

Chapitre III :Description des logiciels Arc Gis, Hec Geo HMS et HEC-HMS

Introduction

Le modèle hydrologique déterministe et conceptuel HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) a longtemps été un modèle appliqué à la simulation d'un événement donné. Par contre, les versions récentes permettent de simuler en continu sur une longue période grâce à des modules de calculs d'évapotranspiration, d'humidité du sol et d'accumulation/fonte de neige.

Toutefois, dans le cadre du cours Ressources hydriques, le modèle sera utilisé sur une base événementielle. HEC-HMS est un modèle distribué qui permet de subdiviser un bassin versant en plusieurs parties, appelées sous-bassins, qui sont considérées comme ayant chacune des caractéristiques homogènes. Il est particulièrement bien adapté pour simuler le comportement hydrologique de bassins versants non urbanisés. HEC-HMS permet également de simuler et d'incorporer des réservoirs et des dérivations.

III-1-Découverte de HEC-HMS sous ArcGis :

III 1.1 - La description du modèle ArcGis :

III -1.1.1- Présentation du logiciel ArcGis

ArcGis est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG).

Un logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

Le principe directeur d'un SIG est le suivant : nous avons d'un côté les données géométriques et de l'autre les données attributaires. Ces données sont stockées sous format numérique et organisées par couches (appelées aussi « shapefiles » dans ArcGIS).

Petit point de détail : ArcGIS est en réalité une suite, qui se décline en trois versions (ArcView, ArcEditor et ArcInfo).

La différence entre ces versions est le nombre d'options supplémentaires disponibles, ArcView en possédant le moins. Ceci est indépendant des extensions (Spatial Analyst, 3D Analyst... que l'on peut acheter en supplément de chaque suite).

Chacune de ces trois versions de la suite ArcGis est constituée d'une interface ArcMap et d'une interface ArcCatalog (accessoirement d'une interface ArcToolBox séparée pour les versions antérieures à la version 9.0).

La version 10.1 apporte la possibilité de gérer ArcCatalog et ArcToolBox directement depuis l'interface d'ArcMap.

III -1.1.2- Qu'est ce qu'ArcGIS ?

ArcGIS est un système regroupant des logiciels clients (ArcView , ArcEditor , ArcInfo et ArcExplorer) et des logiciels serveurs (ArcSDE et ArcIMS).

ArcView 9 est un Système d'Information Géographique permettant de visualiser, d'interroger, d'analyser et de mettre en page les données. Il fournit des outils interactifs pour explorer, sélectionner, afficher, éditer, analyser, symboliser et classer les données ou pour créer automatiquement, mettre à jour ou gérer les métadonnées. ArcView 9 comprend ArcCatalog, ArcMap et une version allégée d'ArcToolBox.

ArcCatalog fournit à l'utilisateur des fonctions de :

- Manipulation des données (créer, définir, déplacer, renommer, ...)
- Consultation des données (affichage, interrogation, ...)
- Documentation des données (métadonnées)

ArcMap est l'application centrale d'ArcView. Elle permet de réaliser les tâches suivantes :

- Visualiser des données spatiales et attributaires (Etiquetage, symbologie, filtrage d'entités, ...)

III-1.1.3- Couplage ArcGIS – HEC-GeoHMS :

Les extensions HEC-GeoHMS et HEC-GeoRAS permettent de faciliter le travail de modélisation. Ces extensions sont gratuites, par contre il faut disposer d'un logiciel de système d'information géographique (SIG) ainsi que des extensions Spatial Analyst et 3D Analyst.

Pour la présente étude les versions suivantes ont été utilisées :

- ArcGIS 10.1 logiciel de système d'information géographique
- HEC-GeoHMS 10.1 outil hydrologique géospatial
- HEC-HMS 4.0 modélisation hydrologique

HEC-GeoHMS a été développé comme un outil hydrologique géospatial pour les ingénieurs et hydrologues. Il assiste l'utilisateur pour la délimitation en sous bassins versants, ainsi que la détermination des paramètres hydrologiques qui seront directement employées par HEC-HMS (le logiciel de modélisation hydrologique).

III-1.1.4-Les étapes de répartition du bassin en sous bassin par HEC-GeoHMS :

A partir du MNT, sont réalisées neuf opérations qui permettent d'obtenir la schématisation du modèle de bassin :

1. Correction du MNT par un remplissage des cuvettes (**Fill Sinks**) afin de pouvoir déterminer le sens d'écoulement dans l'étape suivante.
2. Sens de l'écoulement (**Flow direction**). Lors de cette étape la direction de chaque cellule est définie selon les 8 directions possibles (nord, nord-est, est, sud-est, sud, sud-ouest, ouest, nordouest).
3. Accumulation de l'écoulement (**Flow Accumulation**). Cette étape détermine le nombre de cellules ascendantes s'écoulant dans une cellule donnée.
4. Définition du cours d'eau (**Stream Definition**). Cette étape classe toutes les cellules dont l'accumulation d'écoulement est plus grande qu'un seuil défini par l'utilisateur.
5. Segmentation du cours d'eau (**Stream Segmentation**). Cette étape divise les cours d'eau en des segments. Les segments de cours d'eau sont des sections d'un cours d'eau qui relient deux jonctions successives ou une jonction et un exutoire ou une jonction et une confluence.
6. Délimitation en sous-bassins (**Catchment Grid Delineation**). Cette étape trace les limites des sous-bassins pour chaque segment de cours d'eau.
7. Polygones des sous-bassins (**Catchment Polygon Processing**). Cette étape convertit la représentation en grille des sous-bassins en représentation vectorielle.

8. Traitement des segments de cours d'eau (**Drainage Line Processing**). Cette étape convertit les ruisseaux de la représentation en grille en représentation vectorielle.
9. Agrégation des lignes de partage (**Adjoint Catchment Processing**). Cette étape agrège les sous-bassins à chaque confluence de ruisseaux.

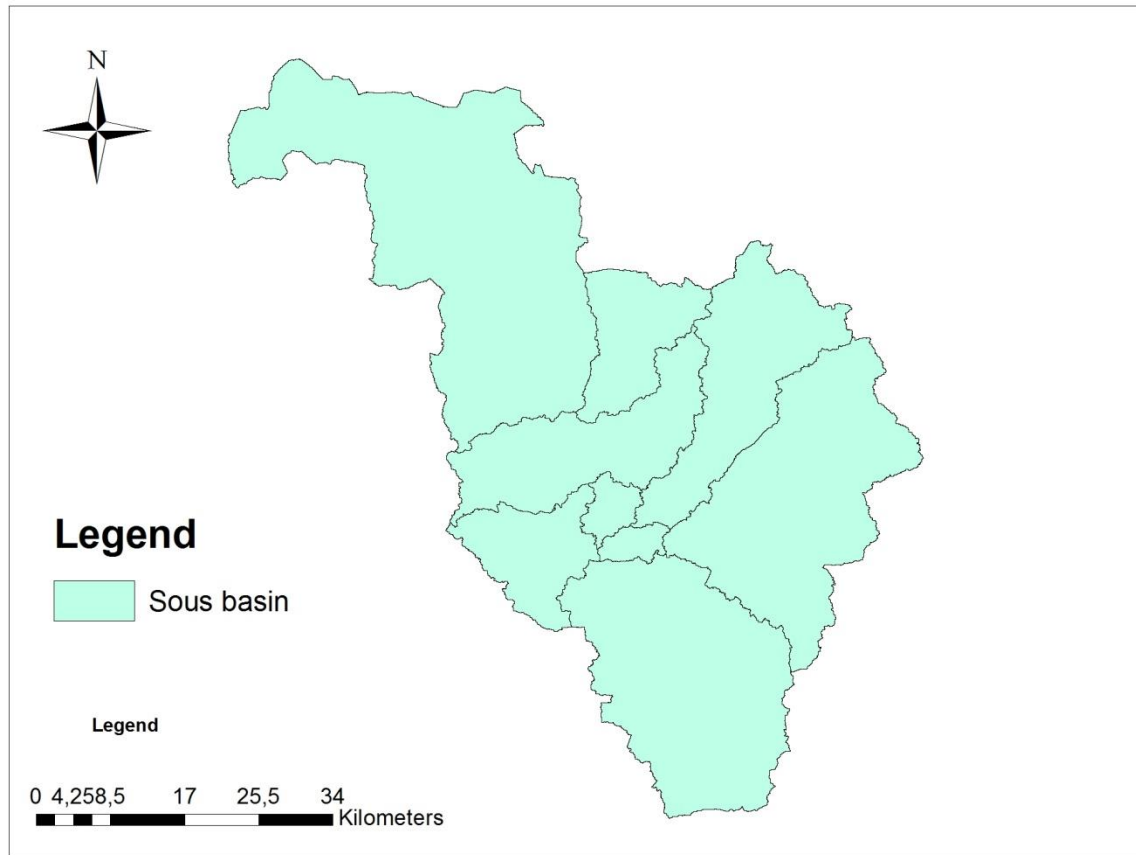


Figure III.1 : répartition du bassin en sous bassin par HEC-GeoHMS

La définition des cours d'eau ne semble donc pas satisfaisante. La résolution spatiale du MNT est probablement insuffisante pour tenir compte des rectifications de cours d'eau.

Le découpage initial en sous-bassins peut être amené par l'utilisateur. Pour ce faire, il faut d'abord créer un nouveau projet et définir la zone d'étude en indiquant l'exutoire du bassin versant.

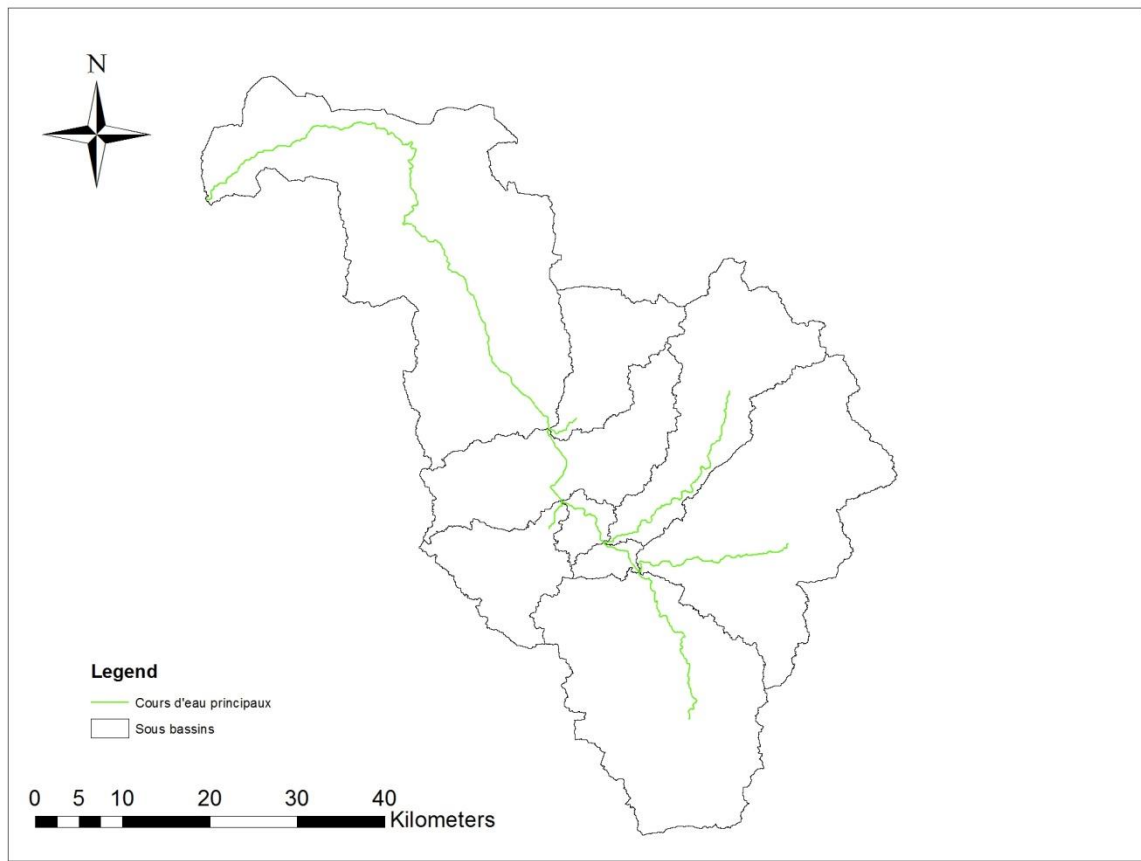


Figure III.2 : Découpage final des sous-bassin versants par HEC-GeoHMS

L'étude hydrologique doit permettre d'estimer les débits de ruissellement de chaque sous-bassin versant. Ces débits seront injectés dans le modèle hydraulique. Nous distinguons deux types d'apports latéraux. Selon le type d'apports latéraux, l'injection dans le modèle hydraulique sera différente :

- les apports latéraux ponctuels, provenant des affluents de la boussellam, sont injectés à la confluence entre la boussellam et l'affluent en question,
- les apports latéraux diffus, provenant des bassins intermédiaires drainés par la BV, sont uniformément répartis sur le tronçon de rivière correspondant à l'apport.

III-1.1.5- Paramètres morphologiques des sous-bassins versants :

Plusieurs outils dans HEC-GeoHMS permettent de définir les caractéristiques des sous-bassins.

La forme d'un bassin versant influe sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Cette forme est caractérisée par l'indice de Gravelius, donné par la formule suivante :

$$K_G = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$$

P : Périmètre du bassin (km)
 S : Surface du bassin (km²)

L'ensemble des coefficients de Gravelius calculés sont supérieures à 0,57, donc les bassins sont plutôt de forme allongée que circulaire ou compacte. Cet indice a une influence sur la réponse hydrologique du bassin versant.

Name de BV	Périmètre (km)	Surface (km ²)	coefficient de Gravelius
W180	259	534,47	9,30
W170	172	519,98	11,10
W110	96	303,24	8,67
W160	166	26,195	0,57
W140	106	149,12	4,06
W150	49	35,037	1,40
W130	38	275,61	12,52
W120	193	155,17	3,13
W100	166	891,62	19,38
BV total	1245	2890	22,93

Tableau III.1 : Caractéristiques géométriques des sous-bassins versants

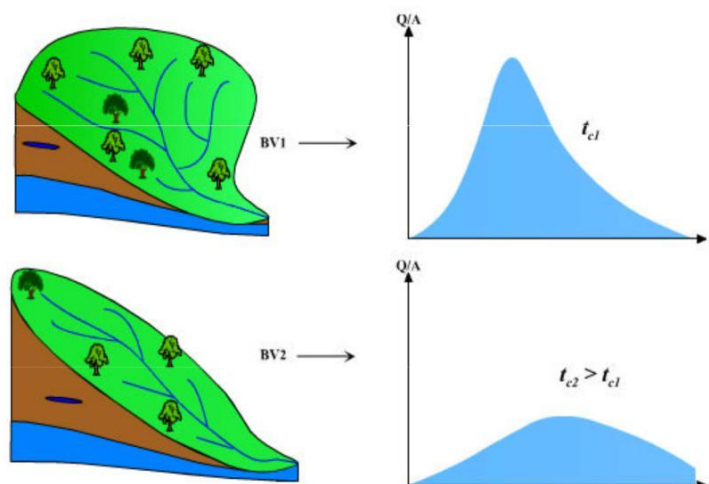


Figure III.3 : Influence de la forme du bassin versant sur la réponse hydrologique

Le calcul du plus long chemin hydraulique a également été réalisé à l'aide de HEC-Geo HMS. L'exécution de cette manipulation a échouée et provoquée une erreur. Après diverses recherches dans des forums, et des échanges de mails avec les développeurs du logiciel, le problème a été résolu en effaçant toutes traces dans les dossiers temporaires. Le tracé du plus long chemin hydraulique par sous-bassin versant peut être amendé par l'utilisateur grâce à l'outil « Interactive Longest Flow Path ».

Les résultats sont présentés sur la figure 04

- plus long chemin hydraulique par sous-bassin

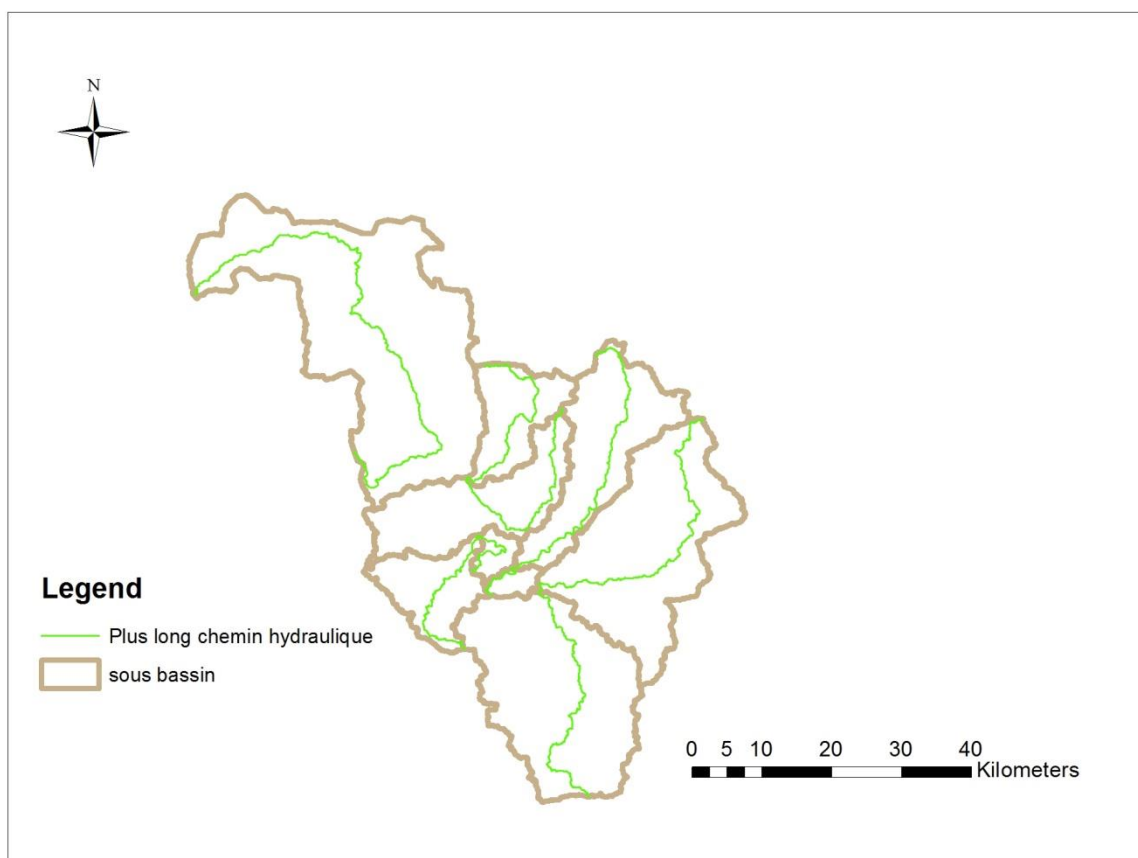


Figure III.4 : Plus long chemin hydraulique par sous-bassin versant

Name de sous bassin	Plus long chemin hydraulique (km)
W180	53,23
W170	35,60
W110	38,05
W160	57,93
W140	96,52
W150	14,96
W130	9,15
W120	30,29
W100	48,66

Tableau III.2 : Plus longs chemins hydrauliques

Le plus long chemin du bassin versant en entier est de 53,23 kilomètres.

Les plus longs chemins hydrauliques interviennent dans le calcul du temps de concentration qui peut être calculé selon plusieurs manières :

- Formule de Kirpich : $tc = 0.066 \times L^{0.77} \times I^{-0.385}$

- Formule de Ventura : $tc = 0.127 \times (S/I)^{(1/2)}$

Avec : **tc : Temps de concentration(h)**

L : plus long chemin hydraulique(Km)

I : pente (m/m)

S : Superficie du bassin versant(Km²)

Les résultats sont présentés les temps de concentration retenus sont les suivants :

Name	tc(kirpich)	tc(ventura)
Sous bassinW180	23,41	20,33
Sous bassinW170	20,46	17,06
Sous bassinW110	28,2	25,9
Sous bassinW160	20,63	17,25
Sous bassinW140	34,38	33,47
Sous bassinW150	28,85	51,38
Sous bassinW130	48	38,51
Sous bassinW120	38,3	37,45
Sous bassinW100	37,48	29,9

Tableau III.3 : Temps de concentration retenus

III-1.2- 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 oued Cheliff - Ghrib, de point de vue générale, en traitant des points tels que : sa création, son mode de fonctionnement, ses capacités, ses modules, ses formalismes.

Notez bien que cette description ne portera que sur l'aptitude de modélisation événementielle du HEC-HMS, vu que c'est elle qui nous intéresse dans notre étude.

III-1.2.1- 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 HEC (HEC-RAS, HEC-GeoRAS, HEC-GeoHMS ...).

Le HEC-HMS a été largement employé et validé dans plusieurs bassins versants à climats contrastés à travers le monde, il a été utilisé lors pour la prévention contre les dégâts des inondations dans les zones potentielles à cet aléa, ainsi que par les bureaux d'études, sur les bassins de moyenne et grande taille, pour leurs études hydrologiques de détermination des quantiles de débit.

III-1.2.2- 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 :

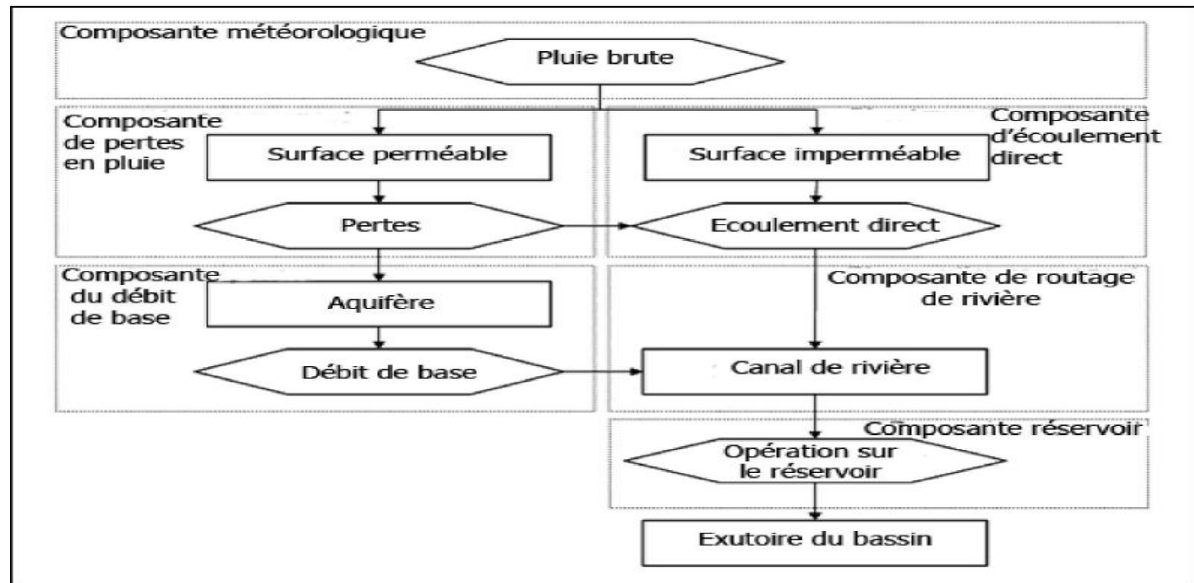


Figure III.5 : L'enchaînement d'intervention des différentes composantes dans la structure Événementielle du HEC-HMS

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.

III-1.2.3 : 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.

a- 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 « Reservoir » : 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 **ArcGis** lors de la phase de caractérisation physique.

b- Le module météorologique :

Il a comme objectif de répartir les précipitations saisies sur toute la surface étudiée. Pour se faire, le HECHMS 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 :

- « Specified Hyetograph » : hyétogramme spécifié, c'est l'utilisateur qui se charge de saisir son hyétogramme dont il dispose.
- « Frequency 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 weights » : 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.
- « Gridded precipitations » : 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).

En addition à tout ceci, le modèle possède la capacité d'intégrer l'évapotranspiration et la contribution de la fonte de neige en cas de modélisation continue.

c- 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 [7].
- « Deficit 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 [7].
- « Green and AmptLoss » : formalisme qui s'intéresse plutôt aux pertes par infiltration, cette méthode repose sur l'équation de Darcy et la conservation de masse.
- « SoilMoistureAccountingLoss » : formalisme très poussé qui calcule les 'pertes' par évapotranspiration, infiltration et percolation profonde selon le principe de couche de stockage.
- « SCS CurveNumberLoss » : 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 CurveNumber 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,...).

d- 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-Specified Unit Hydrograph » : Hydrogramme unitaire spécifié par l'utilisateur. Ce formalisme consiste à déterminer l'hydrogramme unitaire à partir de données complètes d'un événement pluvieux [7].
- « Snyder Unit Hydrograph » : Hydrogramme unitaire de Snyder.
- « KinematicWave » : onde cinétique. Reconnait les versants du bassin comme des canaux à surface libre dont le débit entrant correspond à la pluie nette.
- « SCS Unit Hydrograph » : Hydrogramme unitaire de la SCS. Résultant de la combinaison des hydrogrammes de plusieurs bassins versants. Ce formalisme sera détaillé davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.
- « Clark Unit Hydrograph » : 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.
- « ModClark » : forme maillée du dernier formalisme.

L'USACE fournit quelques recommandations pour faciliter le choix du formalisme le mieux adapté :

- Disponibilité de données pour la calibration des paramètres ou l'estimation de leurs valeurs : connaissant que la source optimale des paramètres de ces formalismes est la
- calibration, la possibilité d'exécuter cette opération s'avère fructueuse pour les hydrogrammes unitaires. Cependant, si cette possibilité n'est valide, la méthode de l'onde cinétique semble être la plus appropriée mais à condition d'avoir les données mesurées et observées nécessaires.

- La validation des hypothèses du formalisme sélectionné : vérifier que les hypothèses méthode ne sont pas violées, sinon le risque d'aboutir à des résultats aberrants est potentiellement présent.

e- 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 des durées d'un mois. 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.
- « LinearReservoir » : Réservoir linéaire. Il simule le stocke souterrain à un réservoir, ainsi il est toujours associé à la fonction de production type SMA.
- « Recession » : utilise une récession exponentielle du débit de base. Elle est utilisée pour les bassins où les volumes de crue sont influencés par les événements pluvieux. [8] Ce formalisme sera détaillé davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.

f- 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 » ;
- « Modified Puls » ;
- « Kinematic-wave » ;
- « Muskingum Cunge ».

g- 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 :

- « Peakweighted 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.
- « Sum of squaredresiduals » : la somme des résidus au carré, attribue plus de poids aux larges erreurs et moins aux petits erreurs.
- « Sum of AbsoluteResiduals » : la somme des résidus absolus, qui ne différencie pas entre les erreurs larges et celles restreintes.« Percent Error in Peak 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. Par exemple, si on est amené à faire une délimitation des zones inondables, la fonction objective sur le volume est appréciée, si par contre l'objectif étant de déterminer le débit de projet d'un ouvrage quelconque, la fonction objective conseillée est celle jouant sur le débit de pointe.

De l'autre coté 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.

h.-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 :

- « Univariate 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 quelque soit la valeur de la fonction objective ;
- La valeur de variation de la fonction objective est en 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.

III.1.3- La structure du modèle HEC-HMS choisie :

Dans cette section, nous allons évoquer précisément la combinaison modulaire choisie pour modéliser le bassin, en expliquant ses concepts de base, en citant ses variables et ses paramètres

et la façon dont nous allons les estimer et en listant ses avantages et ses limites, sans oublier la justification du choix à la fois du modèle et de la combinaison modulaire.

III.1.3-1- Le type de modélisation : événementielle

Malgré qu'on le considère comme étant le bassin le mieux instrumenté, avec un réseau de mesure composé de : neuf pluviomètres, deux pluviographes, une station hydrométrique, deux stations météorologiques, le bassin versant reste encore mal renseigné, non pas parce que le réseau n'est pas aussi représentatif, mais parce que l'accès à l'ensemble de sa base de données n'était pas possible lors de cette étude vu le caractère privé de 80% de ces stations.

Donc, heurté à cette réalité, où l'accès n'était ouvert en plus de la station hydrométrique qu'à trois stations pluviométriques et sans aucune information sur les stations météorologiques, nous avons décidé de laisser à part l'idée de la modélisation continue avec tout l'apport qu'elle peut constituer dans la compréhension du fonctionnement hydrologique, et de s'orienter – pour

le moment - vers une modélisation événementielle qui elle aussi va être confrontée au problème d'absence des distributions temporelles des pluviographes.

ais ceci va être surmonté en essayant une nouvelle alternative nommée les averses type NRCS décrite dans la partie ci-dessous.

II.1.3-2- La fonction de production : la NRCS CN :

a- Le concept de base :

De même que pour les averses, la mise en place de cette fonction a été réalisée par le NRCS en coopération, cette fois-ci, avec trois consultants privés à savoir : Horner, Horton et Sherman [9].

Cette fonction de production apparue en 1950 et surnommée autrefois la SCS CN est le fruit de plus de deux décennies d'analyses des relations pluies-débits sur des petits bassins. Elle relie la pluie nette participante au ruissellement à trois facteurs fondamentaux : l'occupation du sol, le type de sol et l'humidité antécédente, selon l'équation suivante [10] :

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

Avec : P_e : les précipitations nettes au temps t ;

P : les précipitations brutes au temps t ;

I_a : l'abstraction initiale ;

S : le potentiel maximum de rétention.

Après avoir effectué de nombreuses expériences, le NRCS a proposé une relation empirique supplémentaire liant l'abstraction initiale d'un bassin versant au potentiel maximum de rétention [10]:

$$I_a = 0,2 \times S$$

Ainsi, l'équation (1) devient :

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Pour chaque pas de temps, la pluie nette est la différence de la valeur de P_e au début et à la fin du pas de temps.

L'influence des deux premiers facteurs susmentionnés est estimée par le paramètre **CN** qui est relié à S par l'équation [10] :(4)

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

Alors que pour intégrer l'influence de l'humidité antécédente, on fait appel à la hauteur de pluie tombée pendant les cinq derniers jours précédant l'événement de crue (NRCS). Ensuite, on définit soit un CN normal, sec ou humide, tout en respectant le tableau ci-après :

Types de CN	Hauteur de pluie (mm) sur les 5 jours antérieurs		
	Base annuelle	Base saisonnière	
		Période de végétation	Période de vegetation
CN(I): conditions sèches	H<12.5	H<35	H<12.5
CN(II) : conditions normale	12.5<H<37.5	35<H<53	12.5<H<27.5
CN(III): conditions humides	H>37.5	H>53	H>27.5

Tableau III.4 :La relation pluie antérieure et type de CN pour la méthode NRCS CN

Donc, selon les conditions d'humidité antérieure propres à chaque événement, on est amené à convertir la valeur de CN normal (lue sur les tables NRCS) au CN sec (I) ou humide (III) en appliquant les formules ci-dessous [4]:

$$CN(I) = \frac{4,2 \times CN(II)}{10 - 0,058 * CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \times CN(II)}{10 + 0,13 * CN(II)}$$

b- Les variables :

***La carte d'occupation du sol:** cette donnée sert en combinaison avec la carte des sols à déterminer la valeur de CN normal pour chaque composé hydrologique de sol.

Cette classification renferme la majorité des classes susceptibles d'être présentes sur le terrain avec une précision décisive.

***La carte de sols:** elle aide à estimer la valeur de CN normal pour chaque composé hydrologique de sol. Comme la carte d'occupation du sol, la carte des sols :

Type de sol	Groupe	I ₀ [mm/h]	I _f [mm/h]
Sable, silt	A	250	12 – 8
Limon sableux	B	200	8 – 4
Limon argileux	C	130	4 – 1
Argiles, sols salins	D	75	1 – 0

Tableau III.5 : Les capacités initiales i₀et finales i_fd'infiltration en fonction des classes de solpar le NRCS

***Le pourcentage d'imperméable:** il désigne la portion de la surface du bassin considérée comme étanche et directement connectée au réseau de drainage. Ce pourcentage est déduit lors de l'élaboration de la carte d'occupation du sol.

c- Les paramètres :

***CN:** sa valeur varie entre 100 (surface d'eau) et 30 pour des sols très perméables à haut potentiel d'infiltration [10]. Il est déterminé pour un composé hydrologique de sol à partir de tables NRCS (annexe 3) où on combine la nature de l'utilisation du sol, son traitement, les conditions hydrologiques avec le type de sol pour trouver la valeur de CN normal, qui va être utilisée directement dans les équations citées, ou après l'avoir convertie selon la hauteur de pluie tombée pendant les cinq jours avant l'événement.

Pour un bassin versant composé de plusieurs classes d'occupation du sol et de type de sols, un composite doit être calculé par la formule :

$$CN_{\text{composité}} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i}$$

CN_{composite} : le CN utilisé pour l'ensemble du bassin par la fonction de production ;

CN_i : le CN d'un composé hydrologique du sol ;

A_i : surface de drainage du composé hydrologique du sol.

Ia: abstraction initiale mesurée en mm, elle correspond aux pertes initiales provenant durant la première phase de l'événement pluvieux, dû aux interceptions, au stockage nature dépressions,...etc.

L'écoulement ne débute qu'une fois la pluie brute dépasse la valeur de Ia. On estime sa valeur le plus souvent par calibration, Il reste à signaler que les valeurs de ces deux paramètres peuvent être calibrées par le modèle HEC-HMS.

II.1.4 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 NRCS CN a été validée sur plusieurs bassins versants dans le monde, et ses résultats sont fiables et similaires aux modèles complexes [7]
- Le modèle HEC-HMS et en particulier la méthode NRCS 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 bassin. 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.