cours d'eau et l'écoulement souterrain. Le mouvement de l'eau entre les différentes phases du cycle hydrologique est irrégulier dans l'espace et dans le temps pouvant produire des extrêmes d'inondations et de sécheresses. La détermination de la magnitude et l'intensité de ces éventuels extrêmes sont d'une grande importance pour l'hydrologue [1].



avec, P = Précipitation; R = Ecoulement de surface ; G = Ecoulement souterrain ; E = Evaporation ; T = Transpiration ;

Figure I.1: Le cycle hydrologique

Le cycle hydrologique est très complexe, mais sous certaines hypothèses, la réponse d'un bassin versant pour un événement tel que les précipitations, les infiltrations ou l'évapotranspiration peut être faite. L'hydrologue doit être capable de calculer ou d'estimer l'ensemble de ces composantes pour concevoir convenablement un projet dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Les principales préoccupations d'un hydrologue incluent [1].

- Les inondations
- L'irrigation et l'approvisionnement en eau potable durant les périodes de sécheresse
- L'effet des réservoirs, des levées ou d'autres ouvrages de contrôle des inondations dans un cours d'eau
- Effet du développement urbain sur la capacité du système de drainage
- Détermination des zones inondables suite à une éventuelle crue

Dans n'importe quel système hydrologique, le bilan hydrologique peut être développé en tenant compte des différents cours d'eau et couches de stockage. Le système le plus simplifié est une plaine inclinée et imperméable confinée en un point appelé l'exutoire [1].

L'équation de continuité hydrologique pour n'importe quel système s'écrit sous la forme suivante:

$$I - Q = \frac{dS}{dt}$$

avec, I : Entrée du système en vol/temps

Q : Sortie du système en vol/temps

dS/dt : Variation de stockage du système en vol/temps.

Pour un intervalle de temps donné, le modèle mathématique du bilan hydrologique de la figure précédente s'écrit sous la forme suivante (en tenant compte de toutes les composantes du cycle hydrologique exprimées en unité de hauteur) :

$$P - R - G - E - T = \Delta S$$

Avec ; ΔS = Variation du stockage.

La détermination du débit de sortie d'un bassin versant est d'une grande importance pour un hydrologue, surtout quand il s'agit du contrôle de phénomène inondation, de la régulation des cours d'eau, du dimensionnement des ouvrages hydrauliques, etc. Pour répondre de façon adéquate à leurs besoins, les hydrologues ont développé des outils que l'on appelle modèles hydrologiques.

I.2 Les modèles hydrologiques

Un modèle est une représentation d'un phénomène physique, afin d'en avoir une meilleure compréhension ou d'analyser l'influence qu'il exerce. La représentation peut être physique, analogique ou mathématique.

Dans le premier cas, le modèle est une maquette qui reproduit d'une manière adéquate la réalité. Les modèles analogiques utilisent les similitudes qui existent entre le phénomène à étudier et un autre phénomène physique.

La méthode la plus utilisée est l'analogie entre le courant électrique et le flux d'eau.

Dans ce cas, le modèle est le résultat de l'expression analytique de la complexité observée ou supposée et se présente généralement sous la forme d'un ensemble d'équations.

La modélisation mathématique est un outil essentiel pour la connaissance des phénomènes naturels, ils essayent d'établir un lien entre les variables d'entrée et de sortie par des relations mathématiques.

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. On peut distinguer trois types d'utilisation des modèles mathématiques en hydrologie [2].

- **La modélisation comme outil de recherche** : La modélisation peut être utilisée pour interpréter des données mesurées. Différents scénarios de fonctionnement hydrologique des bassins versants peuvent être confrontés aux mesures.
- **La modélisation comme outil de prévision** : elle nous donne une anticipation des évolutions futures du débit d'un cours d'eau. Il s'agit de l'utilisation opérationnelle la plus courante des modèles hydrologiques. Dans la plupart des cas cependant, les modèles développés sont basés sur des régressions linéaires entre les variables indépendantes (pluie, débits amont) et les variables dépendantes (débits aval), et font peu appel aux connaissances sur les processus hydrologiques.
- **La modélisation comme outil d'extrapolation** : reconstitution de séries de débits plausibles. Dans certains cas, comme par exemple le dimensionnement de déversoirs de sécurité de barrages hydroélectriques ou encore la délimitation de zones inondables dans le cadre d'un Plan de prévention des risques, il est nécessaire de proposer des scénarios de crues, ou éventuellement d'étiages, de période de retour nettement supérieure à la durée d'observation des débits sur le site étudié. L'utilisation de longues séries de pluies éventuellement générées à l'aide d'un modèle stochastique de pluie couplées à un modèle hydrologique permet de reconstituer des scénarios rares.

La modélisation des phénomènes et comportements hydrologiques des bassins versants est incontournable dès lors qu'on s'intéresse à des problématiques relatives à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire et aux différents risques hydrologiques (sécheresse, inondation). Cette modélisation est sensée décrire de manière fidèle et réaliste les différentes étapes liées à la transformation de la pluie en débit. Elle est sensée fournir aussi des informations sur le dimensionnement des ouvrages hydrauliques (Barrages, retenues).

I.3- Les différentes approches de la modélisation

Le terme de modèle recouvre une large variété d'outils, à la philosophie et aux objectifs différents. Les approches habituellement utilisées dans la modélisation pluie-débit apparaissent en sombre dans la figure I.2.

Quelques logiciels de modélisation hydrologiques seront présentés dans la section suivante, nous nous contentons de donner ici une simple définition des différentes approches.

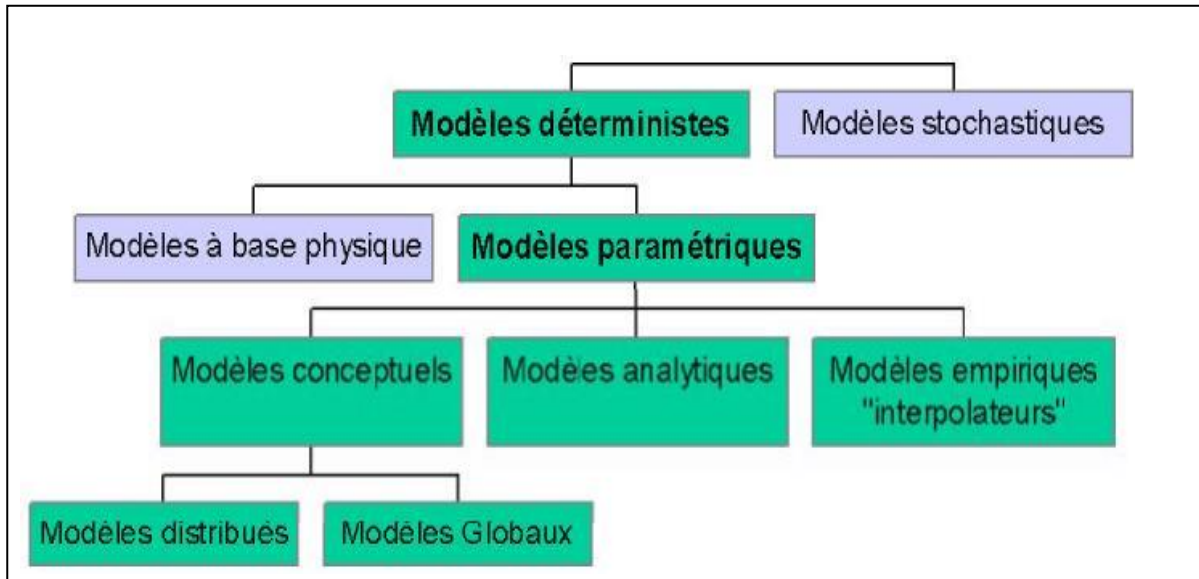


Figure I.2: Les différentes approches de modélisation

I.3.1 Modèles stochastiques

Compte tenu des incertitudes sur les données et quelquefois même sur les processus en jeu, une modélisation stochastique peut sembler appropriée, qu'il s'agisse de l'hydrologie ou de l'environnement. Ainsi Jensen (1992) considère que une approche stochastique est un moyen rationnel de traiter la caractérisation spatiale de la variabilité, et d'établir un lien entre les incertitudes des paramètres et celles des prédictions.

Toutefois cette approche, qui semble par ailleurs le meilleur moyen de caractériser la variabilité des grandeurs, nécessite la connaissance des lois de probabilité les plus courantes pour la variabilité considérée ou au moins de leurs premiers moments [3].

I.3.2 Modèles déterministes

Un modèle est dit déterministe si aucune de ses grandeurs n'est considérée comme aléatoire. La plupart des modèles hydrologiques sont déterministes.

Ces modèles associés à chaque jeu de variables de forçage (variables indépendantes d'entrée du modèle, peuvent être essentiellement des mesures de pluie), de variables d'état (variable permettant de caractériser l'état du système modélisé, par exemple : le niveau de remplissage des différents « réservoirs » d'eau du bassin versant, taux de saturation des sols, profondeur des sols...etc.) et de paramètres, une valeur de réalisation unique des variables de sortie (il s'agit essentiellement des débits simulés à l'exutoire d'un bassin versant) [4].

I.3.3 Modèles à base physique

Le modèle à base physique est basé uniquement sur des équations de la physique, et ne comportant idéalement aucun paramètre. Il n'existe pas de modèle à base physique au sens strict en hydrologie.

Certains modèles comme le SHE tendent à s'en rapprocher. L'importance de l'hétérogénéité spatiale dans la réponse hydrologique des bassins versants rend cependant difficile voire impossible l'utilisation de tels modèles.

La précision spatiale des données disponibles en particulier concernant les types de sols et leurs profondeurs n'est pas suffisante [2].

Dans la pratique, les profondeurs et les conductivités moyennes des sols représentatives de sous parties du bassin versant doivent être évaluées par calage et deviennent, de fait, des paramètres et non des données.

I.3.4 Modèles paramétriques

Les modèles paramétriques sont les modèles incluant des paramètres dont la valeur doit être estimée par calage.

I.3.5 Modèles empiriques

Le type de fonctions reliant les variables est fixé à priori (fonctions polynomiales, fonctions sigmoïdes). Le niveau de complexité (nombre de fonctions à utiliser, ordre du polynôme) étant fixé, le calage consiste alors à déterminer la combinaison de fonctions s'ajustant le mieux aux données mesurées [2].

I.3.6 Modèles analytiques

Ce sont des modèles pour lesquels les relations entre les variables de sortie et les variables d'entrée ont été établies par analyse de séries de données mesurées.

L'exemple type est celui des modèles linéaires : les paramètres de ces modèles sont liés aux coefficients de corrélation entre les variables.

Notons que l'analyse des données peut conduire au choix de relations non linéaire entre les variables [2].

I.3.7 Modèles conceptuels

Ce type de modèle repose sur l'analogie remarquée entre le fonctionnement d'un bassin versant et un ensemble de réservoirs interconnectés.

Nous notons d'ailleurs qu'il serait plus judicieux de regrouper ces modèles sous la dénomination « Modèle conceptuel à réservoir ». Plus précisément, quand la structure du système et des lois le régissant sont inconnues ou lorsque la pauvreté des informations et la complexité des phénomènes en jeu prévalent, le comportement du système en question est simplifié.

Ainsi, les modèles conceptuels intègrent des facteurs complexes en essayant de décrire le concept physique du comportement du système par une représentation plus simple.

Au travers de ce type de modélisation, sont construites des structures empiriques censées reproduire les sorties du système étudié à partir des variables d'entrée (pluie, évapotranspiration, fertilisation, pratiques agricoles).

Ce type de modèle reproduit donc au mieux le comportement d'un système, plutôt qu'il n'avance d'explications causales sur son comportement.

Le modèle CEQUEAU est un parfait exemple de modèle conceptuel que nous présenterons dans la section suivante.

I.3.8 Modèles globaux

Les modèles globaux offrent à l'utilisateur un choix très attractif, car il présente une structure très simplifiée, il ne demande pas trop de données, faciles à utiliser et à calibrer. La représentation du processus hydrologique est très simplifiée.

Il peut souvent mener à des résultats satisfaisants, et spécialement si l'objectif majeur est la prévision d'une crue.

Un exemple de ce type de modèle est le modèle IHRACRES.

I.3.9 Modèles Spatialisés

Actuellement plusieurs modèles spatialisés correspondant à des différentes écoles hydrologiques sont en phase avancée de développement.

En principe, les modèles spatialisés sont des modèles qui utilisent des entrées et des sorties où les caractéristiques des bassins versants sont distribuées dans l'espace. La spatialisation peut être arbitraire ou basée sur des divisions morphologiques naturelles (découpage en sous bassins) ou hydrologiques (aires contributives)

Nous pouvons classer les modèles spatialisés en trois grands types:

- Modèles conceptuels spatialisés ou semi-spatialisés.
- Modèles physiques spatialisés.
- Modèles physiques conceptuels semi-spatialisés.

a-Modèles conceptuels spatialisés ou semipatialisés

Les modèles conceptuels spatialisés ou semi-spatialisés représentent un grand progrès sur les modèles globaux quand il s'agit d'analyser le fonctionnement interne d'un bassin.

Le bassin versant est discrétisé en unités spatiales (mailles ou sous-bassins) considérées comme homogènes, qui se vident les unes dans les autres de l'amont en aval.

Ainsi, on a la possibilité de tenir compte de la répartition spatiale des facteurs et de suivre la genèse et la propagation des débits à l'intérieur du bassin.

C'est le cas du modèle CEQUEAU [Morin] et du modèle HEC-HMS.

b-Modèles physiques spatialisés

Les modèles à base physique spatialisés sont des modèles qui décrivent les mécanismes internes d'un système (bassin versant) ayant comme base les lois de la mécanique, de la physique, de la thermodynamique, etc.

Du point de vue théorique, ces modèles sont indépendants de tout calage parce que leurs paramètres sont mesurables.

Ils permettent une description théorique unifiée de la plupart des flux observés dans un bassin versant et servent à modéliser les principaux processus hydrologiques comme :

- L'écoulement de surface à partir des équations de Saint-Venant ;
- L'écoulement en milieu saturé à partir des équations de Darcy ;
- L'écoulement en milieu non saturé à partir des équations de Richards ;
- L'évapotranspiration à partir des équations de conservation ou de relations entre flux.

A partir d'un découpage de l'espace en mailles de taille adaptée au problème à traiter, ils simulent les diverses composantes du cycle de l'eau sur chaque maille (ruissellement, infiltration, évapotranspiration) et convolent les transferts de maille à maille, jusqu'au réseau hydrographique constitué. Ces modèles sont complexes à mettre en œuvre et exigent d'importantes quantités de données. Ils sont bien adaptés à la simulation de la diversité d'un bassin.

Cependant, ces modèles ne peuvent traiter les grands bassins en raison de leur grande hétérogénéité morphologique et météorologique. Parmi ces modèles on peut citer le modèle SHE.

c- Modèles physiques-conceptuels semi-patialisés

Pour dépasser les limites de chacune des approches précédentes (modèles conceptuels trop peu réalistes, modèles à base physique trop complexes), il est intéressant d'essayer une modélisation hydrologique qui peut être :

- A base physique, fondée sur les processus réels mais simplifiés ;
- Semi-spatialisée, fondée sur une discrétisation en unités relativement homogènes, qui permettent de tenir compte de la variabilité spatiale de la structure du bassin versant.

Conclusion

Parfois la description des processus qui entrent en jeu dans la réponse hydrologique d'un bassin versant n'est pas une tâche aussi facile, cette description demande la connaissance et la maîtrise d'une variété de facteurs et de paramètres. Des renseignements suffisants sur ces données ne sont pas toujours disponibles pour tous les bassins versants, d'où la nécessité de s'investir d'avantage dans l'étude de détermination de ces données pour développer des modèles qui représentent le mieux la réponse hydrologique du bassin versant.