

CHAPITRE II : PRESENTATION DU HEC HMS

II-1-Introduction :

WMS (Watershed Modeling System) inclut une interface graphique à HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System). Ce tutoriel est similaire au tutoriel HEC-1. Les attributs géométriques tels que les surfaces, longueurs et pentes sont automatiquement calculées du bassin versant digital. Les paramètres tels que les taux de pertes, le flux de base, la méthode d'hydrogramme d'unité et les données de routage sont entrés à travers plusieurs boîtes de dialogues interactives. Une fois les paramètres nécessaires pour définir un modèle HMS sont entrés un fichier d'entrée, d'un format nécessaire pour HEC-1, peut être automatiquement écrite. Parce que seulement une partie du fichier d'entrée HEC-1 est définie dans ce chapitre, on vous encourage à explorer les différentes options disponibles dans chaque dialogues. Différent de HEC-1, vous devrez exporter les fichiers HMS de WMS et puis exécuter l'interface graphique de l'utilisateur HMS pour voir les résultats. Afin de faire cela, vous devez avoir une version récente de HMS installée sur votre ordinateur.

II-2- La description du logiciel WMS :

Le WMS (Watershed Modeling System) est une plate-forme performante de modélisation hydrologique et hydraulique, créée pour la première fois par l'USACE en collaboration avec le laboratoire de recherche en modélisation environnementale installé au sein de l'université de Brigham Young (États Unis). Aujourd'hui, c'est l'Aquaveo LLC qui détient ses droits de développement.

Les tâches que ce logiciel peut aider à accomplir sont très diversifiées, mais ce qui l'a rendu sollicité par la DRPE c'est qu'il est apte à supporter la modélisation hydrologique et hydraulique des modèles largement utilisés par les établissements publics et privés algérienne pour réaliser ou valider leurs études hydrologiques et hydrauliques, à savoir le HEC-1 et sa nouvelle forme HEC-HMS pour l'hydrologie et le HEC-RAS pour l'hydraulique.

Par ailleurs, la panoplie d'outils que possède le logiciel WMS permet d'effectuer avec excellence les opérations suivantes :

- Automatiser le processus de caractérisation physique des bassins (délimitation, morphométrie,...) ;
- Calcul et extraction des données d'entrée pour les modèles hydrologiques et hydrauliques à partir des cartes et donnée SIG (MNT, occupation du sol, Sols, Images,...) ;

- Interface graphique simple à manipuler pour une gamme de modèles hydrologiques et hydrauliques diversifiée, afin de préparer leurs fichiers de simulations ;
- Exécution des simulations de la majorité des modèles hydrologiques et hydrauliques qu'il contient.

II-2-1- Les avantages :

Ils sont loin d'être dénombrés, alors on se contentera des plus décisifs :

- Calcul des valeurs initiales des paramètres (CN, TC, St et T_{Lag}), qui aurait dû se faire soit manuellement avec tout le risque d'erreur très probable et de difficulté incontournable, soit estimer en se basant sur la bibliographie qui elle n'est pas toujours fructueuse, voir même leur attribuer des valeurs arbitraires en attendant la calibration qui n'est pas toujours réaliste vu les problèmes d'équin-finalité et de compensation entre les paramètres.
- Automatisation de la description physique du bassin versant, qui est normalement effectuée en partie restreinte par les logiciels de SIG, mais le WMS (Watershed Modeling System) lui permet en plus de faire une liste considérable d'indices morphométriques qui peuvent aider en les analysant, à mieux comprendre l'influence de la morphologie du bassin étudié sur son régime hydrologique.
- Diversité dans le choix des formules de calcul des paramètres : il permet ainsi de choisir la formule la mieux adaptée au contexte, la plus utilisée dans un pays, celle dont on connaît les valeurs de ses facteurs. En outre, il offre l'aptitude d'étudier la sensibilité du modèle à telle ou telle formule.

II-2-2- Les limites :

A part le point suivant, il ne semble pas que le WMS (Watershed Modeling System) ait limité l'avancement droit de cette étude de modélisation. Impossibilité d'exécution des simulations : certes, celle-ci reste une contrainte, mais puisque le logiciel HEC-HMS assume cette mission, donc l'étude n'a pas été influencée par les effets de ce défaut.

II-3- le modèle de simulation hydrologique HEC-HMS :**II-3-1- Les avantages :**

Puisque, nous avons très bien détaillé la description du modèle, nous n'allons mentionner que les points forts résumés comme suit :

- Diversité dans les formalismes proposés : la variété remarquable de ces méthodes de calcul, offre à l'utilisateur l'opportunité du choix en fonction de ses moyens, ses finalités et de son expérience.

- Diversité dans les combinaisons modulaires possibles : ce critère est garanti par le principe de tâches séparées qui le distingue des autres modèles, et qui lui confie une caractéristique incroyable : « plusieurs modèles en un modèle ».
- Aptitude de calibration et nature des résultats issus : pour plusieurs modèles la calibration est effectuée par un autre programme, d'autres peuvent même la faire, mais avec un choix limité de fonctions objectives et d'optimisation. En plus, ces modèles ne peuvent afficher à la fin que les valeurs des paramètres calibrés, l'hydrogramme simulé et observé et la variation de la fonction objective. En revanche, le HEC-HMS avec ses deux fonctions d'optimisation, ses sept fonctions objectives Sans oublier ses graphes explicatifs et analytiques, avec tout ceci, il accorde à la calibration une précision inédite, et à la modélisation une exploitation au bout des choses.

II-3-2- Les limites :

Tous les formalismes utilisent des valeurs constantes des paramètres c'est-à-dire qu'ils sont indépendants du temps, alors que pour de longues durées ces paramètres peuvent changer pour diverses motifs. Il y a une alternative que le développeur propose à ceci c'est de diviser une longue simulation en plusieurs et de changer manuellement les paramètres entre les simulations. Cette contrainte est loin de détériorer nos résultats, car nous avons opté pour une modélisation événementielle.

Tous les modules ne sont pas accouplés, c'est-à-dire que chaque partie du modèle est calculée indépendamment de l'autre, mais l'erreur liée à ce problème est minimisée par l'utilisation de courts temps de calcul. Cette limite touche en particulier les modèles continus de HEC-HMS qui intègrent des facteurs étroitement liés comme l'évapotranspiration, la fonte de neige et l'infiltration. Par conséquent les erreurs sont liées à cet inconvénient est à rejeter dans notre cas.

La représentation de la structure du bassin : représentée dans le HEC-HMS, par un arbre ramifié qui rend son assimilation difficile. Un élément ne peut avoir qu'une seule sortie de débit, l'élément de diversion ne peut pas piquer le débit d'un endroit et le verser dans un autre. Toutes ces limites de représentation sont gênantes, mais dans notre cas, leurs effets sont neutralisés, parce que notre bassin est très simplifié (un élément de « Subbassin », un élément « Reich » et un exutoire).

II-4- La description du modèle HEC-HMS :

Dans cette rubrique, l'accent sera mis sur le modèle HEC-HMS dont nous allons se servir pour la modélisation du soubella, de point de vue générale, en traitant des points tels que : sa création, son mode de fonctionnement, ses capacités, ses modules, ses formalismes, ...etc.

II-4-1- Les caractéristiques générales du modèle :

Le HEC-HMS est un système complet de modélisation hydrologique des bassins versants qui permet de simuler les processus pluie-débit, depuis les précipitations brutes jusqu'au débit total de ruissellement à un temps donné, à un point donné du bassin étudié. Sa conception a été lancée par l'USACE pour évoluer vers une nouvelle génération du logiciel qui va remplacer son antécédent le HEC-1, tous appartenant à la fameuse gamme HEC (HEC-RAS, HEC-GeoRAS, HEC-GeoHMS, ...).

En effet, afin de s'adapter aux différents contextes d'études, ce modèle opère selon le principe de tâches distinctes, c'est-à-dire qu'il simule le bassin à un système uniforme composé de plusieurs composantes assurant chacune de représenter un aspect particulier du processus pluie-débit et agissant successivement pour produire l'hydrogramme de l'écoulement. Pour y parvenir, chaque tâche est confiée à un formalisme d'un module choisi librement par l'utilisateur en fonction de ses besoins et ses données, ainsi, en mutant les formalismes d'un module, le HEC-HMS peut changer de type de modèle, par exemple passer d'un modèle événementiel à un modèle continu, de global au distribué, d'empirique au conceptuel et ainsi de suite.

II-4-2- Le processus de fonctionnement :

Comme nous venons de le mentionner ci-dessus, le HEC-HMS attribue à chaque module une étape de la transformation pluie-débit, et c'est la combinaison des résultats des modules les uns aux autres qui donne l'hydrogramme final. En général, dans le cas d'une modélisation événementielle, c'est l'enchaînement schématisé sur la figure suivante qui est suivi à la lettre pour aboutir au débit de l'exutoire :

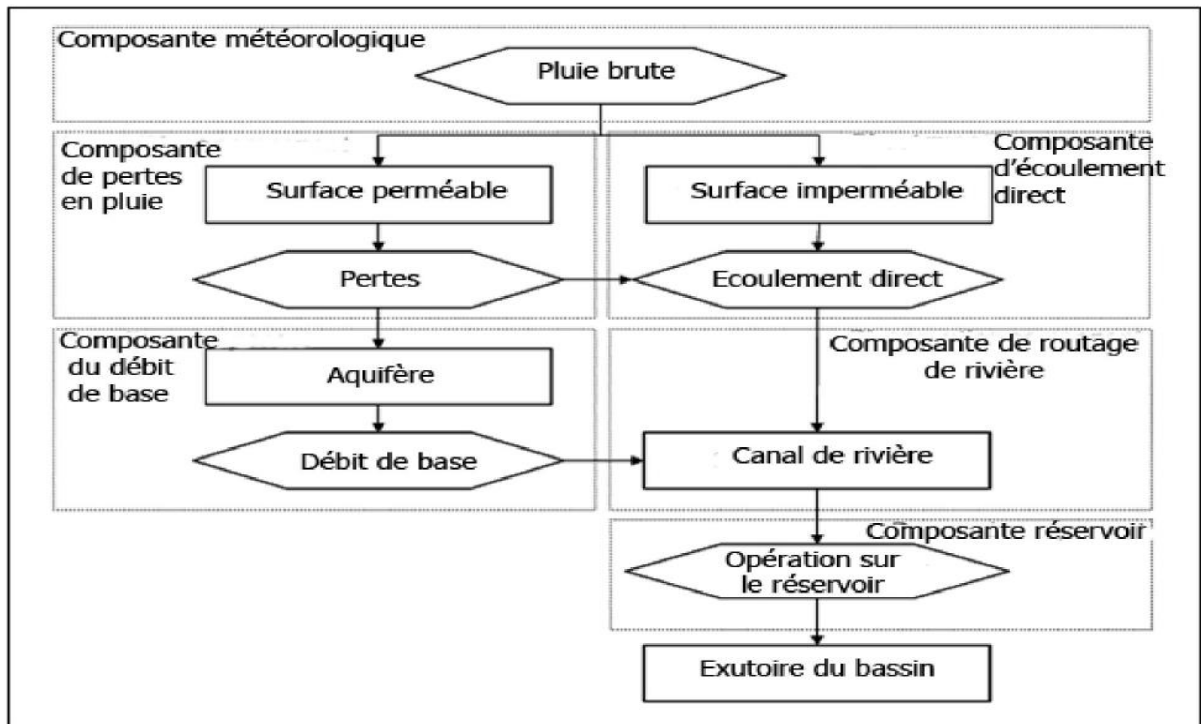


Figure .II-1 L'enchaînement d'intervention des différentes composantes dans la structure événementielle du modèle HEC-HMS

Le module météorologique est la première composante à agir, elle vise à répartir sur la surface du bassin, de manière uniforme dans le temps et l'espace, la hauteur des précipitations brutes saisie. Ensuite, le devenir de ces précipitations diffère selon la perméabilité de la surface :

- Pour les surfaces perméables, les précipitations brutes vont subir des pertes suite à des phénomènes d'interception, d'infiltration et d'évapotranspiration, ces pertes seront calculées par la composante de perte en pluie régie par la fonction de production, les précipitations nettes qui en résultent contribuent simultanément à l'écoulement direct et à l'écoulement souterrain dans l'aquifère.
- Pour les surfaces imperméables, les précipitations sont exonérées de toute perte et rejoignent immédiatement la composante d'écoulement direct où elles se transformeront en écoulement de surface.

Après, l'écoulement de surface et l'écoulement de sub-surface provenant de la composante du débit de base, intégreront tous les deux le canal de la rivière où se manifesteront les phénomènes d'atténuation et de translation contrôlés par la composante de routage. Finalement, l'effet des constructions hydrauliques naturelles ou artificielles (réservoir, retenue de barrage, dépression, lac, ...) est déterminé par la composante du réservoir.

II-4-3- L'organisation du modèle :

Pour faciliter la construction d'un modèle complet qui répond aux circonstances spécifiques de chaque étude de cas, il est strictement nécessaire que le modèle se compose d'au moins quatre modules et deux fonctions essentielles à la modélisation par HEC-HMS, deux autres modules de plus si on veut affiner nos résultats et nos analyses. Ces constituants sont classés, ci-après, par ordre de priorité de conception.

II-4-4- Le module structural du bassin :

Il consiste à schématiser le bassin versant étudié en éléments fondamentaux connectés entre eux sous forme d'un arbre ramifié. Le HEC-HMS offre l'opportunité de représenter toutes les entités naturelles ou artificielles installées dans un bassin et qui influencent le processus de transformation pluie-débit, allant depuis les sous bassins, les exutoires jusqu'aux canaux de rivières et les canaux de diversion d'eau, en passant par les réservoirs, les retenues de barrages,...etc. Dans ce qui suit, on cite ces éléments et leurs rôles dans la représentation de l'état du bassin versant :

- L'élément « Subbassin » : matérialise le bassin si la modélisation est globale, et les sous bassins si on opte pour une modélisation semi-distribuée. Parmi ses attributs de base : la surface, la fonction de production associée et la fonction de transfert associée.
- L'élément « Reach » : représente le plus souvent la rivière, et sert à faire la connexion entre les autres éléments. L'information de base attachée est la fonction de routage.
- L'élément « Réservoir » : décrit les réservoirs, les retenues de barrage,...etc. ses caractéristiques attribués permettent de définir les conditions stockage-déstockage.
- L'élément « Source » : permet d'ajouter des stations de mesure de débit ou de représenter les conditions aux limites.
- L'élément « Jonction » : utilisé pour combiner aux moins deux débits véhiculés par deux éléments, comme dans le cas d'une confluence entre deux rivières.
- L'élément « Diversion » : représente des endroits où se produit des prélèvements d'eau, c'est le cas par exemple des seguias et des canaux de diversion.
- L'élément « Sink » : simule l'exutoire des sous bassins versants.

Dans notre cas, cette étape sera totalement et automatiquement réalisée par le logiciel WMS lors de la phase de caractérisation physique.

II-4-5- Le module météorologique :

Il a comme objectif de répartir les précipitations saisies sur toute la surface étudiée. Pour se faire, le HEC HMS dispose de huit méthodes différentes, à choisir entre elles en fonction des objectifs et de la disponibilité des données, mais elles ont presque toutes la spécificité de distribuer la hauteur de pluie de manière homogène dans le temps et dans l'espace. Ces méthodes sont :

- « Spécifie Hyalographe » : hyétogramme spécifié, c'est l'utilisateur qui se charge de saisir son hyétogramme dont il dispose.
- « Fréquence Storm » : averse de fréquence, utilisé pour développer un événement de précipitation où les hauteurs pour différentes durées dans l'averse ont une probabilité cohérente.
- « Gages Wight » : stations pondérées, utilise un coefficient de pondération à chaque station de mesure de précipitations.
- « Inverse distance » : l'inverse de distance, calcule la moyenne de pluie par l'application de la méthode d'inverse carré des distances pour attribuer à chaque station un coefficient de pondération.
- « Giddey précipitations » : précipitations en maille, permet d'introduire les précipitations sous forme de grille de mesure.
- « Standard Project Storm » : averse de projet standard, répartie une hauteur de précipitations donnée sur un intervalle de temps spécifié.
- « SCS Storm » : averse SCS, applique à la hauteur de précipitations journalière une des distributions d'averse de projet définies par le SCS. Cette méthode sera exposée en détails dans le troisième chapitre.

Le choix de telle ou telle méthode est imposé par l'objectif de la modélisation (détermination du débit de projet, étude de fonctionnement hydrologique du bassin versant,...), la quantité (nombre de stations, période de mesure,...), la qualité (pluviomètres, pluviographes, lacune de mesure,...) des données de précipitations et le type de modélisation envisagé (distribuée, globale).

II-4-6- Le module de la fonction de production :

La fonction de production assure la transformation de la pluie brute en pluie nette en y retranchant toutes les pertes éventuelles causées par l'interception (obstacles, végétation, cuvettes) l'infiltration et l'évapotranspiration (en cas de modélisation continue).

La fonction de production du modèle HEC-HMS distingue entre une surface perméable et imperméable. La première est considérée comme le champ d'intervention de la fonction, afin de ne pas surestimer les pluies qui participent réellement dans le ruissellement appelées pluies nettes. La deuxième quant à elle, est supposée non affectée par les pertes en pluie surtout si elle est connectée au réseau hydrographique, elle est reconnue dans le modèle par le pourcentage d'imperméable du bassin. Il existe six formalismes pour représenter cette fonction à savoir :

- « Initial and Constant Loss » : pertes initiales, à taux constant. Ce formalisme considère un taux maximum de pertes constant, et une perte initiale à saturer avant que le ruissellement commence.
- « Déficit and Constant Loss » : à déficit et à taux de perte constant. Une variante du premier formalisme avec une possibilité de régénération des pertes initiales durant une période sans pluie au cours de l'événement modélisé.
- « Green and Ampt Loss » : formalisme qui s'intéresse plutôt aux pertes par infiltration, cette méthode repose sur l'équation de Darcy et la conservation de masse.
- « Soil Moisture Accounting Loss » : formalisme très poussé qui calcule les 'pertes' par évapotranspiration, infiltration et percolation profonde selon le principe de couche de stockage.
- « SCS Curve Number Loss » : formalisme qui relie les pertes en pluie à l'occupation du sol et le type de sol et l'humidité antécédente. Cette méthode sera détaillée davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.
- « Gridded SCS Curve Number Loss » : format maillé du formalisme précédent.

La sélection de l'un de ces formalismes est une étape délicate qui va influencer sans doute les sorties du modèle. Une toute première contrainte est que le choix peut être dicté par les formalismes utilisés pour les autres modules (module météorologique, fonction de transfert, ...), la deuxième étant la nature de données disponibles (sous forme de maille, détaillées, plusieurs variables,...).

II-4-7- Le module de la fonction de transfert :

Une fois la pluie participante au ruissellement calculée, c'est le rôle de la fonction de transfert qui débute.

Elle permet de déterminer l'hydrogramme résultant de la pluie nette. Le modèle offre six formalismes pour y converger :

- « User-Spécifie Unit Hydrographe » : Hydrogramme unitaire spécifié par l'utilisateur. Ce formalisme consiste à déterminer l'hydrogramme unitaire à partir de données complètes d'un événement pluvieux.
- « Snyder Unit Hydrographe » : Hydrogramme unitaire de Snyder.
- « Kinematic Wave » : onde cinétique. Reconnaît les versants du bassin comme des canaux à surface libre dont le débit entrant correspond à la pluie nette.
- « SCS Unit Hydrographe » : Hydrogramme unitaire de la SCS. Résultant de la combinaison de hydrogramme de plusieurs bassins versants. Ce formalisme sera détaillé davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.
- « Clark Unit Hydrographe » : Hydrogramme unitaire de Clark. Prend en compte les deux phénomènes de translation et d'atténuation. Ce formalisme sera détaillé davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.
- « Mo Clark » : forme maillée du dernier formalisme.

II-5- Les fonctions de transfert : l'hydrogramme unitaire de la NRCS et de Clark :

Puisque nous avons servi de deux fonctions de transfert lors de la modélisation pour évaluer la sensibilité du modèle aux formalismes utilisés, nous présenterons chacune des deux séparément. Mais avant d'y procéder, on va traiter la notion d'hydrogramme unitaire.

II-5-1- L'hydrogramme unitaire :

Comme définit par Sherman en 1932, l'hydrogramme unitaire est l'hydrogramme de ruissellement direct résultant d'une pluie nette, uniforme et constante, d'une durée de référence (D), suffisamment longue pour générer un écoulement sur l'ensemble du bassin. De ce hydrogramme unitaire on peut facilement ressortir l'hydrogramme provoquée par n'importe quelle hauteur de pluie nette, en se référant à sa règle fondamentale :

La relation pluie nette et ruissellement est linéaire. La figure ci-dessous illustre la notion de l'hydrogramme unitaire et ses paramètres clés :

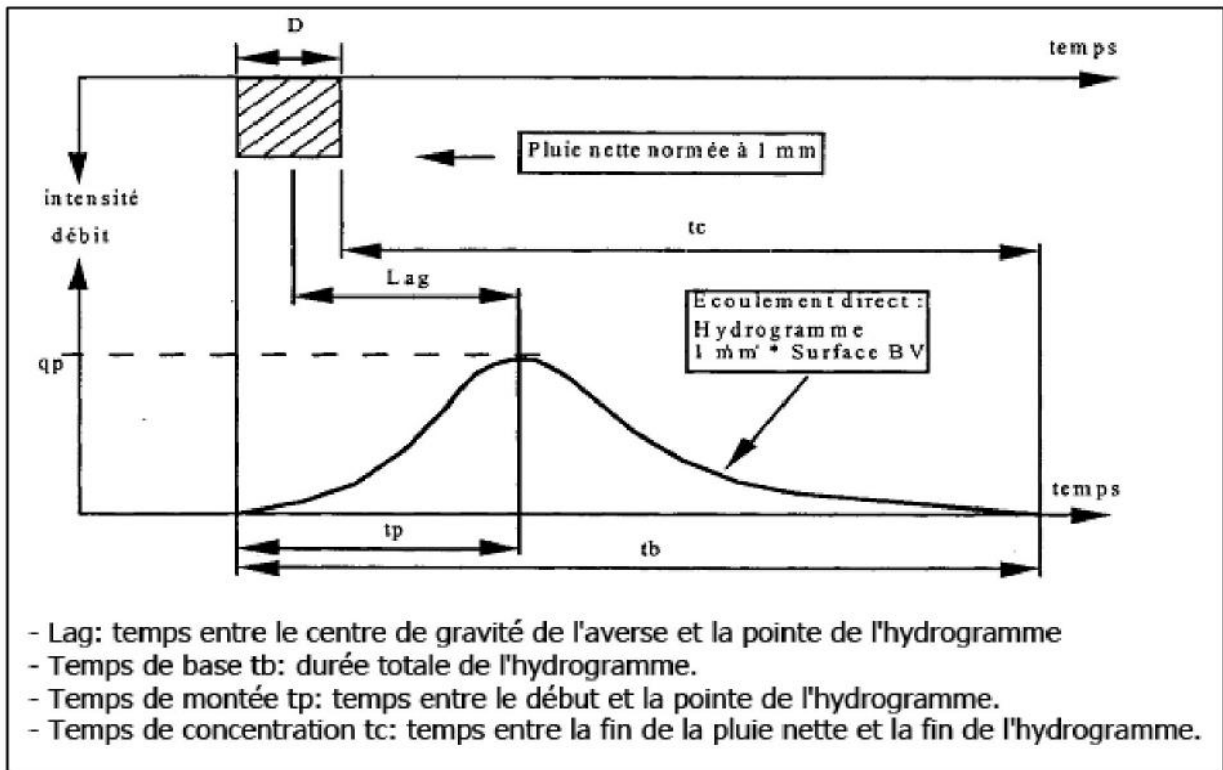


Figure. II- 2 La notion d'hydrogramme unitaire et ses caractéristiques fondamentales

Lors de l'utilisation de l'hydrogramme unitaire comme fonction de transfert, il faut valider ses hypothèses qui

Lui sont associées sur le bassin versant d'étude, ou au moins de les prendre en considération lors de l'analyse des résultats. Ces hypothèses sont :

- La pluie nette est uniforme sur le bassin et constante dans le temps ;
- Les caractéristiques de l'hydrogramme unitaire sont invariantes dans le temps : la durée de l'hydrogramme de ruissellement direct (temps de base t_b) est constante et indépendante de l'intensité de la pluie ;
- La réponse du bassin aux pluies est linéaire : pour une même durée de référence D , les ordonnées de l'hydrogramme unitaire sont proportionnelles au volume de la pluie nette ;
- L'hydrogramme unitaire reflète l'ensemble des caractéristiques physiques du bassin versant.

II-5-2- L'hydrogramme Unitaire de Clark :**II-5-2-1- Le concept de base :**

L'hydrogramme unitaire de Clark interprète deux processus importants dans la transformation pluie nette débit qui sont :

- L'atténuation : reflète le stockage temporaire de la pluie nette dans le bassin versant qui baisse l'ampleur du débit.
- La translation : représente le mouvement de la pluie nette le long du réseau de drainage depuis son origine jusqu'à l'exutoire.

L'hydrogramme en question est fréquemment utilisé pour les modélisations événementielles, cette méthode se montre très efficace pour reproduire des hydrogrammes complexes dans des bassins présentant une topographie et occupation du sol variés.

II-5-2-2- Les paramètres :

Ce hydrogramme possède deux paramètres qui renvoient chacun à l'un des processus pris en compte :

- **Le temps de concentration TC** : résume le processus de translation de la pluie nette le long du réseau hydrographique.
- **Le coefficient de stockage St** : représente le phénomène de stockage provisoire de la pluie nette dans le bassin versant.

Ces deux paramètres sont calculés par le WMS doté de 11 formules pour l'estimation du TC qui donnera

par la suite le St. la formule choisie est la méthode de Kirpich définie comme suit:

$$Ct = 1 + ((80 - CN) \times 0,04)$$

$$Tc = m \times 0,00013 \times \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \right) \times Ct$$

$$S_T = R_{coef} \times T_c$$

Ct : le coefficient du temps de concentration ;

CN : le CN composite du bassin ;

TC : le temps de concentration ;

m : coefficient du type d'occupation du sol ;

L : la longueur depuis l'exutoire jusqu'à l'amont du plus grand cours d'eau en pied ;

S : pente moyenne du bassin en pied/pied ;

St : le coefficient de stockage en heures ;

Rcoef : le coefficient de Clark, il vaut 1.6316.

Notez bien que les valeurs de ces deux paramètres peuvent être calibrées par le modèle HEC-HMS.

II-5-2-3- Le débit de base : la récession exponentielle :

a) Le concept de base :

Ce formalisme donne la possibilité de simuler la contribution du réservoir souterrain au débit avant et après le pic ou les pics de l'événement de crue, et ceci en établissant une relation exponentielle entre le débit à deux temps consécutifs, cette relation est formalisée par l'équation :

$$Q_t = Q_0 \times k^t$$

Qt : le débit au temps t ;

Q0 : le débit initial ;

K : la constante de décroissance exponentielle.

En effet, avant le pic de l'hydrogramme, et connaissant le débit initial, l'équation (7) s'active et commence à reproduire le débit total composé uniquement du débit de base de la rivière, jusqu'au point de début de la crue, depuis lequel ce module agira en parallèle avec le module de la fonction de transfert pour restituer le débit total composé à la fois d'un débit de base en décroissance et d'un débit de surface en forte action.

Ce constat demeure actif jusqu'à un certain point nommé seuil, où l'ampleur de participation dans le débit total se renverse. La figure ci-après illustre comment intervient ce module dans le ruissellement :

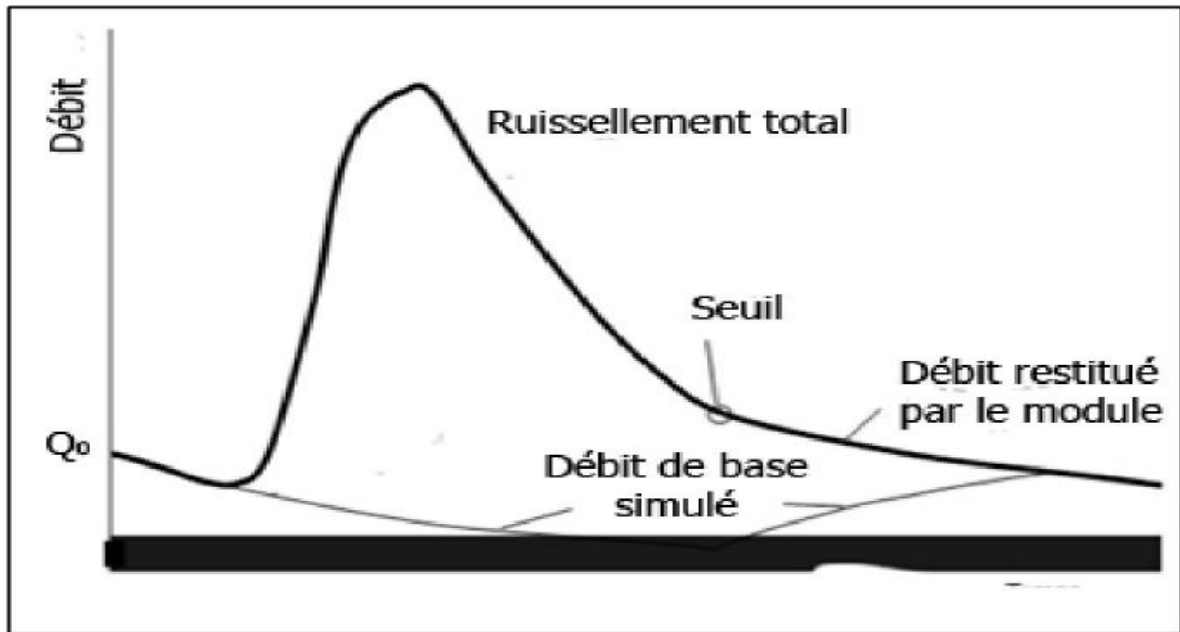


Figure.II-3 L'illustration de la méthode de la récession exponentielle.

b) La variable :

La seule variable d'entrée est le débit initial pour chaque événement de crue, issu de la lecture son hydrogramme.

c) Les paramètres :

Les deux paramètres du module sont :

➤ **La constante de récession RC :**

Ce paramètre dépend des propriétés hydrogéologiques du réservoir souterrain. Elle varie entre 0 et 1. Si sa valeur vaut 1, la contribution du module sera constante avec $Q_t = Q_0$. Puisque, on n'a pas d'informations permettant d'attribuer une valeur initiale à ce paramètre, et que sa valeur peut être calibrée, on se contentera d'une valeur bibliographique en attendant sa calibration.

➤ **Le seuil Td :**

Lui aussi varie entre 0 et 1. Il est lié au débit de pointe sous forme de rapport. Par exemple, une valeur de 0.1 et un débit de pointe de 10 m³/s signifie que le module reprendra son intervention une fois le débit atteint 1 m³/s. De même que le RC, nous se limiterons à une valeur bibliographique en attendant sa calibration.

II-5-2-4- Les avantages et les limites du modèle :

Malgré tous tout ce qu'on vient de dire concernant le modèle décrit ci-dessus, la combinaison modulaire choisie et la plate-forme de préparation des fichiers de simulation, le HEC-HMS sous WMS présente des limites liées essentiellement à la conception du modèle lui-même et aux conditions d'utilisation de la combinaison modulaire choisie. Dans ce qui va suivre, on listera les avantages et les limites dont les trois éléments précités sont pourvus dans la mesure de reconnaître les performances à améliorer et les imperfections à corriger pour une éventuelle future étude.

II-5-3- Le module du débit de base :

Celui-ci est l'un des deux modules complémentaires du modèle, à défaut duquel le HEC-HMS peut tourner, mais sa présence améliore la compréhension des mécanismes qui contrôlent le ruissellement dans le bassin sujet d'étude.

Le débit de base est la contribution du réservoir souterrain dans l'écoulement, sa connaissance est importante pour modéliser la récession de l'hydrogramme avant et après la pointe de débit et pour mieux estimer le volume de crue. 3 formalismes sont proposés par le modèle :

- « Constant Monthly » : Constante mensuelle. Il considère l'écoulement souterrain comme fixe pendant une certaine durée. Ce débit de base mensuel est donc ajouté au ruissellement direct issu des précipitations nettes. Cette méthode est très simple, mais non adaptée au contexte semi-aride où la variation des conditions de saturation des bassins versants se fait en moins d'un mois.
- « Linear Réservoir » : Réservoir linéaire. Il simule le stocke souterrain à un réservoir, ainsi il est toujours associé à la fonction de production type SMA.
- « Récession » : utilise une récession exponentielle du débit de base. Elle est utilisée pour les bassins ou les volumes de crue sont influencés par les événements pluvieux. Ce formalisme sera détaillé davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.

II-5-4- Le module de routage :

C'est le deuxième des deux modules complémentaires, il permet de calculer un hydrogramme en aval du bassin versant, connaissant l'hydrogramme amont. Tous ces formalismes utilisent les équations de continuité et de quantité de mouvement pour la simulation :

- « Lag » ;

- « Muskingum » ;
- « Modifie Puls » ;
- « Kinematic-wave » ;
- « Muskingum Cung ».

II-6- La fonction objective :

Elle mesure la qualité de l'ajustement de l'hydrogramme simulé à l'hydrogramme observé que ce soit en termes de débit, de volume ou du temps. Le HEC-HMS en compte 7 fonctions objectives à savoir :

- « Perak weighted RMS error » : modification de la fonction objective largement utilisée qui est l'erreur sur la racine moyenne des carrés de débit. Cette méthode donne plus de poids aux débits en dessus de la moyenne et moins de poids aux débits en dessous.
- « Sumo of square résiduels » : la somme des résidus au carré, attribue plus de poids aux larges erreurs et moins aux petits erreurs.
- « Sumo of Absolué Résiduels » : la somme des résidus absolus, qui ne différencie pas entre les erreurs larges et celles restreintes.
- « Percent Error in Perak Flow » : le pourcentage d'erreur sur le débit de pointe, qui se focalise sur l'ajustement des débits de pointe.
- « Percent Error in Volume » : le pourcentage d'erreur sur le volume, qui se focalise sur l'ajustement des volumes de ruissellement.
- « RMS Log Error » : utilise l'erreur sur la moyenne de la racine carrée des log des débits pour mettre en phase les débits faibles et forts.
- « Time weighted » : donne du poids aux erreurs proches de la fin de l'événement et moins aux erreurs du début.

Le choix de telle ou telle fonction est dicté par la problématique étudiée et/ou les objectifs de la modélisation. De l'autre côté si on est en présence d'une modélisation continue pour comprendre le fonctionnement hydrologique d'un bassin, il sera préférable d'opter par exemple à la première fonction qui va s'intéresser plutôt aux grands pics de débits. Ainsi, on choisit la fonction qui nous aidera à résoudre notre problématique et atteindre nos objectifs.

II-7- La fonction d'optimisation automatique :

Elle sert à rechercher, sans intervention de l'utilisateur, le jeu de paramètres optimal donnant à la fonction objective sa valeur la meilleure possible. Pour exécuter cette tâche, le HEC-HMS propose 2 méthodes :

- « Université Gradient » : le gradient uni-varié, ajuste un seul paramètre à la fois en gardant les autres constants.
- « Nelder et Mead » : utilise une approche qui consiste à optimiser tous les paramètres simultanément.

Chacune a les paramètres suivants :

- La tolérance : détermine la valeur de changement de la fonction objective en dessous de laquelle l'optimisation des paramètres s'arrête.
- Maximum d'itérations : détermine le nombre maximal de jeux de paramètres à essayer avant d'arrêter l'optimisation.

La fonction d'optimisation s'arrête une fois l'une de ces conditions est remplie :

- La valeur de la fonction objective est nulle ;
- Le nombre d'itérations est atteint et ceci quel que soit la valeur de la fonction objective ;
- La valeur de variation de la fonction objective est inférieure à la tolérance.

En conclusion, on peut dire que la diversité des formalismes dont dispose HEC-HMS, le positionne en tête des modèles les plus robustes dans la simulation des ruissellements au sein du bassin, les plus complets dans l'intégration des différentes composantes d'écoulement et les moins exigeants de point de vue données d'entrée. En outre, sa diversité en matière de combinaisons modulaires possibles, laisse à son utilisateur la capacité de l'adapter à ses données, ses objectifs, ses besoins mais surtout à son expérience.

II-8-La combinaison modulaire choisie :

II-8-1- Les avantages :

Le module météorologique adopté a permis de surmonter le problème d'absence des données de pluviographe.

- La méthode SCS CN est simple, fidèle, ne nécessite pas d'énormes quantités de données, et dépend directement d'un seul paramètre qui renferme trois facteurs de base dans la modélisation pluie-débit (l'occupation du sol, les sols et l'humidité antécédente).
- La méthode SCS CN va nous permettre entre autres de faire des prédictions concernant la réponse du bassin versant à des scénarios de changements susceptibles d'affecter son occupation du sol (urbanisation, déforestation, reboisement,...) et des sols (érosion des sols,...).
- Les deux fonctions de transferts sélectionnées n'exigent pas de données de plus, et montrent des résultats satisfaisants chaque fois qu'on les utilise.

- Le module de débit de base est le mieux adapté au contexte semi-aride, et va aider à mieux restituer les hydrogrammes de crues.
- La combinaison ne contient que peu de paramètres ce qui diminue les erreurs causées par les phénomènes de compensation entre les paramètres et d'équin-finalité.

II-8-2- Les limites :

Le recours à une modélisation événementielle, va restreindre les bénéfices de la modélisation en matière de compréhension du fonctionnement hydrologique du SOUBELLA.

- L'utilisation des averses SCS va certainement influencer les résultats des simulations en termes du
- débit, du volume et de la forme de l'hydrogramme simulé.
- La méthode SCS CN peut produire des erreurs en cas d'utilisation directe des tables SCS, puisque ces tables sont issues de l'analyse de petits bassins des États-Unis.
- L'utilisation d'hydrogramme unitaire peut influencer les résultats si ses hypothèses ne sont pas valides pour le Soubella.

II-8-3- Justification du choix du modèle :

Le choix du modèle a été dicté par plusieurs contraintes de moyens et facteurs de privilège qui font de ce modèle un bon choix. Parmi ceux les plus importants :

- Les données exigées par le modèle sont plus ou moins simples, accessibles et disponibles. Donc, le modèle peut donc tourner sans soucis.
- Possibilité d'intégrer les majeurs facteurs affectant la transformation pluie-débit (morphométrie du bassin versant, occupation du sol, types de sols et humidité antérieure), et donc les résultats seront plus réalistes.
- la SCS CN a été validée sur plusieurs bassins versants dans le monde, et ses résultats sont fiables et similaires aux modèles complexes.
- Le modèle HEC-HMS et en particulier la méthode SCS CN est largement utilisée au Maroc, ce qui rend sa validation dans notre bassin très probable.
- Avoir une base commune pour la comparaison avec les deux premières études de modélisation menées sur le SOUBELLA. Cette base c'est la description physique du bassin versant, plus précisément l'occupation du sol et le type de sol.
- La connaissance préalable du modèle lors d'une initiation à son utilisation et application pendant un stage antérieure.