

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Etude de pluies extrêmes dans le bassin versant de Sebaou.**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0003-18

APA Citation ( APA توثيق ):

**Ziane Berroudja, Horiya (2018). Etude de pluies extrêmes dans le bassin versant de Sebaou[Thèse de master, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بثمين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بنه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

## MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option: ASSAINISSEMENT**

**THEME :**

**ETUDE DE PLUIES EXTREMES DANS LE BASSIN VERSANT  
DE SEBAOU**

**Présenté Par :**

M<sup>elle</sup> **ZIANE BERROUDJA Horiya**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
M <sup>me</sup> H.MEDDI	MCA	Présidente
M <sup>r</sup> A.AMMARI	MCB	Examineur
M <sup>r</sup> A.BOUFEKANE	MAA	Examineur
M <sup>me</sup> S. KHALED/HOULI	MAA	Examinatrice
M <sup>me</sup> S.BELLABAS/CHARIFI	MAA	Promotrice

**Session Juin- 2018**

## ❧ Remerciements ❧

*Louange à Dieu, tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté et le courage pour arriver jusque-là.*

*Au terme de cette modeste étude, Je voudrais exprimer mes gratitude et mes sincères remerciements à ma promotrice M<sup>me</sup> SALIMA BELLABAS CHARIFI pour son aide, sa patience, ses commentaires et bien sûr ses critiques constructives; Elle n'a épargné ni temps ni efforts pour mener à bien ce projet.*

*Je remercie M<sup>r</sup> ABDI I, pour son aide précieux et sa disponibilité.*

*Je tiens à remercier également M<sup>r</sup> KHELFI M.A et M<sup>r</sup> BOUVIER CH pour leur générosité et leur soutien pour la contribution de ce travail.*

*Je remercie évidemment le Président et les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail.*

*Je n'oublie pas de remercier aussi l'ensemble des enseignants de l'E.N.S.H qui ont assuré ma formation.*

*Enfin ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse.*

❧ H.ZIANE BERROUDJA ❧

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect à :*

*Mes parents que je ne pourrai jamais remercier pour ce que je suis devenue grâce à leur éducation et sacrifices*

*Mes frères, mes belles sœurs, mes neveux et mes nièces*

*Mes amis(es) avec qui j'ai partagés des souvenirs inoubliables et ceux qui m'ont toujours soutenu mes chères amies : Nadjat, Chahrazed, Samia, Safaâ, Hanan et Hamida*

*Et à tous ceux qui ont su m'apporter aide et soutien aux moments propices, Je dédie ce travail, reconnaissant et remerciant chaleureusement.*

*HORIYA*

## ملخص:

الهدف من هذا العمل هو الوقاية من الأحداث القصوى في الحوض الهيدروغرافي سيباو ، من خلال تطبيق النمذجة الهيدرولوجية على البيانات الساعية للأمطار القصوى، وذلك بمحاكاة سلسلة التدفقات باستخدام تسجيلات الأمطار المرصودة.

ولتحقيق ذلك قمنا بالاعتماد ATHYS الذي هو عبارة عن مجموعة من النماذج التي تستخدم لمعالجة مجموع البيانات على برنامج الجغرافية لنموذج التضاريس العددي، سلسلة التسجيلات الهيدرولوجية، وكذا محاكاة الأحداث القصوى. تم اختيار الأحداث حسب توفر التسجيلات الملاحظة بالحوض الهيدروغرافي سيباو. أثبتت النتائج بشكل عام وجود تناسب جيد بين التدفقات الملاحظة والمحاكاة.

**الكلمات المفتاحية :** حوض هيدروغرافي، الأحداث القصوى، نمذجة،

## Résumé

L'objectif de ce travail s'inscrit dans le cadre de la prévention des événements extrêmes dans le bassin versant de Sébaou, en appliquant une modélisation hydrologique aux pluies maximales horaires, ainsi en simulant des séries de débits à partir des pluies observées.

Pour se faire, l'utilisation du logiciel ATHYS (Atelier Hydrologique Spatialisé) est effectuée. Ce logiciel est un ensemble de modules, pour le traitement des données géographiques, de MNT Modèle Numérique de Terrain, des séries hydro-climatiques, et aussi de modélisation des événements extrêmes. Le choix des événements est lié aux données disponibles observées dans le bassin versant de Sébaou. Les résultats montrent, dans l'ensemble, une bonne corrélation entre les débits observés et ceux simulés.

Les pluies extrêmes sont des aléas météorologiques qui causent beaucoup de dégâts matériels et de nombreuses pertes en vies humaines. L'estimation des pluies extrêmes est donc d'un grand intérêt pour anticiper des catastrophes, telles que des inondations, et ainsi permettre un aménagement réfléchi du territoire.

**Mot clé :** ATHYS, bassin versant, événements extrêmes, modélisation.

## Abstract:

The purpose of this work is part of the prevention of extreme events in the Sebaou watershed, applying a hydrological modeling of maximum rainfall on a step time, also by modeling series of flows using observed flow data.

To do this we used the ATHYS software which is a set of hydrological models that are used for the processing of geographical, DEM digital elevation model, hydro-climatic data, and also the prevention of extreme events. We chose events basing on available observed data in

the watershed of Sebaou. The results gave us in global a good correlation between observed and simulated data.

**Keywords:** ATHYS, watershed, extremes events, modeling.

# SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction .....	3
I.1 Norion de Bassin versant .....	3
I.1.1 Bassin versant topographique.....	3
I.1.1 Bassin versant hydrogéologique .....	4
I.2 Bilan hydrique et cycle d'eau .....	4
I.3 Dans le contexte de réchauffement climatique .....	6
I.4 Pluies extrêmes et Les méthodes de prédétermination .....	6
I.4.1 L'utilisation de la théorie des valeurs extrêmes .....	7
I.4.2 Intégration de données historiques .....	8
I.5 Modélisation des processus hydrologiques.....	9
I.5.1 Typologie des modèles hydrologiques .....	9
I.5.2 Utilité des modèles hydrologiques .....	10
I.5.3 Classification des modèles hydrologiques et exemples .....	11
I.5.4 Critères de sélection .....	13
I.5.5 Applications des modèles hydrologiques .....	13
I.6 Estimation de pluies extrêmes .....	14
I.6.1 Estimation de pluies extrêmes sur un site mesuré.....	14
I.6.2 Estimation de pluies extrêmes sur un site non mesuré.....	16
Conclusion.....	17

## CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction .....	18
II.1 le bassin versant de Sébaou .....	18
II.2 Réseau hydrographique du bassin .....	21
II.3 Situation climatique.....	22
II.3.1 Les températures .....	22
II.3.2 L'humidité.....	23
II.3.3 Précipitation .....	23

II.4 Lithologie.....	26
II.5 Contexte hydrogéologique.....	28
Conclusion.....	31

### **CHAPITRE III : PRESENTATION DU LOGICIEL**

Introduction .....	32
III.1 Présentation de la plate-forme de modélisation ATHYS .....	32
III.2 Description des fonctions de production et de transfert utilisées.....	34
III.2.1 La fonction SCS simple .....	34
III.2.2 La fonction SCS avec option de vidange.....	35
III.2.3 Le modèle de transfert utilisé LAG&ROUTE SIMPLE .....	36
III.2.4 Le modèle de transfert utiliséLAG and route géomorphologique .....	37
Conclusion.....	37

### **CHAPITRE IV : Simulation avec le logiciel ATHIS**

Introduction .....	38
IV.1 Etapes de la simulation .....	38
IV.1.1 Les données géographiques : .....	38
IV.1.2 Les données pluviométriques et hydrométriques .....	39
IV.2 Choix des modèles et des paramètres .....	40
IV.2.1. Fonction de production.....	41
IV.2.2 Fonction de transfert.....	41
IV.3 Sensibilité du modèle aux paramètres de calage.....	41
IV.4 Simulation Avec le module MERCEDES (Maillage Elémentaire Régulier Carré pour l'Etude Des Ecoulements Superficiels): .....	42
IV.5 Interprétation des résultats .....	47
Conclusion.....	48
 Conclusion générale .....	 49

# Liste de figures

## Chapitre I : Etude Bibliographique

Figure I.1 : Délimitation d'un bassin versant.....	4
Figure I.2 : Typologie des bassins versants .....	4
Figure I.3 : le cycle d'eau .....	6
Figure I.4 : Relation entre les modèles pluie-débit (Berthier, 2008).....	13

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Figure II. 1 : Carte de localisation de la région d'étude par rapport aux bassins versants. ....	19
Figure II.2 : Situation du bassin versant de l'Oued Sébaou.....	20
Figure II.3 : Carte de situation des sous bassins versants de l'Oued Sébaou. ....	21
Figure II.4 : Le réseau hydrographique d'Oued Sébaou. ....	22
Figure II.5: Carte de localisation des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin versant de l'Oued Sébaou. ....	25
Figure II.6: Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Sébaou.....	28
Figure II.7 : Carte de la nappe alluviale du bassin versant de l'oued Sébaou .....	29
Figure II.8 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sébaou.....	30

## Chapitre III : Présentation du logiciel Athys

Figure III.1:Schéma de fonctionnement général du modèle hydrologique MERCEDES .....	34
Figure III.2 : Représentation de la fonction de transfert sous MERCEDES .....	36

## Chapitre IV : Application et Simulation

Figure IV.1 : Carte de MNT du bassin de Sébaou. ....	38
Figure IV.2 : Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Sébaou.....	39
Figure IV.3 Allure hydrogramme de crue à l'exutoire pour le 1 <sup>er</sup> événement.....	40
Figure IV.4 histogramme des pluies pour le premier événement. ....	40
Figure IV.5 : Résultats de simulation de la crue de 30 décembre 1980 avec la fonction Lag&Route géomorphologique. ....	43

Figure IV.7 : Résultats de simulation de la crue de 30 décembre 1980 avec la fonction onde cinématique simple. ....	45
Figure IV.8 : Résultats de simulation de la crue de 10 Janvier 1995avec la fonction Lag&Route géomorphologique .....	46
Figure IV.9 : Résultats de simulation de la crue de 10 Janvier 1995avec la fonction Lag & Route simple.....	47
Figure IV.10 : Résultats de simulation de la crue de 10 Janvier 1995 avec la fonction onde cinématique simple.....	48

# Liste des Tableaux

## Chapitre I : Etude Bibliographique

Tableau I.1 différents types de modèles selon leurs caractéristiques .....	12
--	----

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.1 : Caractéristiques des sous bassins versants de l'Oued Sébaou. ....	19
Tableau II.2: Températures moyennes mensuelles de la station d'AZAZGA (1968-2005).....	23
Tableau II.3:Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-2005).....	23
Tableau II.4 : Coordonnées Lambert des stations pluviométriques et hydrométriques. ....	24
Tableau II.5 : Précipitations moyennes mensuelles (1990-2012).....	25
Tableau II.6:Lithologie du bassin versant de l'Oued Sébaou.....	27
Tableau II.7 : Classes d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sébaou. ....	30

## Chapitre IV : Application et Simulation

Tableau IV.1: Classes des pentes dans le bassin versant de l'Oued Sébaou et superficies correspondantes.....	39
Tableau IV.2 : Récapitulation des résultats :.....	48

### **Introduction générale**

L'eau est une ressource naturelle précieuse dans la politique du développement durable, tant au niveau d'un pays que d'une région, voire au niveau mondial.

Une bonne gestion de cette ressource est un défi permanent, lié à l'évolution démographique, à l'urbanisation et au développement économique de la société tout en tenant compte des changements du climat mondial et la pollution. L'environnement de cette ressource est caractérisé par son cycle hydrologique, notamment les crues et les sécheresses. La maîtrise des crues constitue un enjeu d'intérêt, vers lequel convergent plusieurs approches : prédiction, simulation stochastiques, et surtout, la modélisation mathématique et physique des phénomènes hydrauliques. Les modèles hydrologiques se révèlent d'une importance majeure dans l'analyse des répercussions des changements climatiques et le bilan des ressources hydriques, principalement dans l'étude des processus essentiels liés à la genèse d'une crue.

La modélisation du comportement hydrologique, des bassins versants, doit pouvoir décrire les différentes étapes de la transformation pluie-débit. Les réponses résultant de ces modèles (hydrogrammes de crue) reposent essentiellement sur les caractéristiques physiques du bassin versant et de type d'information disponibles.

Les débits des rivières sont des données relativement rares et difficiles à mesurer. Les pluies sont plus facilement mesurables et d'accès plus simple, en temps réel ou différé. Les modèles pluie-débit ont donc pour première fonction de simuler des débits, à l'aide des valeurs de pluie disponibles ou vraisemblables. Par extension, un modèle pluie-débit a pour fonction de simuler les débits des rivières, qui échappent (le plus souvent) à l'observation :

- Calcul des débits extrêmes
- Calcul des débits sur un bassin non jaugé
- Préviation des débits à différents horizons
- Impact sur les débits de modifications du climat ou du bassin (Manuel Athys, 2014)

Un modèle pluie-débit, a également vocation de tester des hypothèses sur les processus hydrologiques. On peut par exemple imaginer un fonctionnement hydrologique, le formaliser par un modèle, et confronter ce schéma aux observations disponibles de pluie et de débit. En cas d'échec, on rejettera les hypothèses choisies (en supposant que les observations sont fiables). En cas de succès, on conclura que les hypothèses choisies sont des scénarios possibles.

L'ATelierHYdrologique Spatialisé, ATHYS, a pour objectif de réunir, dans un environnement convivial et homogène, un ensemble de modèles hydrologiques associés à des traitements de données hydro-climatiques et géographiques. Il a été développé à l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement en France) pour des applications diverses : gestion de la ressource en eau, prévision ou prédétermination des événements extrêmes, études d'impact liées à des modifications anthropiques ou climatiques (Manuel Athys, 2014).

Dans ce cadre, le but de cette étude est la modélisation distribuée des événements extrêmes, dans le bassin versant Sébaou (Sous bassin de l'oued Diss) et Ceci, en appliquant le modèle hydrologique spatialisé ATHYS. Ce travail est structuré en quatre chapitres:

- Le premier chapitre est une synthèse bibliographique qui permet de survoler les différentes connaissances de base concernant les modèles hydrologiques, les événements extrêmes et les méthodes de prédétermination de ces derniers.
- Dans le deuxième chapitre, la zone d'étude est définie, avec une présentation détaillée du bassin versant d'Oued Sébaou, et qui englobe les caractéristiques hydro-morphométriques du bassin (topographie, géologie, pluviométrie...).
- Le troisième chapitre, est consacré à la présentation de logiciel ATHYS choisi pour réaliser ce travail.
- Le quatrième chapitre décrit l'utilisation du modèle de simulation hydrologique ATHYS, ainsi que son application au bassin de l'oued Diss, afin de générer les hydrogrammes de crue simulés.

# CHAPITRE I

*Etude bibliographique :*

## Introduction

Une grande partie de l'Afrique est confrontée à des graves problèmes de crue et d'inondation, tant en milieu urbain que rural. Pour pouvoir faire face aux inondations et ainsi atténuer leurs effets sur les populations, infrastructures nous avons besoin d'évaluer les risques d'inondations. Cette évaluation s'appuie entre autres sur la connaissance des précipitations, des pluies abondantes et/ou violentes étant nécessaires au déclenchement de tels événements. Certes d'autres facteurs, comme les précipitations antérieures ou les caractéristiques du terrain, sont eux aussi importants. Mais la difficulté de disposer de l'ensemble des paramètres conduit souvent à se limiter aux précipitations journalières extrêmes.

### I.1 Notion de "bassin versant"

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval. Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions :

#### I.1.1 Bassin versant topographique

Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente comme le montre la figure ci-jointe.

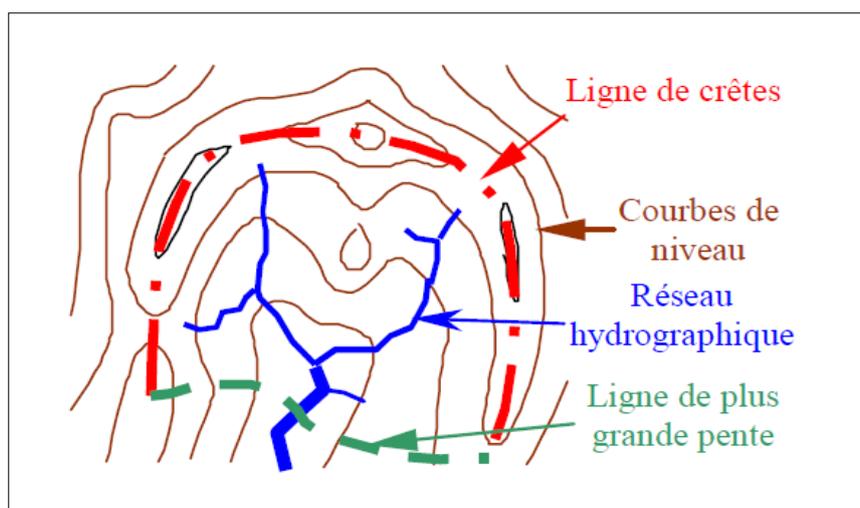


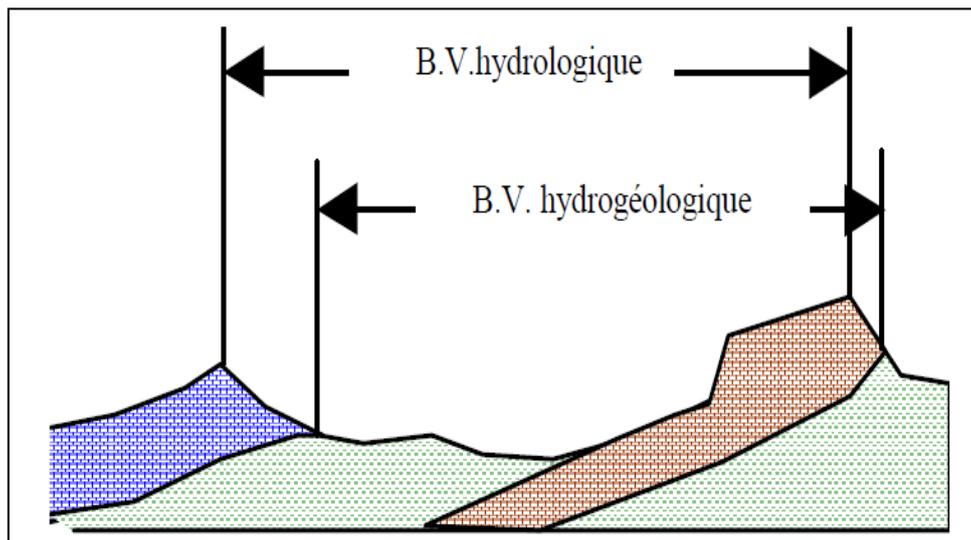
Figure I.1 : Délimitation d'un bassin versant

### I.1.2 Bassin versant hydrogéologique

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infilte puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin).

Dans ce cas, nous serons amenés à ajouter aux considérations topographiques des considérations d'ordre géologique pour déterminer les limites du bassin versant.

Cette distinction entre bassin topographique et hydrogéologique se justifie surtout pour les petits bassins. En effet, lorsque la taille du bassin augmente, les apports et les pertes souterraines ont plus de chance de se compenser. De plus, on peut admettre que le débit des cours d'eau est proportionnel à la surface du bassin, les échanges souterrains se font, eux, aux frontières et varient donc sensiblement comme le périmètre. Lorsque la taille du bassin augmente, la surface croît plus vite que le périmètre et la valeur relative des échanges souterrains par rapport au débit de surface tend à devenir négligeable. (LABORDE,2009)

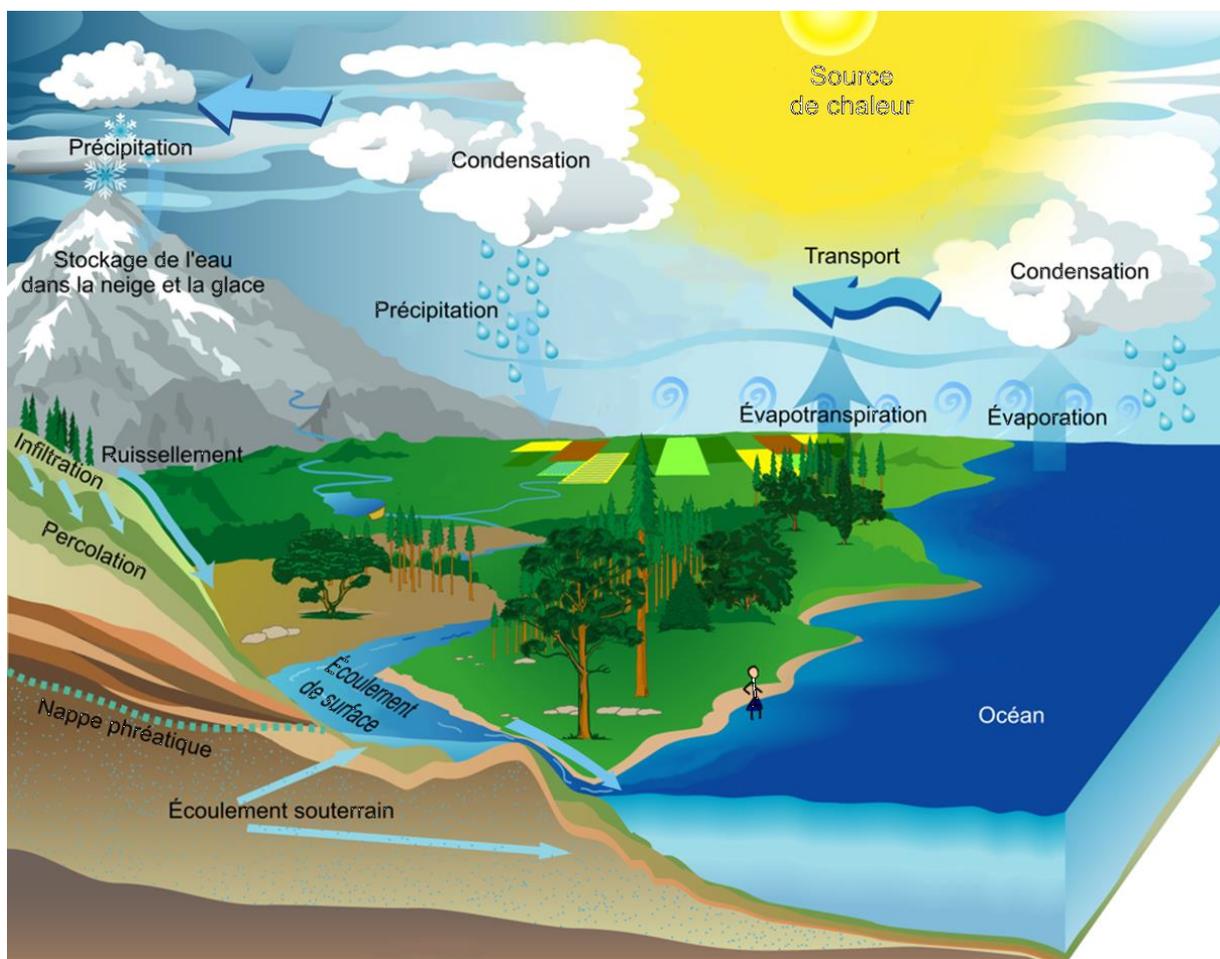


**Figure I.2 :** Typologie des bassins versants

### I.2 Bilan hydrique et cycle d'eau

Dans la nature rien ne perd tout se transforme, le cycle hydrologique est le cycle de transfert d'eau, qui arrive continuellement dans la nature ; les trois phases importantes du cycle hydrologique sont : l'évaporation, l'évapotranspiration, la précipitation et l'écoulement comme l'illustre la figure I.3. Le globe contient une tierce terre et deux tiers d'océans. L'évaporation des surfaces d'étangs, lacs, réservoirs. Surfaces océaniques, etc. Et la

transpiration de la végétation superficielle etc. Ces vapeurs montent au ciel et sont condensées aux altitudes plus hautes par des noyaux de condensation et des nuages de forme aboutissant à la croissance de gouttelette. Les nuages fondent et éclatent parfois aboutissant à la précipitation de formes différentes comme la pluie, la neige, la grêle, la neige fondue, la brume, la rosée et le gel. Une partie de ces flux de précipitation afflue sur le sol qui crée l'écoulement superficiel et l'autre partie s'infiltrate dans le sol qui donne naissance à la nappe phréatique. L'écoulement superficiel rejoint les cours d'eau et l'eau est stockée dans les réservoirs naturels. Une partie de l'écoulement superficielle et l'eau souterraine se déversent dans l'océan. De nouveau l'évaporation commence des surfaces de lacs, des réservoirs et l'océan et le cycle se répète de ces trois phases du cycle hydrologique, à savoir, évaporation, précipitation. (Raghunath 2006).



**Figure I.3** : le cycle d'eau

### **I.3 Dans le contexte de réchauffement climatique**

De nombreuses études (Alexandersson et al, 2000 ; Groisman et al, 2005 ; Webster et al, 2005 ; Alexander et al, 2006...) constatent que l'évolution du climat au cours des cinquante dernières années marquée par un réchauffement exceptionnel, a été accompagnée par des changements dans différents types de phénomènes extrêmes. Les changements principaux peuvent être résumés ainsi :

- Une augmentation du nombre des vagues de chaleur et des nuits chaudes ;
- Une augmentation de l'étendue des régions affectées par des sécheresses ;
- Une augmentation du nombre d'événements de précipitations intenses aux latitudes moyennes ;
- Une augmentation de l'intensité et de la durée des tempêtes tropicales depuis 1970 ;
- Un déplacement des *stormtracks* vers les pôles. Dans l'hémisphère nord, une augmentation de leur activité. Ces changements reflètent les variations de la circulation atmosphérique, en particulier de la NAO.

Les processus physiques dans l'océan et l'atmosphère permettent d'entrevoir un éventuel lien entre les changements climatiques et les événements extrêmes. Les gaz à effet de serre, naturellement présents dans l'atmosphère, contribuent à retenir la chaleur et maintiennent ainsi des conditions propices à la vie sur Terre. L'augmentation de leurs concentrations occasionne un déséquilibre du bilan énergétique terrestre, avec une augmentation dans la température.

L'augmentation de la température favorise l'évaporation de l'eau, ce qui fournit d'avantage de chaleur latente dans l'atmosphère. Cette énergie pourrait d'une part agir sur la dynamique des systèmes météorologiques tels que les zones de basse pression (Lambert and Fyfe, 2006). D'autre part, cette situation peut donner naissance à de fortes rétroaction sur le cycle hydrologique (Allen and Ingram, 2002).

### **I.4 Pluies extrêmes et Les méthodes de prédétermination**

L'étude des pluies extrêmes permet de comprendre les phénomènes déclencheurs pour améliorer la prévision et la prévention des risques.

Généralement Les études hydrologiques sont réalisées pour la prévention du risque d'inondation ou le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques couvrent une large gamme de méthodologies. (Lang, 2014)

Elles visent à déterminer des valeurs de référence de pluie ou de crue extrême, associées à une période de retour  $T$  donnée ou à un maximum connu. Suivant la nature des enjeux, la cible d'étude sera relative à :

- Une probabilité annuelle de dépassement  $p = 1/T$ , qui va de  $10^{-1}$  (réseau routier secondaire, réseau d'assainissement),  $10^{-2}$  (autoroute, zone habitée),  $10^{-3}$  (aléa majeur pour la directive inondations, barrage rigide) jusqu'à  $10^{-4}$  (barrage meuble, centrale nucléaire) ;
- La crue historique la plus forte connue ou la crue centennale si celle-ci est plus forte (PPR inondation) ;
- La limite du lit majeur susceptible de contenir l'enveloppe des plus grandes crues passées (étude hydro-géomorphologique). (Lang, 2014)

#### **I.4.1 L'utilisation de la théorie des valeurs extrêmes**

La théorie des valeurs extrêmes (Embrechtset *al*, 1997, Coles, 2001, Beirlantet *al*, 2004), fondée sur des résultats de la théorie des probabilités, offre un cadre mathématique rigoureux pour l'estimation des probabilités de valeurs rares à extrêmes de pluie et de débit. La loi GEV (loi généralisée des extrêmes, GeneralizedExtreme Value distribution) (Fisher et Tippet, 1928, Jenkinson, 1955) et la loi GP (loi de Pareto généralisée, Generalized Pareto distribution) (Pickands, 1975) permettent respectivement de caractériser le comportement en loi de maxima et de dépassements de seuils élevés. Une hypothèse forte de l'application directe qui est faite de cette théorie réside dans l'écart entre le comportement idéal et asymptotique d'une loi mathématique et le comportement réel d'un phénomène physique observé dans des gammes de fréquence, nécessairement éloignées de l'asymptote, où l'homogénéité des événements n'est pas vérifiée et où les processus atmosphériques, hydrologiques et hydrauliques sont perturbés par des seuils physiques.(Lang, 2014)

##### **➤ Analyse locale**

L'application de la théorie des valeurs extrêmes sur une série courte de quelques dizaines d'années conduit à de fortes incertitudes d'estimation des événements extrêmes, liées à la distribution d'échantillonnage (forte sensibilité à la présence de valeurs singulières), à la

possible hétérogénéité des populations fondant l'ajustement, et au choix du modèle probabiliste. Or les événements courants ne sont que peu informatifs, au sens statistique, pour la prédétermination des valeurs fortes de pluie ou de débit. La genèse physique de ces valeurs extrêmes est en effet bien différente de celle des événements courants. Appliquées sur de longues séries, ces approches redeviennent pertinentes pour l'estimation des valeurs extrêmes, d'où la préoccupation des hydrologues de développer des méthodes permettant d'incorporer des informations complémentaires aux seules séries locales de données de quelques dizaines d'années. (Lang, 2014)

### ➤ Analyse régionale

Une première façon d'augmenter la taille de l'échantillon d'analyse consiste à élargir le domaine spatial d'observation et à analyser simultanément les observations de différents postes de mesure d'une zone. La première application (Dalrymple, 1960) considérait que les distributions des sites d'une même région homogène étaient identiques, à un facteur multiplicatif près, appelé indice de crue. De nombreux raffinements ont été apportés depuis (Hosking et Wallis, 1997a, St-Hilaire *et al.* 2003, Onibonet *al.* 2004, Ribatetet *al.* 2006, 2007), notamment sur la notion d'homogénéité hydrologique (découpage géographique, puis voisinage hydrologique) et sur le mode de traitement statistique qui permet de combiner information locale et régionale, avec un poids fonction du degré d'homogénéité-hétérogénéité du jeu régional de données. Une des limitations de ces approches est souvent de ne pas considérer l'impact de la dépendance spatiale entre données, ce qui peut conduire à sous-estimer l'incertitude finale sur l'estimation des quantiles de pluie et de débit de référence (Hosking et Wallis, 1997b). Ces méthodes de régionalisation peuvent par ailleurs être utilisées pour estimer les quantiles de pluie ou de débit en site non jaugé, en combinant une loi régionale adimensionnelle (issue du formalisme précédent) et une méthode d'estimation de l'indice de pluie ou débit (régression multiple à partir de paramètres climatiques ou physiographiques explicatifs).(Lang, 2014)

### I.4.2 Intégration de données historiques

Une seconde approche consiste à réunir des informations sur les crues anciennes à partir de sources documentaires. L'intérêt est évidemment d'élargir l'échelle temporelle d'analyse, en utilisant des événements exceptionnels, qui sont potentiellement les plus riches d'information pour l'estimation des quantiles extrêmes. Le cadre statistique d'analyse doit être adapté (Miquel, 1984 ; Parent et Bernier, 2003 ; Neppeletal, 2010 ; Gaume *et al.*, 2010 ;

Payrastra *et al.*, 2011) au fait que l'on ne dispose que de données incomplètes, en général principalement sur les crues ayant eu de forts impacts, et que la reconstitution du débit de pointe des crues historiques est entachée d'incertitudes beaucoup plus importantes qu'avec des données récentes (cf. transformation hauteur-débit). Une autre incertitude est liée à l'estimation du seuil de perception des crues historiques, fixé de façon empirique et susceptible d'évoluer dans le temps. (Beirlant J., Goegebeur Y., Teugels J. and Segers J., 2004)

### **I.5 Modélisation des processus hydrologiques**

Un modèle hydrologique est une représentation mathématique simplifiée de tout ou partie des processus du cycle hydrologique. Un ensemble de concepts hydrologiques sont exprimés en langage mathématique pour représenter le comportement correspondant observé dans la nature. Pour l'utilisateur, l'intérêt d'un modèle réside dans sa capacité à apporter une réponse "satisfaisante" aux questions qu'il se pose à propos de l'objet modélisé. De nos jours il existe différents types de modèles : du modèle physique au modèle empirique, du distribué au global, et chaque type exprime une façon de concevoir le cycle hydrologique (Mouelhi, 2003). Une classification peut être faite sur quelques clefs de différenciation d'après des critères énoncés par Clarke (1973) & Ambroise (1998). (Hingray, 2009)

Un bassin versant, par exemple, peut être considéré comme un tout défini par un certain nombre de caractéristiques globales (par exemple, le débit à l'exutoire, la surface...) dont les variations ou la constance peuvent être vu comme constitué par l'air, la végétation, le sol, le sous-sol, la rivière, les lacs..., liés entre eux par certaines relations ou fonctions. (Hingray, 2009)

En hydrologie, les modèles constituent des outils de base, de simulation et de prévision, essentiels à la gestion adéquate des ressources en eau, afin de répondre de manière optimale aux différents besoins et usages des ressources en eau. (Hingray, 2009)

#### **I.5.1 Typologie des modèles hydrologiques**

Un modèle hydrologique est généralement défini par :

- **Variables d'entrée** (variables indépendantes) : il s'agit des entrées du modèle, qui sont essentiellement les chroniques de pluie, d'ETP ou de température ;

- **Variables de sortie** (variables dépendantes) : il s'agit des sorties du modèle, qui sont généralement les débits simulés à l'exutoire du bassin versant, mais qui peuvent parfois être aussi l'ETR, des niveaux piézométriques, ...etc ;
- **Variables d'état** : il s'agit des variables internes au système, qui évoluent en fonction du temps et rendent compte de l'état du système à un moment donné. Typiquement, ces variables sont les niveaux de remplissage des différents réservoirs (neige / production / routage) ;(B.Hingray, 2009)

$$E_{rr} = \sum_{i=1}^N (P_i - P_i^m)^2$$

$N$  : Nombre d'observations ;

$P_i$  : Débit simulé pour le pas de temps  $i$  ;

$P_i^m$  : Débit mesuré pour le pas de temps  $i$ .

**Calage** : au sens strict du terme, c'est l'opération qui consiste à trouver les valeurs des paramètres du modèle qui minimisent l'erreur de modélisation ;

**Validation** : étape indispensable de la mise en œuvre d'un modèle, il s'agit de l'évaluation des performances du modèle sur un jeu de données qui n'a pas été utilisé lors du calage. (Hingray, 2009)

### I.5.2 Utilité des modèles hydrologiques

La littérature scientifique présente une très grande diversité de modèles dont très peu ont trouvé une utilisation opérationnelle. On peut distinguer trois types d'utilisation des modèles mathématiques en hydrologie :

- **La modélisation comme outil de recherche** : Cela reste aujourd'hui encore le champ d'application privilégié de la modélisation hydrologique. 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** : 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. (Hingray, 2009)

### I.5.3 Classification des modèles hydrologiques et exemples

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

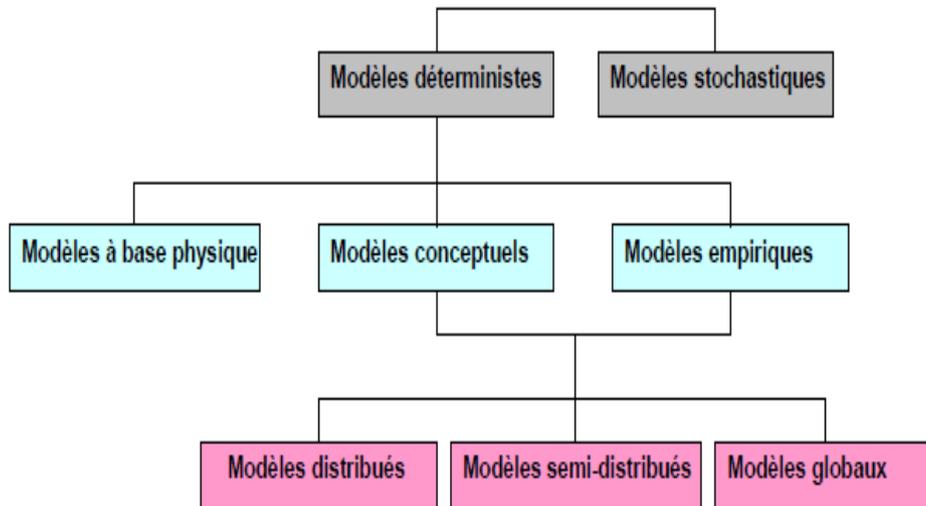
- **Modèle paramétrique** : modèle incluant des paramètres dont la valeur doit être estimée par calage.
- **Modèle conceptuel** : modèle dans lequel le fonctionnement du bassin versant est représenté par des analogies. L'analogie la plus souvent utilisée pour représenter le fonctionnement des sols et des nappes est celle du réservoir dont le débit de vidange dépend du taux de remplissage, à titre d'exemple de modèles conceptuels distribués on a le modèle **CEQUEAU, ATHYS**.
- **Modèle analytique** : modèle pour lequel les relations entre les variables de sortie et les variables de forçage ont été établies par analyse de séries de données mesurées. L'exemple type est celui des modèles linéaires : les paramètres du modèle sont liés aux coefficients de corrélation entre les variables. Notons que l'analyse des données peut conduire au choix de relations non linéaires entre les variables.
- **Modèles empiriques** : le type de fonctions reliant les variables est fixé à priori (fonctions polynômiales, 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. Les réseaux de neurones sont l'exemple le plus répandu de ce type de modèles en hydrologie. (Hingray, 2009)
- **Modèles boîtes noires** : qui font intervenir l'intelligence artificielle, on peut citer le réseau de neurones, les algorithmes génétiques, le Data Mining, reuroflou, Logique flou, ARIMA, SARIMA.....etc.
- **Modèles à base physique** : ce sont des modèles qui font intervenir les équations qui décrivent des phénomènes physiques et qu'on applique pour modéliser l'écoulement, on peut citer l'équation de saint venant, l'équation hydrodynamique, on peut citer le modèle **HYDROTEL, ATHYS**. (Hingray, 2009)

**Remarque :** il existe certain modèles qui combinent entre ces différents modèles et font intervenir plusieurs procédés, ces modèles sont dit modèles hybrides.

Les classifications de modèles que l'on trouve dans la littérature sont nombreuses et peuvent être fonction de plusieurs caractéristiques (Berthier, 2005). Pour ironiser, Perrin (2002) disait qu'il y a presque autant de classifications que d'hydrologues. Le tableau suivant propose de classer les différents types de modèles selon leurs caractéristiques (Clarke, 1973 ; Ambroise, 1998 ; Andréassian, 2002 ; Perrin, 2002 ; Oudin, 2004 ; Makhoulf 1994).

**Tableau I.1** différents types de modèles selon leurs caractéristiques

caractéristiques	Type de modèle
<b>Selon la nature de la variable</b>	Modèle déterministe (variable non aléatoires) Modèle stochastique (variable aléatoire)
<b>Traitement de l'espace (Homogénéité du bassin)</b>	Modèle global Modèle semi-distribué (ou semi-global) Modèle spatialisé
<b>Fondement théorique et approche de développement</b>	Modèle empirique Modèle conceptuel Modèle à base physique
<b>L'évolution temporelle</b>	Modèle cinématique (descriptif) Modèle dynamique (explicatif)
<b>Fonction objectif</b>	Modèle de simulation Modèle de gestion



**Figure I.4 :** Relation entre les modèles pluie-débit (Berthier, 2008)

#### I.5.4 Critères de sélection

Les critères de sélection d'un modèle hydrologique dépendent : Du type de l'approche qu'il utilise, de la qualité des résultats qu'il fournit, de son utilisation, comme par exemple les performances des interfaces graphiques utilisées (sa convivialité), de la portabilité du logiciel, la gestion et la structure des entrées/sorties, ainsi que de la facilité d'intégration et d'interconnexion avec d'autre outils de traitements et d'exploitation des résultats.

Les principaux critères doivent répondre aux exigences suivantes :

- **Le type d'approche utilisée**
- **L'importance des sorties du modèle**
- **les différents processus hydrologiques modélisés**
- **Disponibilité des entrées du modèle**
- **La disponibilité du modèle dans le domaine public**

#### I.5.5 Applications des modèles hydrologiques

En se limitant aux applications quantitatives des modèles hydrologiques, leurs domaines d'applications sont vastes et concernent aussi bien la recherche que l'ingénierie. Ils sont notamment utilisés pour :

- **La reconstitution ou la simulation:** le but du modèle est le comblement des lacunes contenues dans une série chronologique de débit ou l'extension de séries de débit ;
- **La prévision :** le but du modèle est essentiellement l'anticipation des évolutions futures du débit d'une rivière, ce qui permet dans un contexte opérationnel, une meilleure gestion des ressources en eau en période d'étiage et l'anticipation des risques d'inondations en période de crue ;
- **La prédétermination :** le modèle est utilisé pour la simulation de séries chronologiques de débits, dans un but d'analyse fréquentielle des extrêmes : débits associés à une période de retour pour un étiage ou une crue (dimensionnement d'ouvrages d'art, déversoirs de crue, ponts, ...etc.) ou la délimitation de zones inondables (plan de prévention de risques d'inondation, ...etc.). (Hingray, 2009)

## I.6 Estimation de pluies extrêmes

On peut dire qu'un événement est extrême quand les précipitations pouvant causer des inondations, ou de son manque en lien avec les sécheresses, des rafales associées aux vents violents cause de dégât matériels et de pertes humaines, à l'absence de vent qui associée aux températures anormalement chaudes est synonyme de vague de chaleur. En plus de la "rareté" d'un événement, notion faisant référence à sa distribution statistique, il faudrait aussi considérer son intensité et sa durée, et finalement son impact sur l'environnement et sur différents secteurs socio-économiques. Cette notion complexe d'extrême se réfère ainsi à l'éloignement de la valeur d'une variable météorologique, ou à une combinaison de ces dernières, par rapport à leurs valeurs moyennes en un lieu et en un moment donné. Un événement extrême est donc une notion qui peut se référer à des conditions météorologiques ou types de temps qui ne sont pas habituels en un lieu et à un moment particulier pouvant occasionner des dommages.

### I.6.1 Estimation de pluies extrêmes sur un site mesuré

Au-delà de la période de retour 100 ans, on se situe généralement dans le domaine de l'extrapolation des observations. Des recommandations peuvent être faites pour exploiter au mieux les informations d'une série locale, avec un échantillonnage approprié :

**Mieux vaut utiliser un échantillon de valeurs supérieures à un seuil (avec une loi GP) qu'un échantillon de valeurs maximales annuelles (avec une loi GEV)**

La loi GEV sous-estime un peu les quantiles, et on obtient une meilleure estimation (plus juste et plus robuste) avec la loi GP. On choisira empiriquement un seuil permettant de sélectionner entre  $2N$  et  $4N$  valeurs ( $N$  étant le nombre d'années d'observations), en s'assurant de l'indépendance des valeurs de l'échantillon. (Lang, 2014)

**Mieux vaut découper l'échantillon en sous-échantillons homogènes et recomposer ensuite chacune des distributions pour obtenir la distribution annuelle**

Cela permet de se rapprocher des conditions d'application de la théorie des valeurs extrêmes (valeurs de l'échantillon supposées indépendantes et identiquement distribuées). Il est intéressant d'utiliser un découpage saisonnier, qui induit une re-estimation de + 5 à 10% par rapport à un échantillonnage global. L'approche MEWP, par sous-échantillonnage par type de temps, permet d'avoir des échantillons plus homogènes et une meilleure qualité d'ajustement.

Si l'on utilise une loi à décroissance exponentielle (loi de Gumbel ou loi exponentielle) sur un échantillon global de précipitations journalières ou infra-journalières sans découpage préalable en sous-populations homogènes, on sous-estime la distribution des pluies fortes. (Lang, 2014)

**Trois méthodes peuvent être recommandées****1. Estimation par une approche régionale de type index-flood avec une loi GEV**

Cette méthode a donné les meilleurs résultats en termes de justesse et de robustesse. Elle est simple d'application (une fois développée), avec d'une part une distribution régionale calée à partir des séries appartenant à la région d'étude, et d'autre part un index de pluie estimé à partir de la série locale. On dispose par ailleurs d'une estimation des intervalles de confiance. Elle nécessite par contre un développement spécifique pour chaque durée de pluie étudiée (pluie maximale journalière, horaire ...). (Gottardi, 2009).

**2. Estimation par le modèle de simulation SHYREG-Pluies**

Cette méthode a donné des résultats très proches en termes de justesse et de robustesse. Elle fournit une estimation pour une pluie locale à l'échelle d'un pixel de 1 km<sup>2</sup>. L'intérêt de la

méthode est qu'elle fournit directement une estimation des quantiles de pluie, pour des cumuls entre 1 h et 72 h.(Lang, 2014)

**3. Estimation par le modèle par type de temps MEWP** (Multi-Exponential Weather Pattern).

Ce type de distribution a donné de bons résultats en termes de robustesse, et en second rang pour la justesse, bien qu'elle n'exploite qu'une série locale de précipitations. L'information sur les types de temps s'avère un moyen intéressant d'améliorer la qualité des estimations. La méthode est directement applicable pour une pluie de bassin. L'hypothèse exponentielle serait cependant à reconsidérer pour certains types de temps, dans certaines régions du pourtour méditerranéen, si l'on s'en tient à la classification actuelle, pour remédier à une sous-estimation des quantiles des pluies locales. (Lang, 2014)

### **I.6.2 Estimation de pluies extrêmes sur un site non mesuré**

Bien que très documentée dans la littérature, l'approche consistant à estimer les paramètres d'une loi GEV au droit de tous les postes voisins et à établir ensuite une régression expliquant ces paramètres en fonction de co-variables géographiques ne donne pas de bons résultats.(Lang, 2014)

Il est préférable d'utiliser :

#### **1. Estimation par le modèle de simulation SHYREG-Pluies**

Cette méthode a donné les meilleurs résultats en termes de justesse et de robustesse. Une estimation des quantiles est disponible sur l'ensemble du territoire métropolitain, pour des cumuls de pluies entre 1 h et 72 h, et des périodes de retour de 2 à 1 000 ans. (Lang, 2014)

#### **2. Estimation par une approche régionale de type index-flood avec une loi GEV**

Cette méthode a donné de bons résultats en termes de justesse, et un peu moins robustes qu'avec le modèle SHYREG-Pluies.

La comparaison entre modèle local-régional et purement régional ne montre qu'une dégradation légère des performances en n'exploitant aucune information locale (site non jaugé). Ce constat plutôt rassurant vient de la relative bonne adéquation du réseau de mesure pluviométrique journalier à la variabilité spatiale des précipitations. Il est à nuancer pour les

intensités de précipitation infra-journalière ou en zone d'altitude, avec une densité de réseau bien inférieure. (Lang, 2014)

### **Conclusion**

Dans ce chapitre on a vu les différents modèles qui existent, les méthodes de prédétermination des événements extrêmes et leurs importances à la prévention des risques.

# CHAPITRE II

## *Présentation de la zone d'étude*

## Introduction

La connaissance des régions d'études ainsi que leurs caractéristiques physiques constitue des éléments essentiels dans le déroulement d'une étude hydrologique, et c'est dans ce contexte qu'on aborde ce présent chapitre.

Le bassin versant qu'on va traiter dans notre travail est celui de Sébaou plus exactement la partie haute du bassin sous bassin Oued Diss.

### II.1 Le bassin versant de Sébaou

Le bassin versant de l'oued de Sébaou s'étale sur une superficie de 2500 km<sup>2</sup>. Il couvre la presque totalité de la wilaya de Tizi Ouzou (une partie de la frange du littoral étant administrativement exclue) et empiète sur la région Est de la wilaya de Boumerdes (Bas Sébaou). La surface drainée par l'oued et ses affluents (le bassin versant) est limitée entre les altitudes 36°27 et 36°55 Nord et les longitudes 3°55 et 4°53 Est. Le bassin versant de Sébaou est caractérisé par un relief typiquement montagneux, couvrant 82% de la superficie totale, elle se limite comme suit :

- Au nord par la mer méditerranée ;
- Au nord et nord est par la chaîne littorale ;
- Au sud et sud est par la chaîne de Djurdjura ;
- A l'ouest par les chaînons de Naciria et Sidi-Ali-Bounab orienté ENE-WSW ;

Le bassin versant de la vallée du Sébaou couvre un périmètre de 250 Km, subdivisé en six sous bassins réparties de façon inégale sur le Haut, Moyen et le Bas Sébaou (Figure II.3). Il comprend une série de sous bassins qui sont:

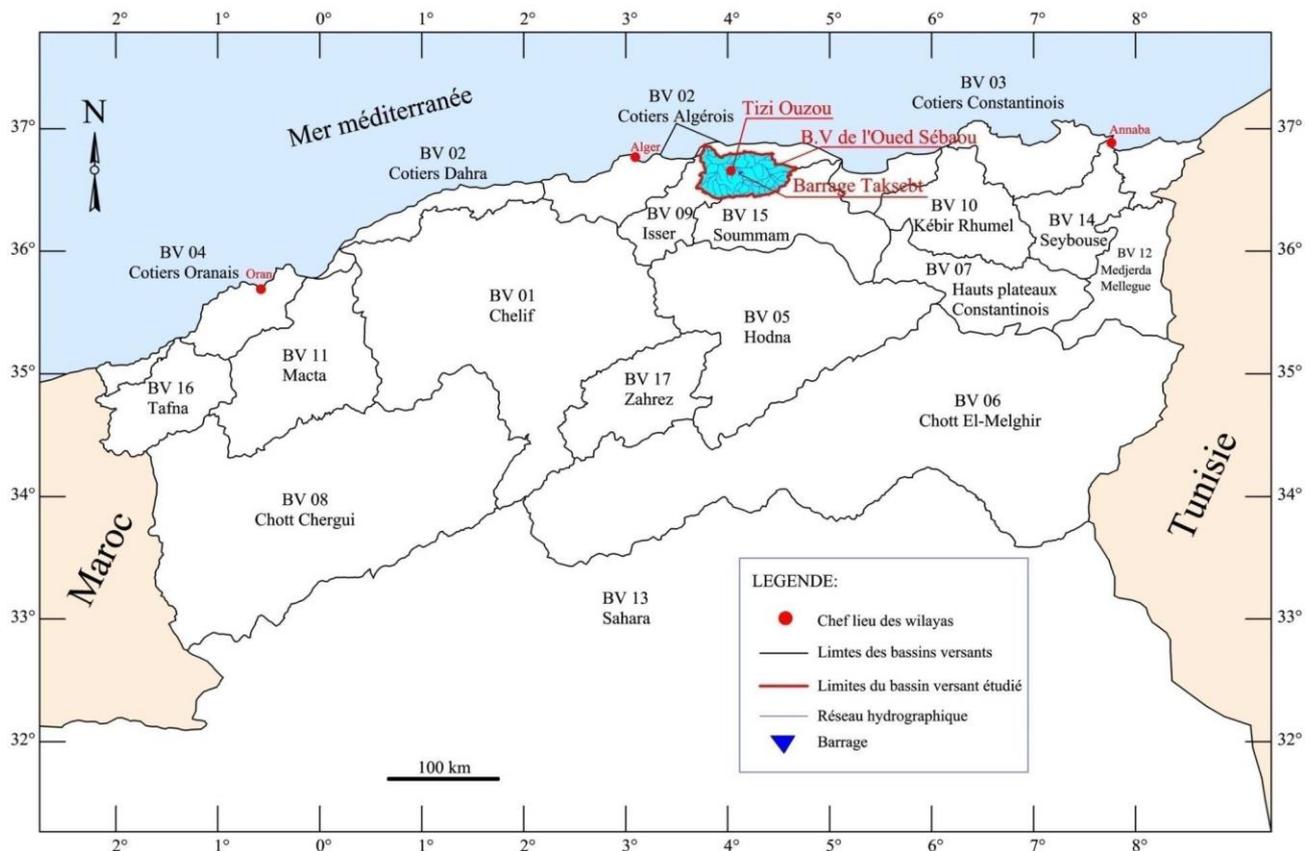
- Sous bassin de l'Acif N'boubhir 02-15;
- Sous bassin de l'oued SébaouRebta 02-16;
- Sous bassin de l'oued Aissi 02-17;
- Sous bassin de l'oued SébaouSebt 02-18;
- Sous bassin de l'oued Bougdoura 02-19;
- Sous bassin de l'oued Sébaou Maritime 02-20.

Cette répartition est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau II.1 : Caractéristiques des sous bassins versants de l'Oued Sébaou.**

Bassin versant		Périmètre (Km)	Surface (Km <sup>2</sup> )	K <sub>c</sub>
<b>Haut Sébaou</b>	02-15	102,4	532	<b>1,24</b>
	02-16	112	432	<b>1,50</b>
	02-17	98,6	468	<b>1,27</b>
<b>MoyenSébaou</b>	02-18	82	304	<b>1,32</b>
	02-19	94,2	544	<b>1,13</b>
<b>Bas Sébaou</b>	02-20	62,6	220	<b>1,18</b>
<b>L'ensemble du bassin versant</b>		<b>250</b>	<b>2500</b>	<b>1,40</b>

Les valeurs de K<sub>c</sub>, aussi bien pour le grand bassin, que pour ces sous bassins sont supérieur à l'unité, suggérant à priori une forme allongée pour l'ensemble du bassin.



**Figure II. 1 : Carte de localisation de la région d'étude par rapport aux bassins versants.**

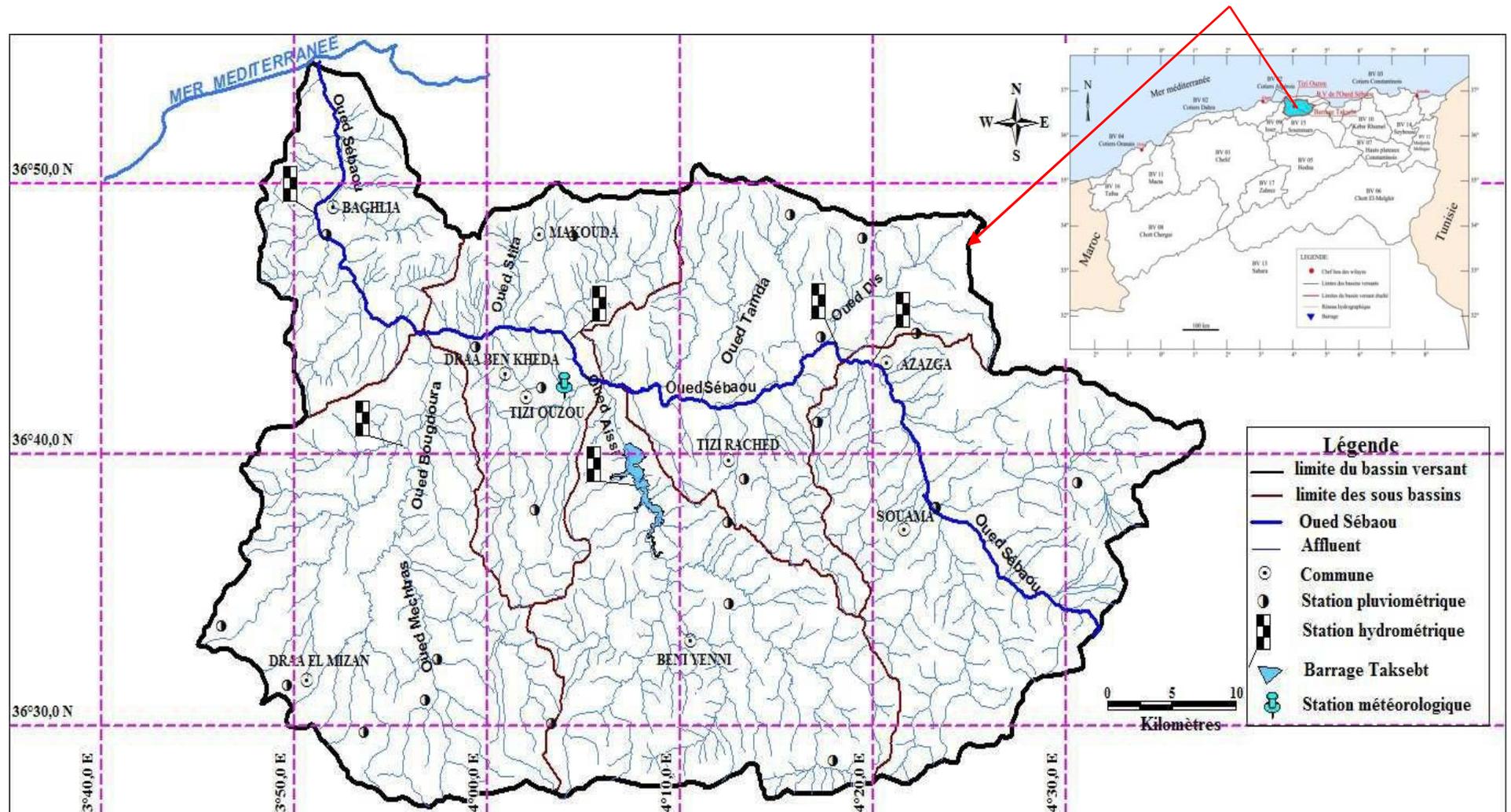
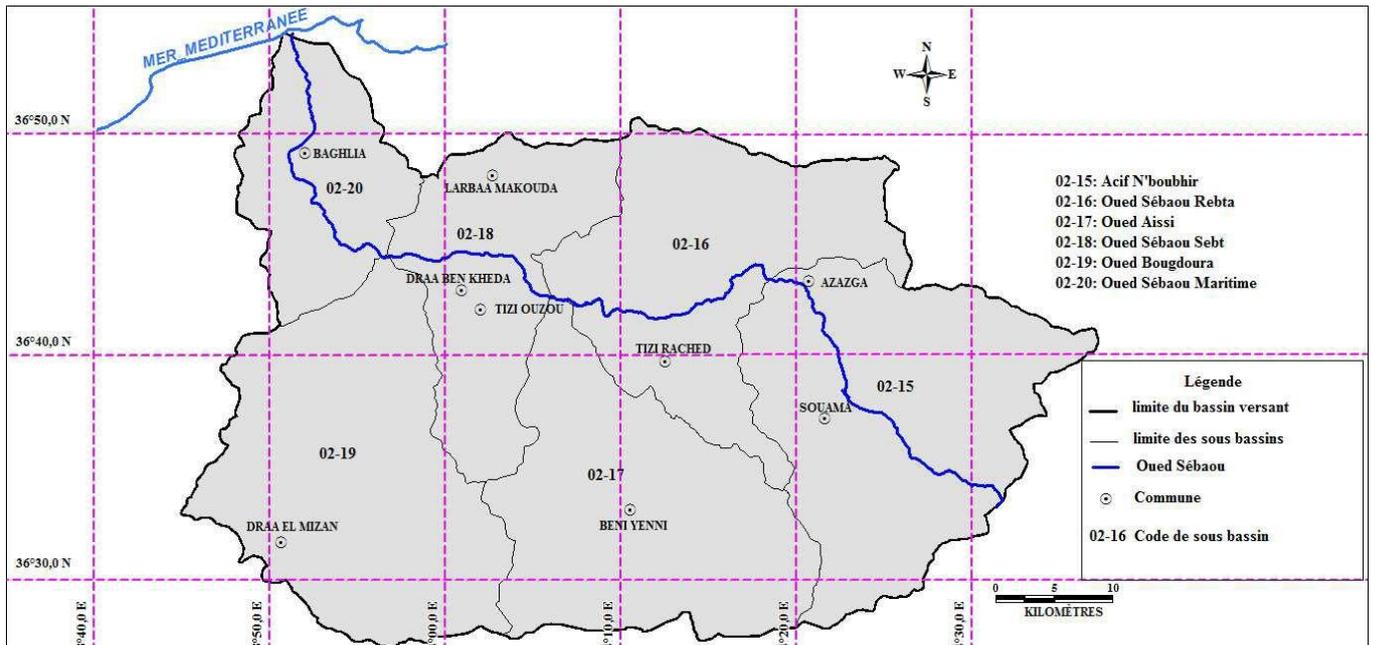


Figure II.2 : Situation du bassin versant de l'Oued Sébaou.



**Figure II.3 :** Carte de situation des sous bassins versants de l'Oued Sébaou.

## II.2 Réseau hydrographique du bassin

Le réseau hydrographique est souligné par un chevelu très ramifié. Le principal oued de la région, en l'occurrence le Sébaou, prend le nom de Boubehir dans sa partie amont et s'étale sur une longueur de 117 Km (figure II.4). Le bassin est caractérisé par :

- ❖ Une topographie particulière qui participe à une évacuation rapide des eaux de surface vers l'embouchure ;
- ❖ Un sous sol essentiellement imperméable qui explique l'inexistence de nappes d'eaux souterraines (mis à part les alluvions de l'oued Sébaou) ;
- ❖ L'absence d'un couvert végétal continu et le manque d'aménagements pour la protection des berges participent amplement à l'érosion des sols et à une importante déperdition des eaux de surface.

Depuis sa source au Djurdjura orientale jusqu'à l'embouchure en mer méditerranée, l'oued Sébaou change trois fois de direction :

- Haut Sébaou :

S'étend de la source Actif de Boubehir jusqu'à la cluse de Bellaoua où l'oued prend direction NNW-SSE ;

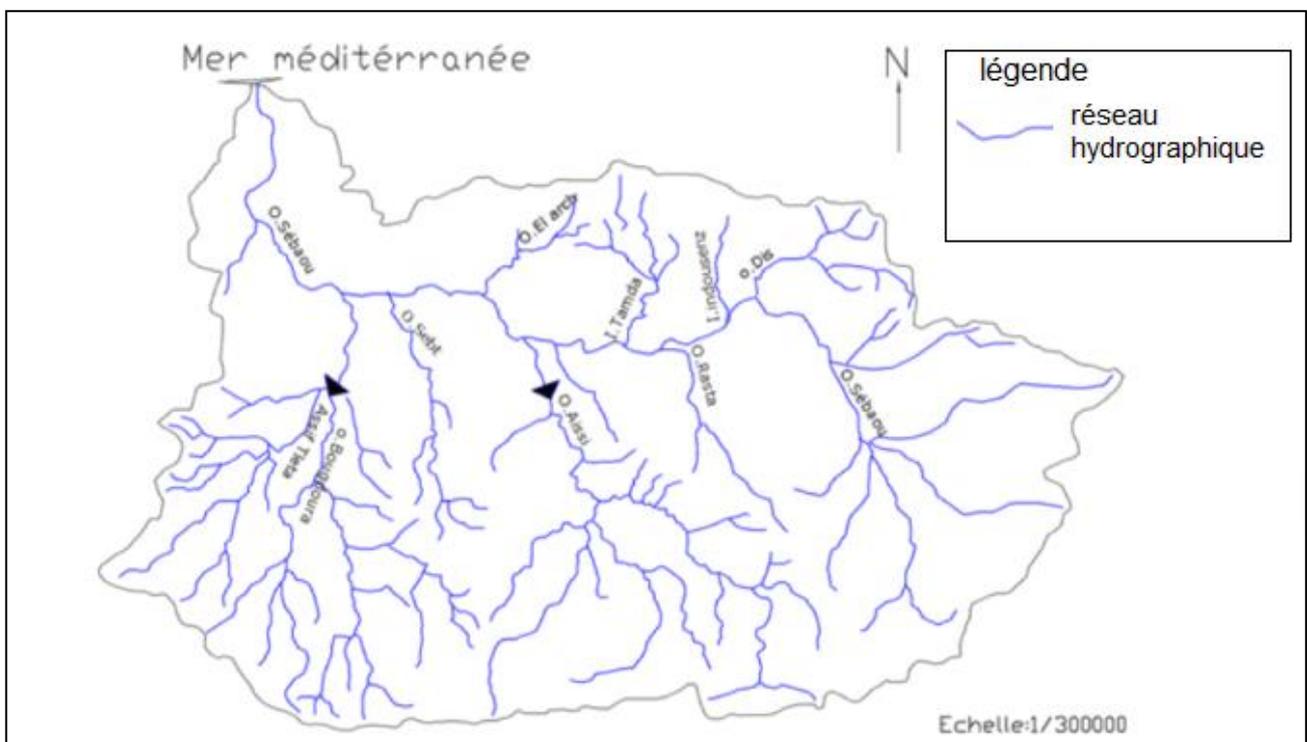
➤ Moyen Sébaou :

Au niveau de la cluse de Belloua l'oued Sébaou forme son premier coude avec le haut Sébaou et prend une direction NE-SW ;

➤ Bas Sébaou :

L'oued marque son deuxième coude au niveau de Tadmaït et empreinte la direction NNW-SSE ;

(BOUSSAD, 1996)



**Figure II.4** : Le réseau hydrographique d'Oued Sébaou.

### II.3 Situation climatique

L'étude hydro climatologique confirme le type de climat méditerranéen du bassin avec une pluviométrie annuelle moyenne de 780 mm/an en 2012.

#### II.3.1 Les températures

Le tableau ci-dessous indique une température relative moyenne de 16 C° pour la période 1989-2005 pris de la station d'AZAZGA.

**Tableau II.2:** Températures moyennes mensuelles de la station d'AZAZGA (1968-2005)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
Ten C°	24,23	19	12,27	10,15	10,05	10,23	12,21	13,9	17,32	22,46	25,11	25,2	16 ,84

(Source ONM Tiziouzou)

### II.3.2 L'humidité

Le tableau ci-dessous indique une humidité relative moyenne de l'air de 66% pour la période 1989-2005. Sur un autre plan, ces résultats montrent que l'humidité de l'air est relativement faible à partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre avec un minimum de 50% au mois d'août et sensiblement élevée du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, caractérisant la saison humide avec un maximum de 78% au mois de décembre.

**Tableau II.3:** Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-2005).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
Humidité(%)	58	71	76	78	74	76	71	70	60	58	51	50

(Source : ANRH, TiziOuzo)

### II.3.3 Précipitation

Dans ce type de climat, les pluies sont généralement intermittentes avec une forte intensité et se concentrent sur quelques mois seulement dans l'année.

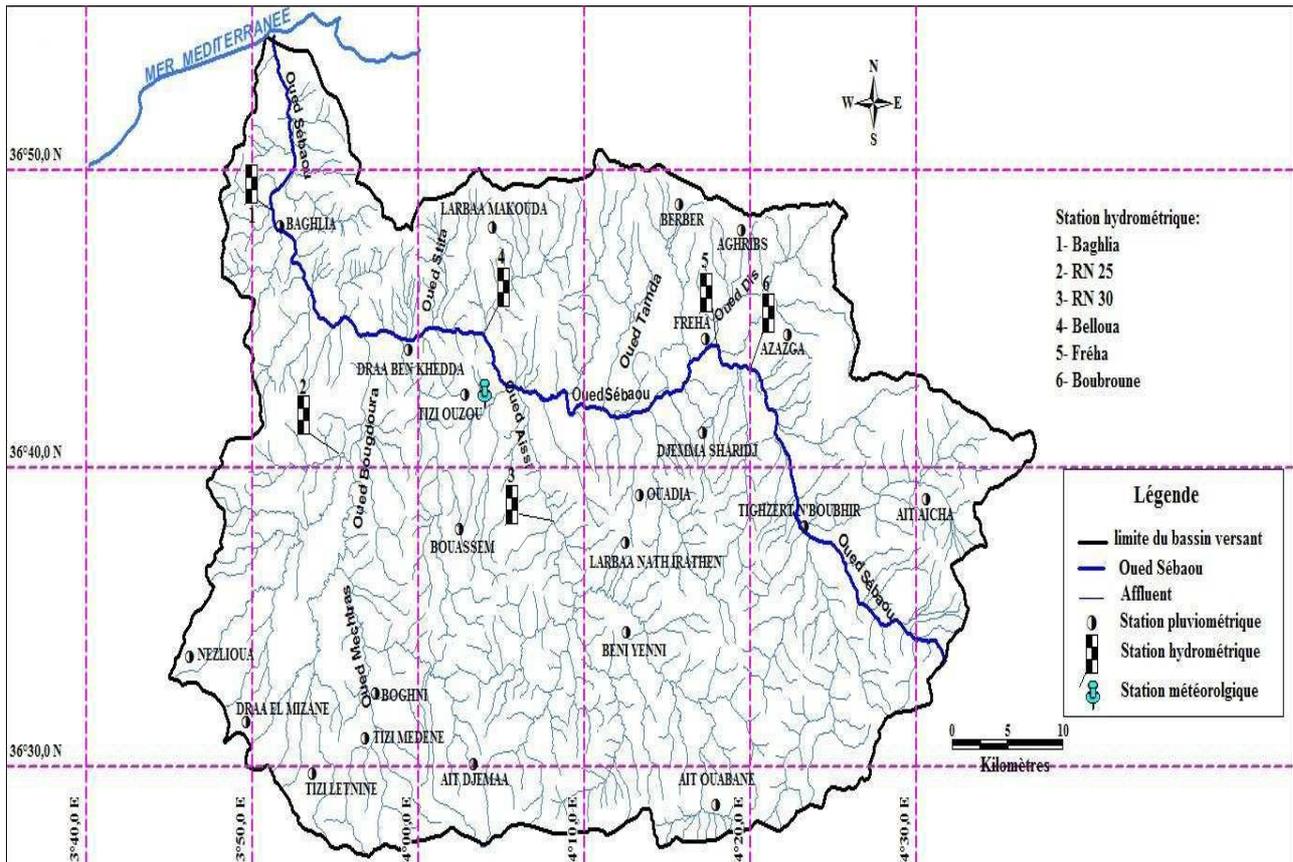
La violence de ces averses d'hiver engendre un fort écoulement de surface, suite à la saturation rapide du sol et une érosion de terrains très active.

Les précipitations sont non seulement très irrégulières, très intense mais aussi très concentrées dans le temps, laissant ainsi apparaitre des menaces de sécheresse : c'est l'une des variantes du régime climatique méditerranéen. (BOUSSAD, 1996)

Le bassin versant de l'oued Sébaou est contrôlé par vingt-deux stations pluviométriques et six stations de jaugeages (figure II.5), dont les coordonnées sont données au tableau II.4.

**Tableau II.4 :** Coordonnées Lambert des stations pluviométriques et hydrométriques.

Stations	Coordonnées Géographiques (Lambert)			Code
	X (m)	Y (m)	Z (m)	
<b>1-Pluviométriques</b>				
AitAicha	661800	373900	1000	02-15-09
Azazga	649250	383900	430	02-15-04
DjemaaSaharidj	641700	377750	370	02-15-03
TighzertN'boubhir	650900	372100	220	02-15-01
Aghribs	645100	391250	680	02-16-01
Berber	639350	391800	490	02-16-07
Freha	641900	383500	140	02-16-03
AitDjemaa	621450	356850	840	02-17-17
AitOubane	643300	354700	960	02-17-16
BeniYenni	635000	365250	760	02-17-12
LarbaaNathirathen	634900	370800	980	02-17-05
Ouadhias	625300	362500	400	02-17-01
Bouassem	619980	371440	618	02-18-01
Draa ben Khedda	615200	382450	70	02-18-04
LarbaaMakouda	622650	390150	520	02-18-05
Boghni	612550	361150	250	02-19-03
TiziOuzou	620370	379760	234	02-18-10
Draa El mizane	600950	359200	530	02-19-02
Nezlioua	595800	363200	590	02-19-06
TiziLetnine	606900	356100	500	02-19-11
TiziMedene	611650	358350	500	02-19-01
Baghlia	603650	390000	30	02-20-02
<b>2-Hydrométrique</b>				
Boubroune	645600	382600	140	02-15-13
Fréha	642950	384250	130	02-16-05
RN 30	627100	374600	110	02-17-15
Belloua	623300	381200	90	02-18-03
RN 25	610200	375750	80	02-19-09
Baghlia	603750	390100	25	02-20-01



**Figure II.5:** Carte de localisation des stations pluviométriques et hydrométriques du bassin versant de l’Oued Sébaou.

La répartition des précipitations moyennes mensuelles est représentée dans le **tableau II.5**.

**Tableau II.5 :** Précipitations moyennes mensuelles (1990-2012).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
<b>P(mm)</b>	38,13	65,16	104,33	127,55	117,93	84,54	71,50	88,30	63,08	9,51	3,37	6,73

Source (ONM Tizi Ouzou, 2013)

## II.4 Lithologie

La description lithologique du bassin versant de l'oued Sébaou (Figure II.6), que nous donnons ci-après, est basée sur divers travaux et cartes au 1/50 000e, principalement ceux de Ficheur (1890) ; Flandrin (1948, 1952) ; Gélard (1979) ; (Meddour, 2010). Cette description lithologique est la suivante :

### ➤ Vallées du Sébaou

C'est dans les terrains miocènes, faciles à se désagréger et qui se sont déposés dans un long canal s'étendant vers l'est jusqu'aux environs d'Azazga, que s'est creusée la vallée du Sébaou.

Les plaines de l'oued Sébaou et ses principaux affluents (axe Draa Ben Khedda/ Tizi Ouzou/ Fréha) et de l'oued Isser sont occupées par les formations du Miocène post- nappes et les dépôts alluvionnaires du Quaternaire (terrasses alluviales des étages Moulouyen, Soltanien, Rharbien, etc.). Les poudingues et grès du Cartennien (Miocène inférieur) bordent les dépressions, et les marnes cartenniennes occupent, avec les argiles bleues du Sahélien (Miocène supérieur), les vallées des deux oueds. Les sables argileux rouges avec lits caillouteux que l'on rencontre entre l'embouchure de l'Isser et celle du Sébaou appartiennent au Pliocène supérieur. Les roches éruptives (andésites et labradorites miocènes) constituent, également dans cette région, le massif du Cap Djinet (djebel Bou Berak).

### ➤ Massif ancien kabyle

Le massif ancien kabyle d'âge primaire (ou Paléozoïque) est formé par une série de roches sédimentaires détritiques et métamorphiques tendres, constituées de micaschistes, schistes satinés, schistes micacés, gneiss, granulites gneissiques, phyllades et de calcaires bleus cristallins; on rencontre çà et là des filons de pegmatite. Ce terrain primaire métamorphique forme, en outre, deux îlots. Le premier au niveau du djebel Aïssa Mimoun qui comprend le Belloua, au nord de Tizi Ouzou, complètement entouré par le Miocène inférieur (Tableau. II.8) ; le deuxième dans la région de Bordj Ménaïel, il est composé de gneiss. A ceci, s'ajoute le massif de granit intrusif de Sid Ali Bounab qui recoupe des gneiss.

**Tableau II.6:**Lithologie du bassin versant de l'Oued Sébaou.

Description	Surface (Km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)
Qt : Quaternaire continental Alluvions, Regs, Terrases.	176	7,04
P : conglomérats, marnes bleues.	7,9	0,32
Mi : Miocène inférieur marin (burdigalien, Grés marnes et de calcaires).	322	12,88
Oa : Aquitanien continental.	5,1	0,20
O : Oligocène marin incluant localement l'éocène Supérieur, marnes marnes sableux, grés et microbrèches.	856	34,24
Rt : Grés rouges, conglomérats.	22,9	0,92
Em : Eocène moyen marin : marnes argileuses et marno-calcaires.	15,8	0,63
Cs : Crétacé supérieur marin : marnes et calcaires.	5,4	0,22
Jms : jurassique supérieur.	2,3	0,09
Ji : jurassique inférieur marin (lias, calcaires massifs et dolomites).	36	1,44
T : Trias marins ou lagunaire.	7,8	0,31
H : Carbonifère non subdivise.	16,3	0,65
Psi : Gneiss.	312	12,48
C : Calcaires métamorphiques.	25,6	1,02
Xi : Mécaschistes, schistes satinés.	666	26,64
Ro : Rhyolites, dellénites, dacites.	2,9	0,12
Gama : Pegmatites.	20	0,80
<b>Surface totale</b>	<b>2500</b>	<b>100</b>

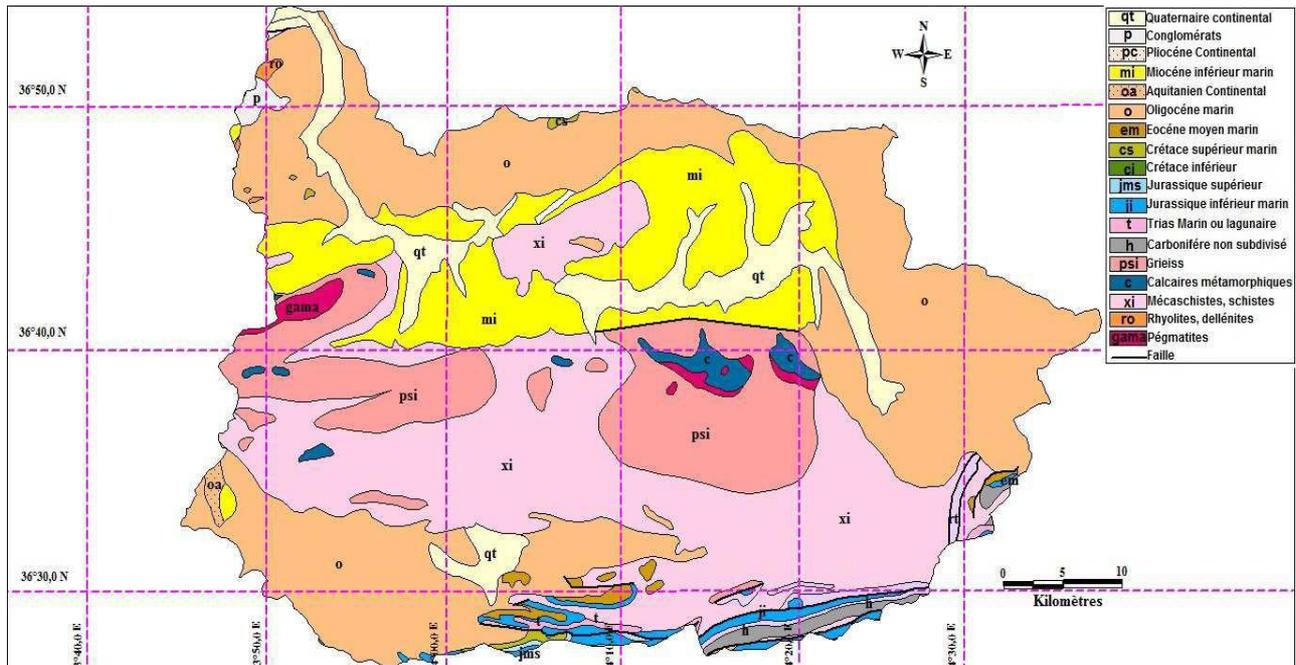


Figure II.6: Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Sébaou.

## II.5 Contexte hydrogéologique

La vallée de l'oued Sébaou occupe la grande zone synclinale miocène qui s'étend d'Azazga à Dellys. Le Miocène marneux constitue le substratum imperméable de la nappe alluviale de l'oued Sébaou. Elle est une large dépression comblée d'alluvions du Quaternaire formant un complexe de terrasses reposant sur des formations de Miocène inférieur. Ces formations sont constituées principalement par des marnes et des argiles et constituent le substratum des formations alluviales aquifères. Les formations alluviales aquifères de l'oued Sébaou s'étendent sur environ 100 Km. Dans la région de Tizi Ouzou, la vallée du Sébaou (Figure II.8) est séparée en deux par le Djebel Belloua qui scinde naturellement l'axe longitudinal de la vallée en deux zones indépendantes avec une structure géomorphologique différente et des conditions géologiques voire hydrogéologiques diverses (Yakoub, 2005). On distingue ainsi :

- Le haut Sébaou à l'amont ;
- Le bas Sébaou jusqu'à l'embouchure.

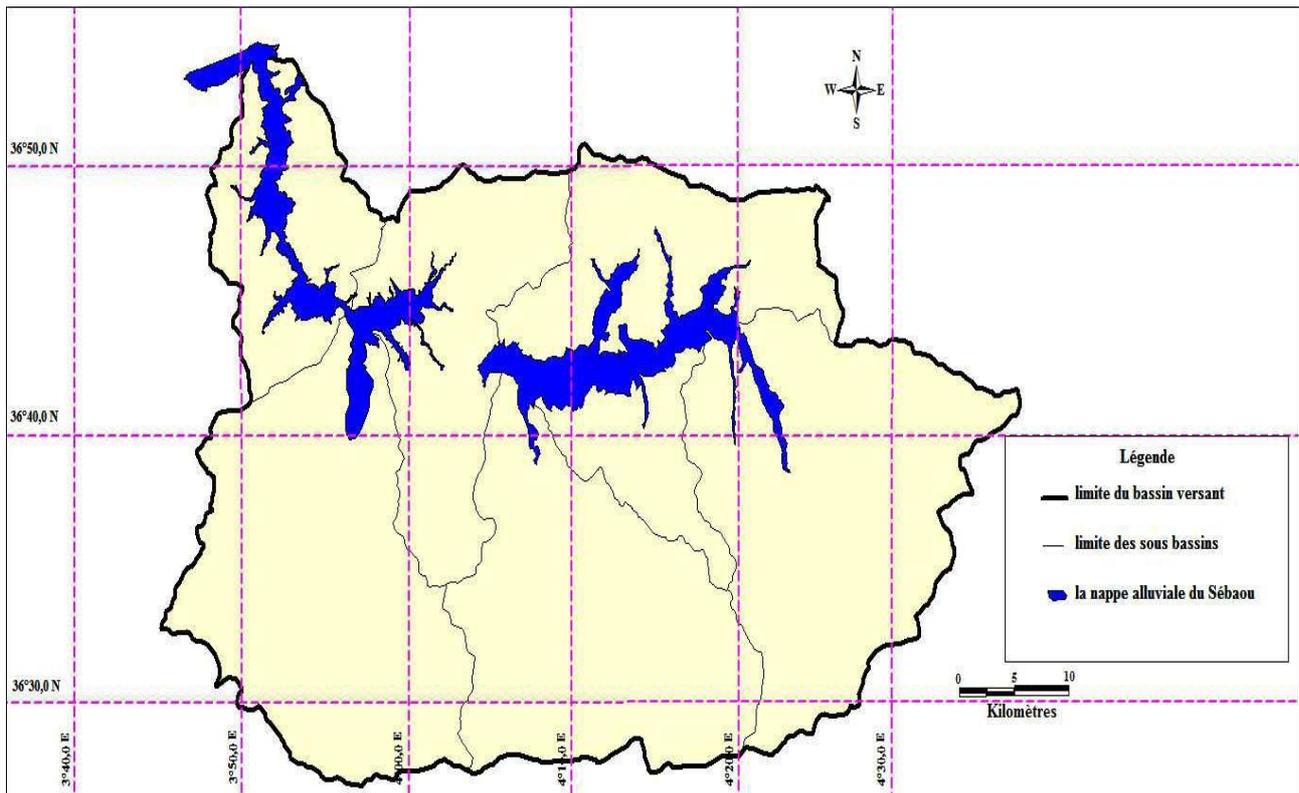
La différence entre ces deux zones provient de la disposition des terrasses alluviales qui, dans le haut Sébaou, forment un système étagé alors que dans le bas Sébaou ; le système est emboîté.

Ces terrasses sont datées du Quaternaire ancien, Quaternaire moyen et du Quaternaire récent.

L'épaisseur des dépôts alluviales varie de 3 à 5 m pour les niveaux du quaternaire ancien et moyen et atteint 40 m pour le quaternaire récent.

Les résultats de la prospection géophysique exécutée par la **C.G.G** (Compagnie générale de géophysique) en 1964 ont estimé le volume des alluvions aquifères de la nappe alluviale du Sébaou à 530 Hm<sup>3</sup>.

Les quelques sondage étalons analysés à cette date avaient dégagé une porosité totale légèrement supérieure à 20% et les ressources naturelles de la nappe alluviale du Sébaou seraient de l'ordre de 100 Hm<sup>3</sup> (Yakoub, 2005).



**Figure II.7** : carte de la nappe alluviale du bassin versant de l'oued Sébaou. . (Ballah, 2014)

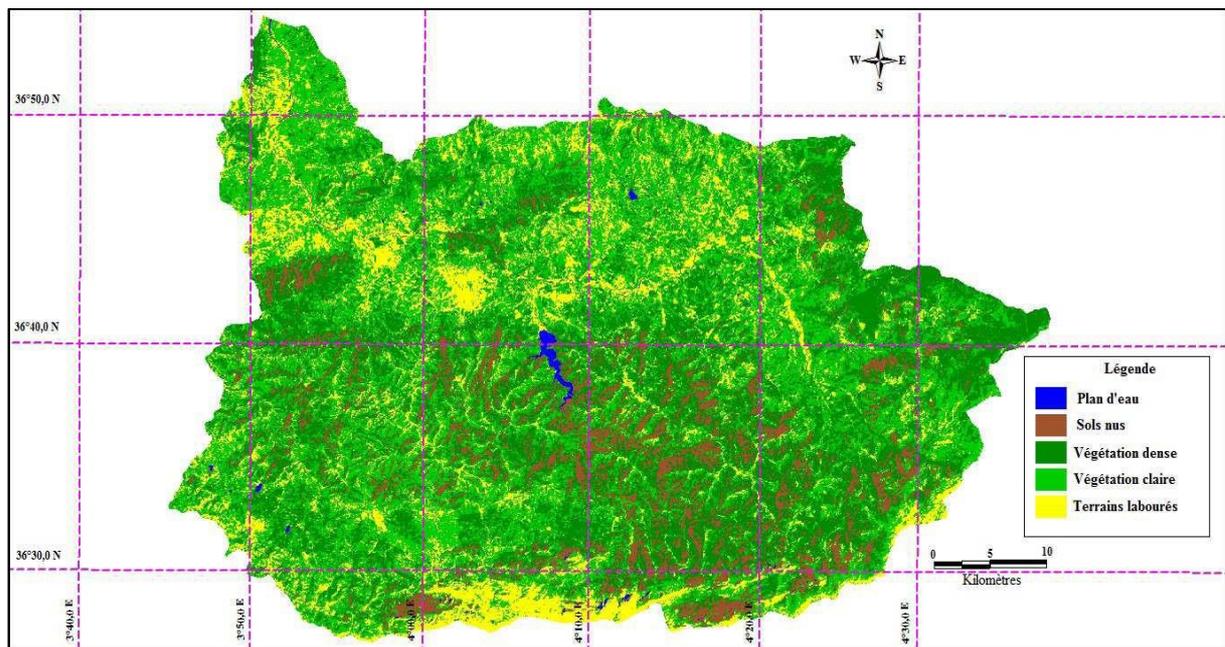
### Occupation de sol

Les principaux massifs forestiers du bassin versant du Sébaou et de la Wilaya de Tizi Ouzou localisés en altitude sont ceux du Djurdjura, l'Akfadou et la chaîne littorale (Yakoub, 2005). Au niveau du flanc nord de la chaîne calcaire, la couverture végétale est dominée par le cèdre et le chêne vert. Dans l'Akfadou et en altitude (1100 à 1600 m), on rencontre essentiellement le chêne zeen et le chêne afares. En basse altitude, le maquis et l'olivier sont les espèces les plus répandues. Dans le versant sud et la basse vallée, on les rencontre jusqu'à des altitudes de 700 mètres dans des milieux argileux. L'absence d'un couvert végétal continu et le manque d'aménagements pour la protection des berges dans la vallée de Tizi Ouzou participent amplement à l'érosion des sols et à une déperdition importante des eaux de surface (Yakoub, 2005).

De nombreux travaux réalisés dans ce domaine ont relevé que l'une des contraintes essentielles dans la dégradation de cette couverture végétale est la fréquence des incendies qui ont affecté cette région. Le tableau II.3 représente les différentes classes d'occupation du sol qui sont situées dans le bassin versant de l'Oued Sébaou. Le couvert végétal occupe le plus grand pourcentage de la superficie qui s'élève à 71,52%.

**Tableau II.7 :** Classes d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sébaou.

Les classes	Surface en (Km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)
Plan d'eau	197,57	7,90
Sols nus	221,50	8,86
Végétation dense	880,11	35,50
Végétation claire	900,22	36,02
Terrains labourés	300,60	12,02



**Figure II.8 :** Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Sébaou. (Ballah , 2014)

**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté d'une manière brève notre régions d'études et ainsi que les caractéristiques que nous allons utiliser dans la modélisation ou l'explication du fonctionnement du modèle hydrologique.

# CHAPITRE III

*Présentation du logiciel*

*Athys*

## **Introduction**

ATHYS est l'un des logiciels utilisés pour faire la modélisation pluie-débit qui nécessite l'ensemble des données géographiques et pluviométriques, dont il sert au traitement de ces derniers. Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes fonctions appliquées dans ce logiciel.

### **III.1 Présentation de la plate-forme de modélisation ATHYS**

ATHYS, Atelier hydrologique spatialisé est un outil informatique permettant de manipuler un ensemble de données pour la transformation pluie-débit à l'aide de trois modules. Le module géographique permet de réaliser un traitement complet du Modèle Numérique de Terrain et de produire des fichiers dérivés géomorphologiques du bassin versant considéré. Le module hydro-pluviométrique réalise la fusion de données hydro-pluviométriques, étape nécessaire à l'utilisation du module hydrologique MERCEDES (Bouvier, 1994).

#### **III.1.1 Le modèle hydrologique spatialisé MERCEDES**

- **PRINCIPE**

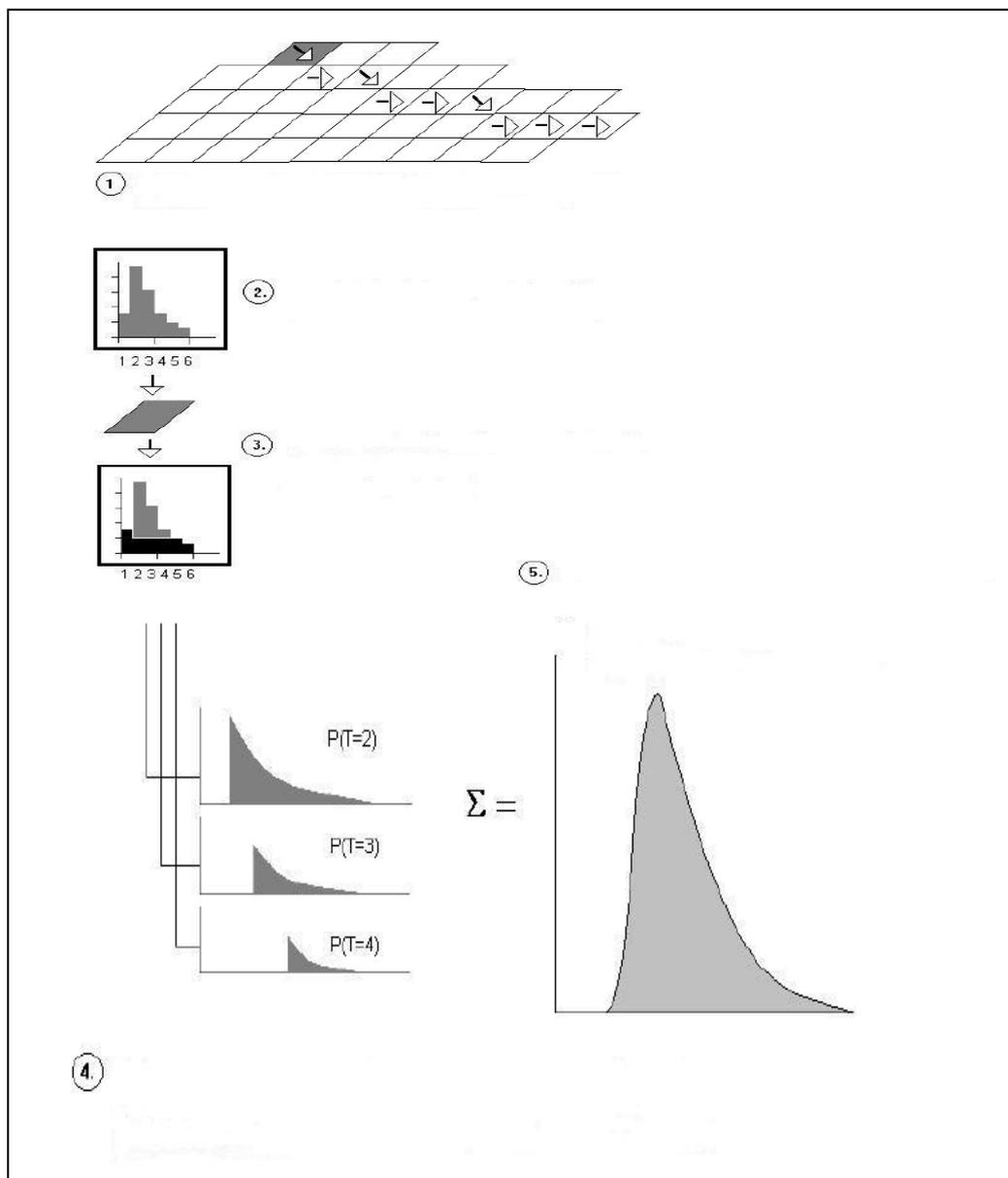
Mercedes, Maillage Elémentaire Régulier Carré pour l'Etude Des Ecoulements Superficiels, applique pour un pas de temps et une maille donnée un modèle global de transformation pluie-débit. La pluie brute, la pluie nette, l'hydrogramme unitaire sont ainsi calculés en chaque maille et au pas de temps choisi. Par sommation des résultats sur chacune des mailles, une réponse hydrologique spatialisée du bassin est obtenue. (Manuel Athys, 2014)

- **Les Etapes de Simulation**

MERCEDES, applique la transformation pluie-débit spatialisée selon 5 phases (Figure III.1):

1. La première phase discrétise le bassin versant en mailles carrées régulières à partir du MNT.
2. La seconde phase calcule pour chaque maille la pluie brute tombée en interpolant les données pluviométriques observées (par la méthode des polygones de Thiessen ou par interpolation des pluies en forme et en volume en fonction de la distance maille-pluviographes).
3. La troisième phase transforme la pluie brute en pluie nette après soustraction des pertes à l'écoulement.

4. La quatrième phase est le transfert de la contribution de chacune des mailles à l'exutoire. L'hydrogramme élémentaire à l'exutoire de la contribution de la maille considéré est calculé à partir de la pluie nette sur la maille considérée. La forme et le décalage dans le temps de l'hydrogramme est fonction de la position de la maille sur le bassin.
5. La dernière phase additionne l'ensemble des contributions élémentaires de chacune des mailles afin d'obtenir l'hydrogramme complet de crue à l'exutoire du bassin versant.(Manuel Athys, 2014)



**Figure III.1:**Schéma de fonctionnement général du modèle hydrologique MERCEDES

- Mercedes offre la possibilité d'utiliser différentes fonctions de production et de transfert. Les pertes au ruissellement peuvent être décrites par un approche conceptuelle (Fonction Réservoir 1 et 2, SCS, Girard, Top Model) ou mécaniste (Green et Ampt, Smith et Parlange).
- Pour le transfert, Mercedes utilise le modèle mécaniste de l'onde cinématique ou le modèle conceptuel de translation stockage qui combine réservoir linéaire et translation constante. Ces modèles présentent deux options : simple ou géomorphologique. (Manuel Athys, 2014)

## III.2 Description des fonctions de production et de transfert utilisées

### III.2.1 La fonction SCS simple

Pour représenter la transformation de la pluie brute en pluie nette sur chaque maille, le modèle empirique non linéaire SCS a été choisi dans MERCEDES. Ce modèle permet d'évaluer le volume ruisselé  $R(t)$  en fonction du paramètre  $S$ , correspondant à la rétention hydrique potentielle maximale des sols, des pluies brutes  $P_b$ , de la pluie nette  $P_n$  et des pertes initiales  $PI$ .

$$R(t)/S = \sum P_n(t) / \sum P_b(t) - PI \dots\dots\dots III.1$$

Le paramètre  $S$  (mm) est en relation avec le coefficient d'aptitude au ruissellement  $CN$  selon la formule suivante:

$$S = \{(1000/CN - 10) * 25.4 \dots\dots\dots III.2$$

Cette interdépendance du stock potentiel des sols au coefficient de ruissellement impose un  $CN=0$  si  $S$  est positif. Inversement, pour un ruissellement de 100% ( $CN=100$ ),  $S$  est nul. En réalité, lorsque la pluie commence à tomber, le ruissellement n'est pas immédiat. La rétention initiale est estimée dans ce modèle à  $0.2*S$ . On obtient ainsi la formule de production suivante en remplaçant  $P_b(t)$  par  $P_b(t) - 0.2S$

$$R(t) = (P_b(t) - 0.2 S)^2 / (P_b(t) + 0.8S) \dots\dots\dots III.3$$

Ce modèle de production appliqué en chaque maille élémentaire de MERCEDES permet ainsi d'estimer le stock hydrique potentiel de chaque maille et d'en déduire un coefficient d'écoulement instantané C(t), dérivé de la fonction de production précédente:

$$C(t) = \frac{(P(t) - 0.2S)}{P(t) + 0.8S} * 2 \frac{(P(t) - 0.2S)}{P(t) + 0.8S} \dots\dots\dots III.4$$

Pour des volumes de pluies brutes de S/4 et S/2, l'application numérique sur la formule précédente donne des coefficients d'écoulement instantanés de 0.09 et 0.41. Ainsi pour un cumul de pluie passant de S/4 à S/5, le coefficient d'écoulement est multiplié par 4. Pour un volume de pluie S/5, rien ne ruisselle. A noter enfin que pour un volume maximum S, le coefficient tend asymptotiquement vers 0.7 et non pas vers 1.

Dans sa forme la plus simple, la fonction SCS est paramétrée dans MERCEDES par un seul paramètre, le stock hydrique potentiel des sols (mm).

**III.2.2 La fonction SCS avec option de vidange**

La fonction SCS simple peut être amendée par une fonction de vidange comprenant deux paramètres: w et ds. Dans le cas de la fonction SCS avec option de vidange, la contribution élémentaire de chaque maille est calculée par sommation de deux contributions R1 et R2. R1 est établie par intégration du coefficient d'écoulement formulé ci-dessus sur une pluie instantanée P(t)<sub>i</sub>:

$$R1(t) = \int_0^{\Delta t} C(t) P_i(t) dt \dots\dots\dots III.5$$

La contribution R2 est fondée sur la vidange lente d'un réservoir à capacité infinie. La vidange de ce réservoir est fonction du niveau du réservoir et est régie à chaque pas de temps Δt par l'équation suivante :

$$Vid = Stoc. (1 - e^{-ds \cdot \Delta t}) \dots\dots\dots III.6$$

Avec w, reprise partielle de vidange pour le ruissellement (compris entre 0 et 1) et ds, coefficient de vidange

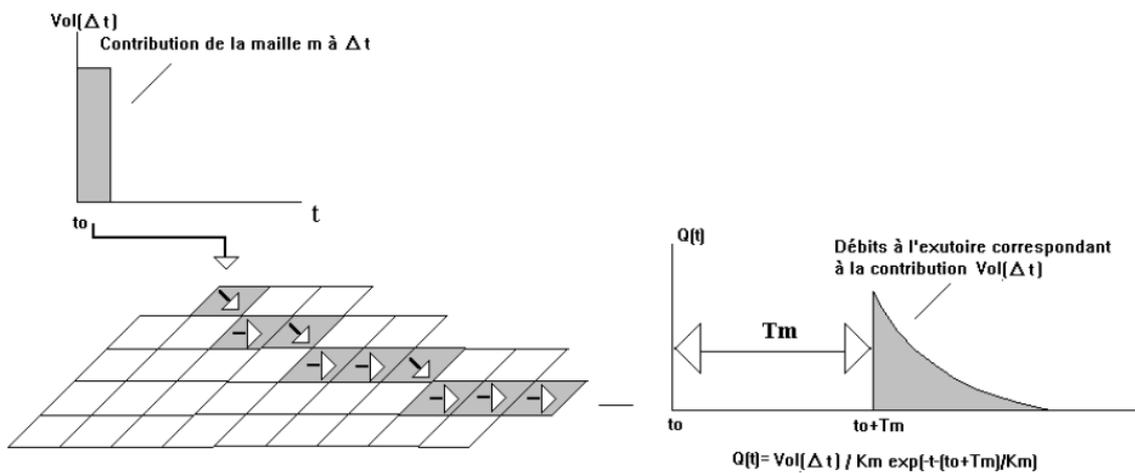
La contribution issue de la vidange lente du réservoir est donnée par la relation :

$$R2(t) = w \cdot stoc. (1 - e^{-ds \cdot \Delta t}) \dots\dots\dots III.7$$

La fonction SCS avec vidange est ainsi paramétrée par trois paramètres dans MERCEDES: S, w et ds.

**III.2.3 Le modèle de transfert utilisé LAG&ROUTE SIMPLE**

Le modèle Lag&Route simple est un modèle de transfert conceptuel couplé translation /stockage. Il permet de transférer la contribution de la maille m à l'exutoire pour un pas de temps considéré  $t_i$  (Figure III.2). Ce calcul dépend des directions de drainage indiquées le long du parcours et de la position de la maille sur le bassin.



**Figure III.2 :** Représentation de la fonction de transfert sous MERCEDES

A partir d'une vitesse de propagation  $V_k$  fixée constante sur l'ensemble des mailles du bassin, les caractéristiques de temps de propagation  $T_m$  et d'amortissement  $K_m$  sont déduites des formules suivantes:

$$V_k = V_{oen} \text{ m/s} \dots\dots\dots \text{III.8}$$

$$T_m = L_m / V_k \dots\dots\dots \text{III.9}$$

Avec  $L_m$ , longueur de la maille

$$K_m = K_o T_m \dots\dots\dots \text{III.10}$$

Avec  $K_o$ , paramètre de stockage,

Le facteur d'amortissement  $K_m$  opère une distribution exponentielle des débits dans le temps et le paramètre  $K_o$  est un facteur de stockage, proportionnel à la distance entre la maille et

l'exutoire du bassin de la maille considéré et au temps de propagation. Le stockage est d'autant plus important que le temps de propagation soit long.

Pour une contribution  $V_r$  de la maille considérée  $m$  à l'instant  $t_i$ , le débit à l'exutoire vaut à l'instant  $t$ .

$$Q_m(t)=0 \text{ si } t < t_i + T_m \dots\dots\dots \text{III.11}$$

$$Q_m(t) = V_r * (1/K_m) * e^{-(t-(t_i+T_m))/K_m} \text{ si } t \geq t_i + T_m \dots\dots\dots \text{III.12}$$

Pour appliquer cette fonction de transfert dans MERCEDES, deux paramètres sont à déterminer:  $V_0$ ,  $K_0$ .

### III.2.4 Le modèle de transfert utilisé LAG and route géomorphologique

Son Paramétrisation dite :  $V_0$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $K_0$

$$V_k(t) = V_0 \cdot P_k^\alpha \cdot S_k^\beta \dots\dots\dots \text{III.13}$$

$$K_m(t) = K_0 \cdot T_m \dots\dots\dots \text{III.14}$$

Avec  $P_k$  pente de la maille  $k$ ,  $S_k$  superficie drainée en amont de la maille  $k$ . Cette paramétrisation fait explicitement varier la vitesse de transfert en fonction de la pente de la maille et de la superficie amont. Les valeurs recommandées pour  $\alpha$  et  $\beta$  sont  $\alpha = 0.5$  et  $\beta = 0.2$ .

### Conclusion

- ATHYS représente toute les fonctionnalités nécessaire dans un logiciel de modélisation hydrologique notamment un grand choix de fonctions de transferts et de productions qui peuvent être misent en œuvre afin de réaliser un bon modèle en choisissant de nombreuse combinaisons entre fonctions afin de réaliser la simulation la porche de la réalité.
- L'introduction des SIG et des MNT va surement ajouter plus de précision et de signification aux résultats obtenus qui auront alors une explication plus physique et hydrologique.
- La panoplie des modèles de production et de transfert disponible dans MERCEDES nous permet de bien mener la modélisation afin d'expliquer la relation pluie- débit.

# CHAPITRE IV

*Simulation et  
Application du logiciel*

## Introduction

Dans ce présent chapitre, la simulation des événements de crue pluie-débit, est effectué en utilisant, le logiciel ATHYS (ATelier HYdrologique Spatialisé), dans le bassin versant du Sébaou.

### IV.1 Etapes de la simulation

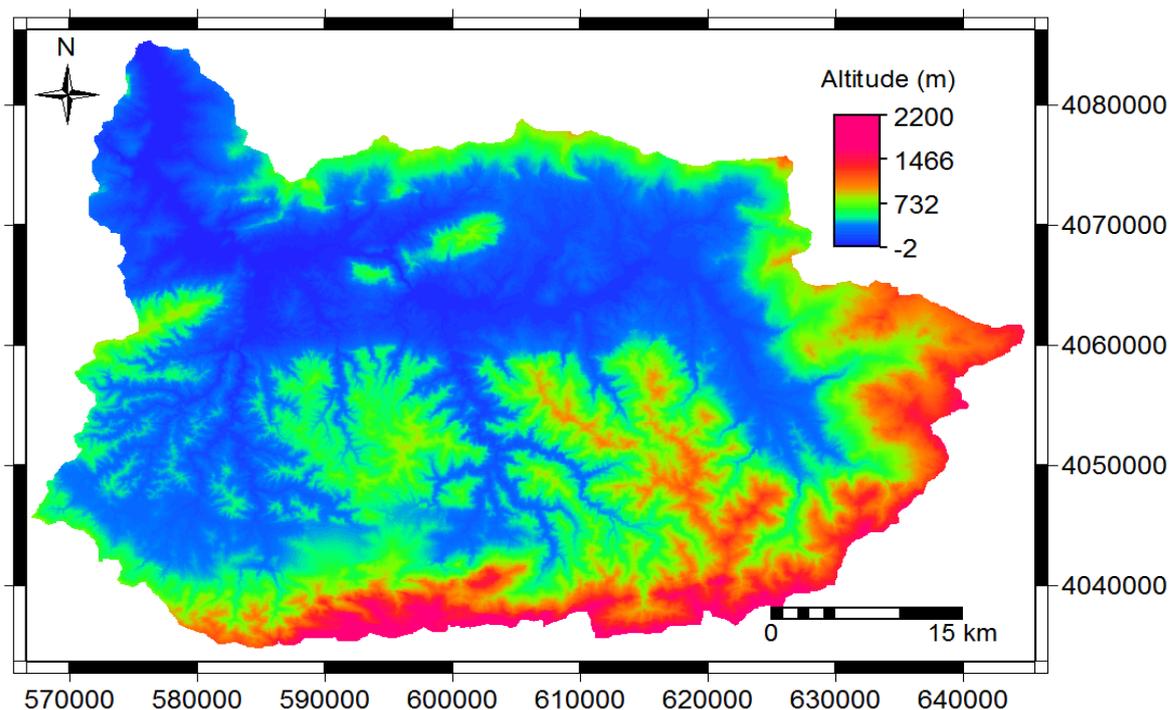
Contrairement à d'autres logiciels, de simulation et de modélisation, ATHYS nécessite une base de données importante, qui préalablement traitées, pour une bonne simulation des événements. Cette base de données est constituée de données géographiques, pluviométriques et hydrométriques.

#### IV.1.1 Les données géographiques :

Les données nécessaires pour le module VISCAIR, du logiciel ATHYS, nécessite un format particulier, de donnée géographique, qui est le format ASCII.

Ce module permet la création des fichiers de drainage, pentes et bassins versants, ainsi de corriger les directions de drainage, dans le cas de dépression (0 direction de drainage).

Le fichier MNT (Module Numérique de Terrain) est introduit au module Mercedes pour faire l'extraction des fichiers des altitudes, direction de drainage, pentes, bassins versants...etc.



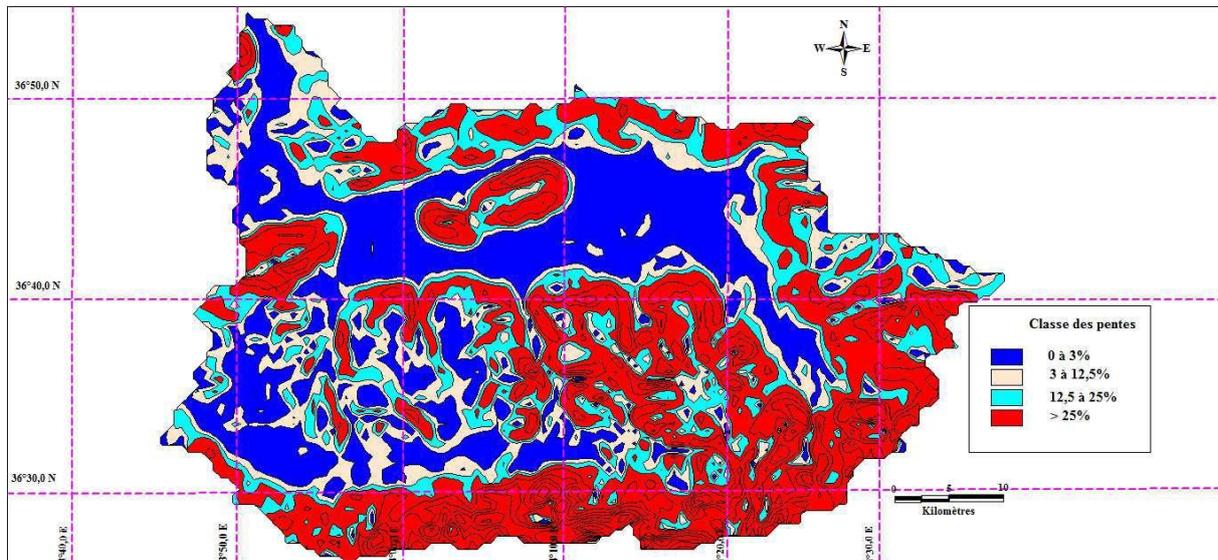
**Figure IV.1 :** Carte de MNT du bassin de Sébaou.

Le tableau IV.1 indique les différentes classes des pentes, présentes dans le bassin versant de l'Oued Sébaou. Les terrains à pentes supérieures à 25 % occupent 42% de la surface totale, ce qui indique que le relief est très accidenté

**Tableau IV.1:** Classes des pentes dans le bassin versant de l'Oued Sébaou et superficies correspondantes.

Classes	Superficies (km <sup>2</sup> )	(%)
0 – 3%	610	24,4
3 – 12,5%	390	15,6
12,5 – 25%	450	18
>25%	1050	42

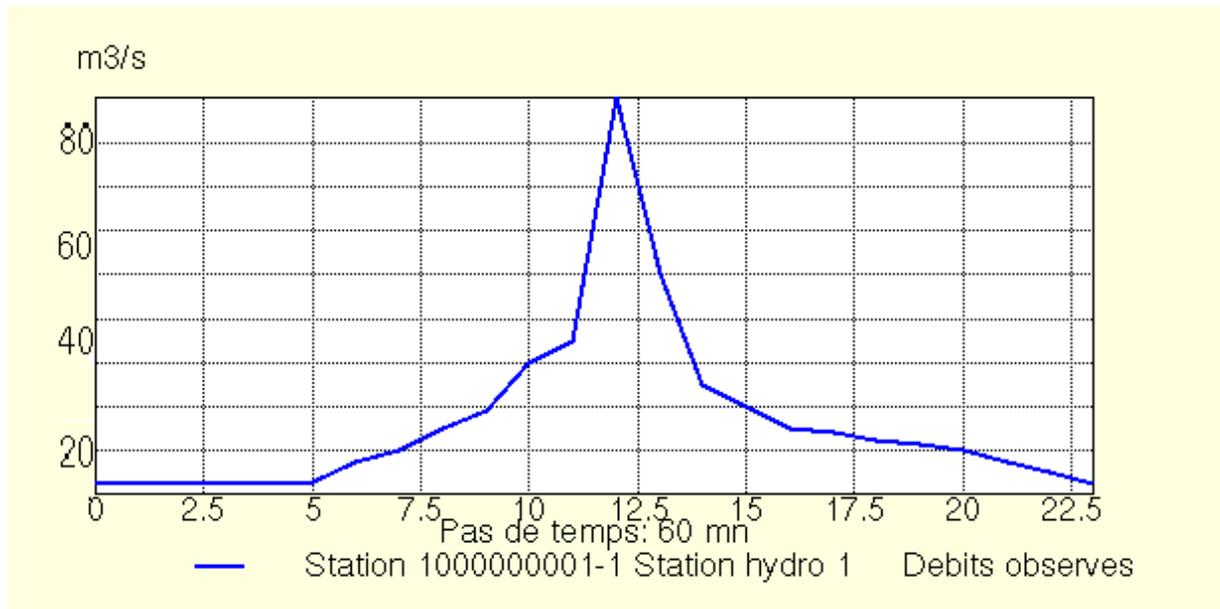
Les tranches d'altitudes, comprises entre 800 et 2000 m sont le plus dominantes, dans le bassin versant de l'Oued Sébaou.



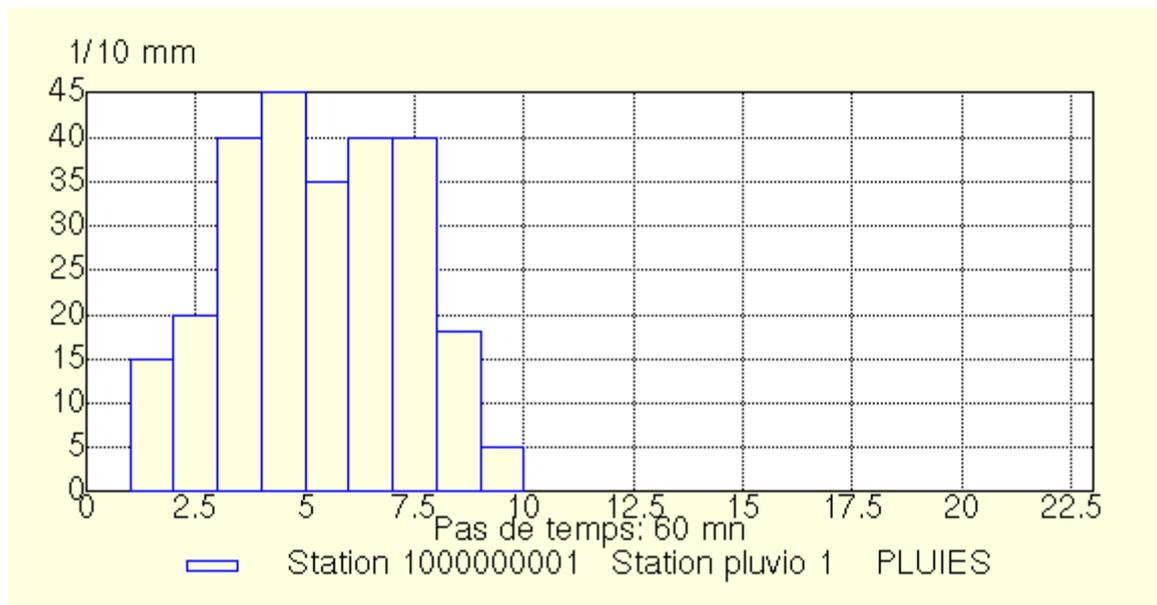
**Figure IV.2 :** Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Sébaou.

#### IV.1.2 Les données pluviométriques et hydrométriques

Les données nécessaires, au fonctionnement du logiciel ATHYS, sont des données à pas de temps constants. Le pas de temps horaire est choisi, pour notre étude (cas des événements extrêmes) ; en effet l'ensemble des données des événements de crues sont transformés sous le format FTS 63, et rangés dans le même fichier de données.



**Figure IV.3** Allure hydrogramme de crue à l'exutoire pour le 1<sup>er</sup> événement.



**Figure IV.4** histogramme des pluies pour le premier événement.

## IV.2 Choix des modèles et des paramètres

Comme déjà cité dans les chapitres précédents, il existe deux fonctions principales qui définissent l'écoulement ; la fonction de production et la fonction de transfert.

### IV.2.1. Fonction de production

Dans ce présent cas étudié, la fonction de production adoptée pour la simulation est la méthode Conservation Service (SCS) de l'USDA, car c'est la fonction qui donne les résultats les plus significatifs, dans le cas des événements extrêmes (Coustau et al 2012).

➤ **Méthode SCS :**

$S$  : capacité maximal du réservoir sol. [mm]

$dS$  : coefficient de la vidange exponentielle de la lame infiltrée, [en jour-1]

$\omega$  : fraction de la vidange qui participe au ruissellement, sous forme d'exfiltration

$$P_e(t) = P_b(t) \left( \frac{P(t) - 0.2S}{P(t) + 0.8S} \right) \left( 2 - \frac{P(t) - 0.2S}{P(t) + 0.8S} \right) \dots\dots\dots \text{IV.1}$$

Si on note  $P_b(t)$  la précipitation à l'instant  $t$ , et  $P_e(t)$  la pluie efficace calculée par la fonction de production.

### IV.2.2 Fonction de transfert

La simulation spatialisée de la pluie en débit nécessite une deuxième fonction, nommée fonction de transfert. Afin de connaître le comportement des bassins versants et appréhender le phénomène qui survient au niveau des bassins versants, plusieurs fonctions de transfert sont proposées

- **Fonction Lag&route simple** : établie dans le cadre d'une fonction à mailles indépendantes.
- **Fonction Lag&route géomorphologique** : établie dans le cadre d'une fonction à mailles indépendantes, ces paramètres fait explicitement varier la vitesse de transfert en fonction de la pente de la maille et de la superficie amont.
- **Fonction onde cinématique simple** : établie dans le cadre d'une fonction à mailles interactives.
- **Fonction SCS hydrogramme unitaire** : établie dans le cadre d'une modélisation globale afin de comparer les résultats.

### IV.3 Sensibilité du modèle aux paramètres de calage

Les différents paramètres du modèle ont des impacts sur l'hydrogramme de d'écoulement.

- **Le paramètre S** : présente la capacité initiale du réservoir permet de contrôler l'amplitude pointe de crues et règle le volume de crues. Plus S est grand plus le pic de la crue est faible.
- **Le paramètre w** : influe sur l'écoulement retardé et permet de fixer la décrue après la pointe de crues. Si on augmente w, on décale la décrue vers le haut. Il n'a qu'une influence minimale sur les débits de pointe de crue.
- **Le paramètre ds** : contrôle principalement l'amplitude des pointes de crue intervenant après une première pointe. Une augmentation du paramètre **ds** aura pour effet de diminuer le coefficient de ruissellement des pluies à venir, mais augmentera le débit retardé en provenance de la vidange du réservoir
- **Le paramètre Vo** : agit sur le calage dans le temps de pic de crues, et c'est le seul paramètre dans ce modèle qui influe sur le calage dans le temps.
- **Le paramètre Ko** : agit essentiellement sur la durée des pointes de crue. Etant donné que le paramètre Vo agit également sur la forme de la crue, et le paramètre Vo agit sur le calage dans le temps de pics de crues, donc il existe une dépendance entre Vo et Ko.

Le fonctionnement du logiciel ATHYS repose sur un calage automatique, c'est à dire la détermination d'un jeu de paramètres optimal, par minimisation d'une fonction critère (EAM, EQM, CREC et Nash), reprenant la procédure du simplexe de Nelder et Mead (Himmelblau, 1972; Rao, 1978), et analyse de la sensibilité de la fonction critère aux variations des paramètres. Ces procédures sont complémentaires, et peuvent faciliter le calage d'un modèle ainsi que l'analyse des incertitudes associées aux paramètres.

Le critère choisi, dans cette étude, repose sur le coefficient de Nash ( Nash & Sutcliffe 1970), de façon qu'il soit supérieur ou égale à 0.8.

#### **IV.4 Simulation Avec le module MERCEDES (Maillage Élémentaire Régulier Carré pour l'Etude Des Ecoulements Superficiels):**

Les 2 événements choisis, dans cette étude de simulation dans le bassin versant haut Sébaou , sont les crues datées de 30 décembre 1980 et de 10 Janvier 1995.

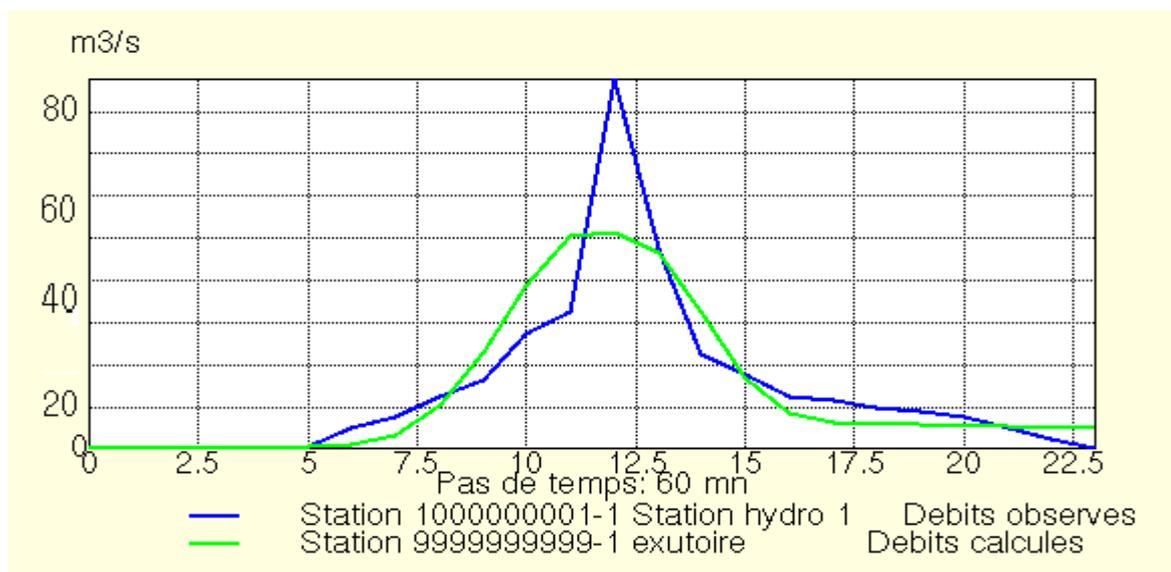
##### **Evénement N°1**

La fonction Lag&route géomorphologique : Fonction de production SCS  $S=52$  mm ;  $w=0.25$  et  $ds = 1j$  Fonction de transfert  $V0=2.69$  m/s et  $K0=0.01$ .

On a obtenu les résultats suivant :

- Ecart Arithmétique Moyen **EAM = 0.34**
- Ecart Quadratique Moyen **EQM = 0.57**
- Critère **CREC = 0.29**
- Critère de **Nash=0.73**

Les débits calculés et observé sont présentés dans la figure IV.5



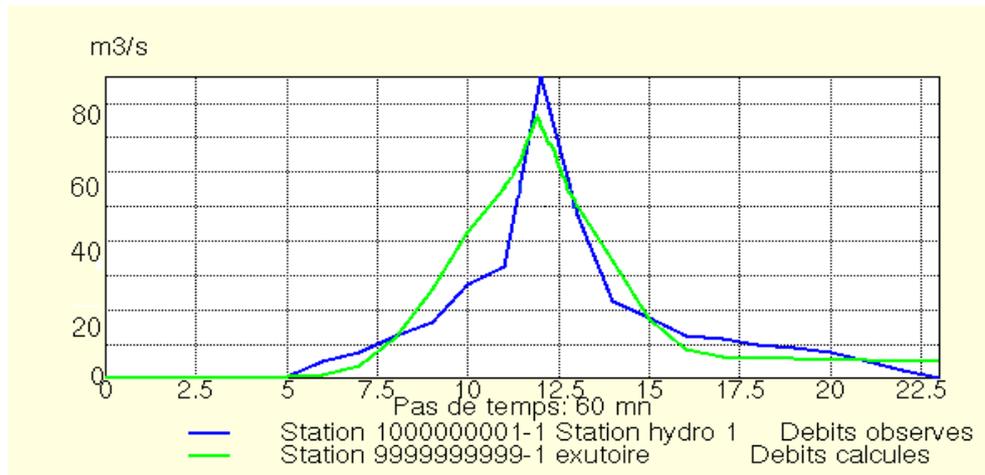
**Figure IV.5 :** Résultats de simulation de la crue de 30 décembre 1980 avec la fonction Lag&Route géomorphologique.

La fonction Lag&route simple : Fonction de production SCS  $S=52$  mm ;  $w=0.09$  et  $ds = 1j$  Fonction de transfert  $V0=4$ m/s et  $K0=0.7$ .

Les débits calculés et observés sont présentés dans la figure IV.6

On a obtenu les résultats suivant :

- Ecart Arithmétique Moyen **EAM = 0.37**
- Ecart Quadratique Moyen **EQM = 0.58**
- Critère **CREC = 0.28**
- Critère de **Nash=0.71**



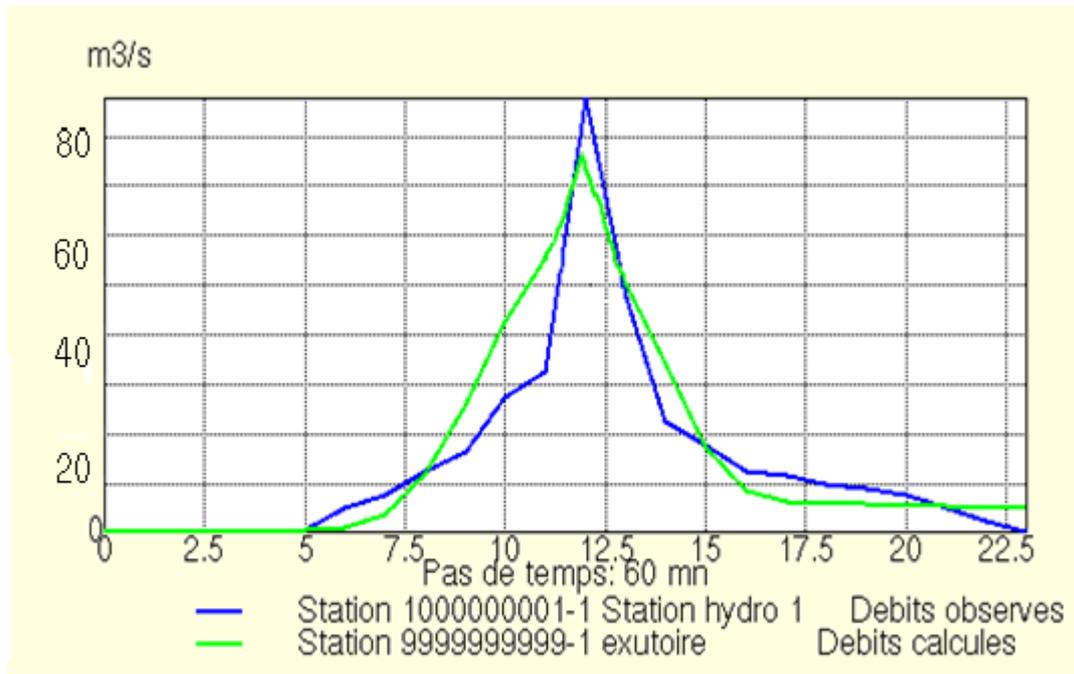
**Figure IV.6** Résultats de simulation de la crue de 30 décembre 1980 avec la fonction Lag&Route simple.

La fonction cinématique simple : Fonction de production SCS  $S=52$  mm ;  $CN=0$  ;  $w=0.09$  et  $ds = 1j$  Fonction de transfert  $V0=10m/s$ ,  $\alpha=0.3$  et  $K0=0.7$ .

Les débits calculés et observés sont présentés dans la figure IV.7

On a obtenu les résultats suivant :

- Ecart Arithmétique Moyen **EAM = 0.32**
- Ecart Quadratique Moyen **EQM = 0.46**
- Critère **CREC = 0.26**
- Critère de **Nash=0.89**



**Figure IV.7 :** Résultats de simulation de la crue de 30 décembre 1980 avec la fonction onde cinématique simple.

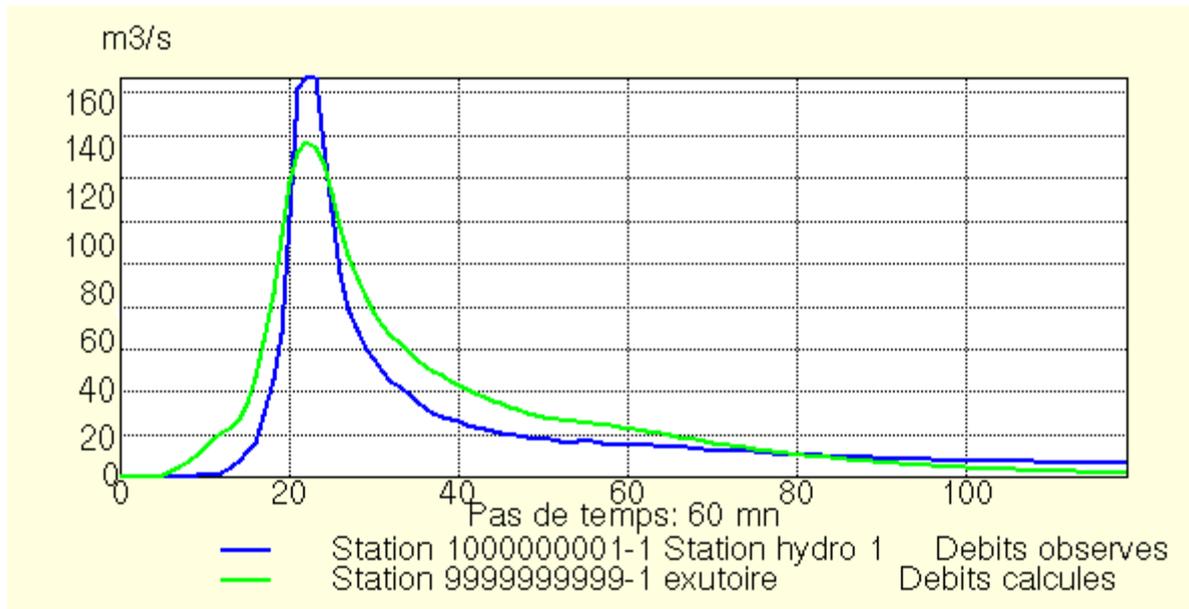
### Événement N°2

La fonction Lag&route géomorphologique : Fonction de production SCS  $S=180$  mm ;  $w=0.09$  et  $ds = 1j$  Fonction de transfert  $V_0=4m/s$  et  $K_0=0.7$ .

Les débits calculés et observés sont présentés dans la figure IV.8

Les résultats suivants sont obtenus :

- Ecart Arithmétique Moyen **EAM = 0.40**
- Ecart Quadratique Moyen **EQM = 0.56**
- Critère **CREC = 1.00**
- Critère de **Nash=0.86**



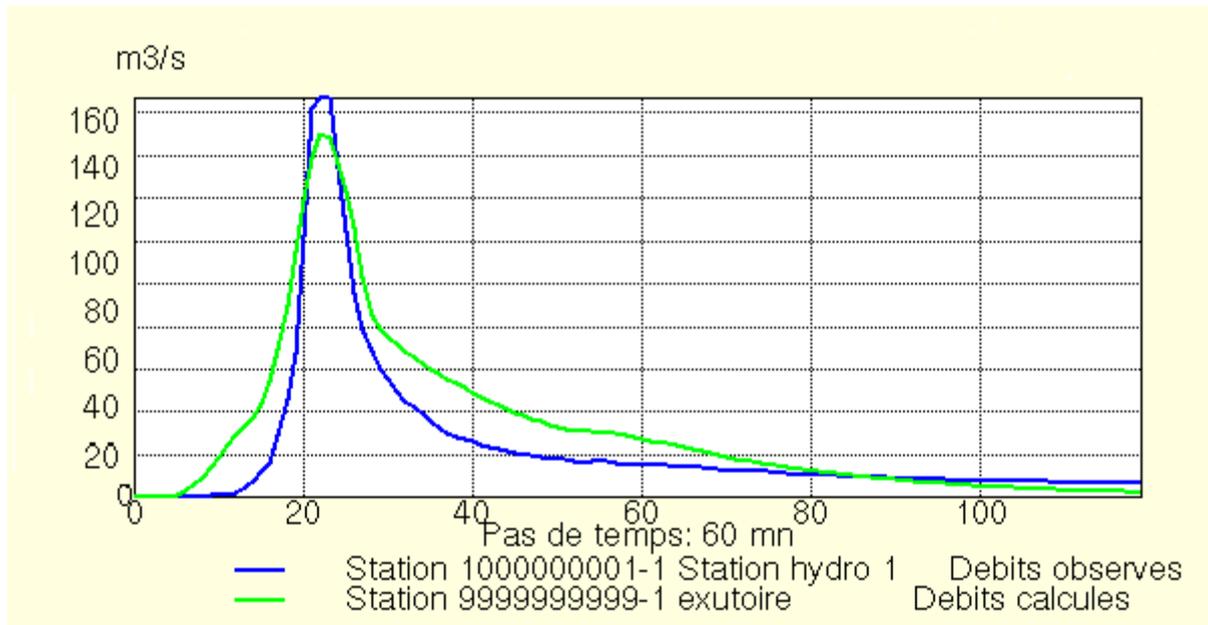
**Figure IV.8 :** Résultats de simulation de la crue de 10 Janvier 1995 avec la fonction Lag&Route géomorphologique

La fonction Lag&route simple : Fonction de production SCS  $S=180$  mm ;  $w=0.09$  et  $ds = 1j$   
 Fonction de transfert  $V_0=4m/s$  et  $K_0=0.7$ .

Les débits calculés et observés sont présentés dans la figure IV.9

On a obtenu les résultats suivant :

- Ecart Arithmétique Moyen **EAM = 0.48**
- Ecart Quadratique Moyen **EQM = 0.65**
- Critère **CREC = 1.24**
- Critère de **Nash=0.81**



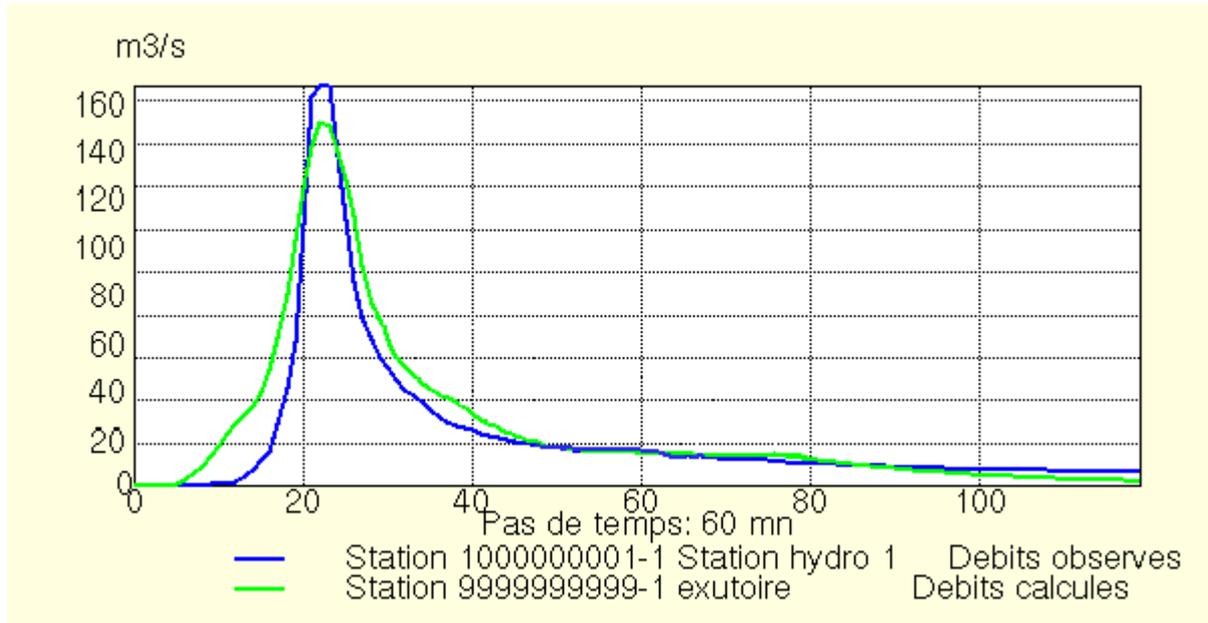
**Figure IV.9** : Résultats de simulation de la crue de 10 Janvier 1995 avec la fonction Lag & Route simple.

La fonction Onde cinématique simple : Fonction de production SCS  $S=180$  mm ;  $w=0.09$  et  $ds = 1j$  Fonction de transfert  $V0=4$ m/s et  $K0=0.7$ .

Les débits calculés et observés sont présentés dans la figure IV.10

On a obtenu les résultats suivant :

- Ecart Arithmétique Moyen **EAM = 0.17**
- Ecart Quadratique Moyen **EQM = 0.32**
- Critère **CREC = 0.75**
- Critère de **Nash=0.91**



**Figure IV.10 :** Résultats de simulation de la crue de 10 Janvier 1995 avec la fonction onde cinématique simple.

**Tableau IV.2 :** Récapitulation des résultats :

Événement	Fonction de Transfert	Critères			
		EAM	EQM	CREC	Nash
Crue de 30 décembre 1980	Lag&Route géomorphologique	0,34	0,57	0,29	0,73
	Lag&Route simple	0,37	0,58	0,28	0,71
	Onde cinématique	0,32	0,46	0,26	0,89
Crue de 10 janvier 1995	Lag&Route géomorphologique	0,40	0,56	1,00	0,86
	Lag&Route simple	0,48	0,56	1,24	0,81
	Onde cinématique	0,17	0,32	0,75	0,91

#### IV.5 Interprétation des résultats

Au vu des simulations réalisées, on remarque que les résultats sont acceptables, en se référant au critère de Nash, pour les deux événements choisis.

La simulation et la modélisation des relations pluie débit de la partie haute du bassin versant de Sébaou (Oued Diss) a donné des valeurs satisfaisantes de débits simulés, en comparant

ceux observés avec les débits simulés. La modélisation avec la méthode des mailles interactives, a donné un Nash plus important pour les deux événements étudiés. Il a atteint 0.89, pour la crue de 30 décembre 1980 (événement 1), et 0.91 dans le cas de la crue de 10 janvier 1995 (événement 2). On remarque que le transfert des débits d'une maille à une maille adjacente, en incluant les pertes donne de bons résultats.

Les résultats de calage, avec la fonction de transfert onde cinématique, pour les deux événements sont meilleurs, que les autres fonctions de transfert, et représentent quasi-parfaitement l'allure des crues observées. Les paramètres varient d'un événement à l'autre, pour le même bassin, cela est peut être dû, à l'irrégularité spatiale des événements et aux conditions initiales et aux limites des événements.

On remarque que le critère Nash est satisfaisant pour les valeurs de (débits $>100\text{m}^3/\text{s}$ ), et moyen de (0.7-0.86) pour les (débits $<100\text{m}^3/\text{s}$ ).

## **Conclusion**

Les données de départ sont d'une importance majeure, tant que par leur qualité et leur quantité. La disponibilité des cartes de MNT et des événements concordants pluie –débit, ininterrompues semblent être les conditions primordiales et majeures, pour le bon fonctionnement des simulations par le logiciel ATHYS.

L'objectif de ce chapitre est de réaliser la modélisation distribuée des débits extrêmes, dans le bassin versant de Sébaou, et de suivre le comportement hydrologique des événements de crue, en termes de comparaison, en utilisant la relation pluie-débit. Les résultats obtenus ont prouvé que l'utilisation du logiciel ATHYS, ainsi que les modules insérés dans ce logiciel, à savoir MERCEDES, VISHYR et VICAIR, et SPATIAL, semblent être un bon choix pour la modélisation distribuée des événements pluviométriques extrêmes dans le bassin de l'oued Sébaou.

### Conclusion générale

La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants est incontournable, dès lors que l'on s'intéresse aux problématiques relatives à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire, ou à l'une des différentes facettes du risque hydrologique (inondation, sécheresse). Elle est sensée pouvoir décrire de façon fidèle les différentes étapes de la transformation pluie en débit, et en particulier les processus liés à la formation des crues.

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la prévision des événements extrêmes dans le Nord de l'Algérie, qui a pour but de modéliser et de simuler le comportement hydrologique du bassin versant Sébaou. Notre choix est porté sur le modèle distribué ATHYS réalisé par l'IRD (France), qui propose une panoplie de combinaisons de modèles de productions et de transferts afin d'aboutir à des résultats raisonnables.

Le bassin versant du Sébaou constitue un des principaux bassins du grand bassin hydrographique du Nord Algérie, avec une superficie de 2500 Km<sup>2</sup>. En effet, le bassin montre des caractéristiques morpho métriques assez particuliers, favorisant, à priori, le ruissellement de surface. Une forme allongée avec une altitude moyenne de l'ordre de 1200 m. le bassin de l'oued Sébaou a un relief très fort, le climat est caractérisé par l'alternance au cours de l'année de deux saisons à savoir une saison sèche, qui débute à la fin du mois de mai et se termine à la fin du mois de septembre. Elle est caractérisée par une pluviométrie faible et des températures supérieures à la moyenne annuelle 18,30°C et une saison humide, qui débute au mois d'octobre et se termine à la fin du mois de mai. Elle est caractérisée par une pluviométrie importante et des températures situées au dessous de la moyenne annuelle. La précipitation moyenne annuelle enregistrée est de 780 mm/an en 2012.

Dans ce contexte, la modélisation des débits par le logiciel ATHYS qui s'appuie sur les données géographiques et hydro climatiques, peut le comportement hydrologique de bassin versant Oued Sébaou.

Ce modèle est assez complexe, à mettre en oeuvre, car il nécessite une base de données, préparée préalablement et soigneusement, et transformée en formats uniques pour faire tourner les modules insérés dans ATHYS. Cette base de données est constituée de données géographiques (MNT, drainage, délimitation, dépressions, pente, ...etc), et les données hydro climatiques (pluviométriques, hydrométriques).

Nous avons fait une synthèse bibliographiques sur les modèles hydrologiques et les différentes méthodes de prédétermination utilisées, ensuite nous avons procédé à la présentation du modèle choisi Athys et ces composants.

L'efficacité du modèle à simuler les écoulements dans le bassin versant est donnée par l'ampleur du critère de Nash (0.91, 0.89 pour les deux événements avec la fonction de transfert onde cinématique), nous avons enregistré des valeurs satisfaisantes et pour confirmer la robustesse de notre modèle, d'autres critères de performance comme l'écart arithmétique moyen (EAM) et l'écart quadratique Moyen (EQM) ont été utilisé, qui ont donné des valeurs satisfaisantes. Donc, en conclusion, le modèle ATHYS est un modèle performant et efficace pour la simulation des débits maximaux, au pas de temps horaire, dans le bassin versant de Sébaou.

Cependant il réside des anomalies dans la modélisation, du fait de plusieurs hypothèses simplificatrices, les incertitudes liées aux MNT de 84m de résolution, les relations surface et sub-surface ne sont pas prises en compte ; ainsi que l'état initial et les conditions aux limites du système modélisé ; ce sont les imperfections de la modélisation hydrologique.

De ce fait, on recommande de réaliser et comparer des simulations des événements pluie-débit, dans le bassin de Sébaou, en utilisant d'autres modèles de prédéterminations modernes, qui sont plus performants et plus réalistes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Abdi I. (2013)**, prévision des événements extrêmes dans deux bassins versants de L'Est de L'Algérie.

**Alexandra Lequien,(2002)**. Analyse et évaluation des crues extrêmes par modélisation hydrologique spatialisée cas du bassin versant du Vidourle.

**Ballah Abderrahmane, (2014)**, Etude de l'écoulement liquide et solide dans le bassin versant de l'Oued Sébaou (Wilaya de Tizi-Ouzou).

**Bouvier, C., (1994)**. MERCEDES, Maillage Elémentaire Régulier Carré pour l'Etude des Ecoulements Superficiels principes du modèle et notice d'utilisation. Montpellier ORSTOM, 46 p.

**Bouvier, C., Hingray, B. (2001)**. Modélisation des flux inondants dans les voiries d'un secteur urbain d'Ouagadougou (BF). In Nouvelles technologies en assainissement pluvial. Conference international, pp 1011-1014.

**Edijatno, (1991)**. Mise au point d'un modèle élémentaire pluie-débit au pas de temps journalier. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur/ENGEES, Strasbourg, 242 pp.

**Goubanova Katerina, (2007)**. Une étude des événements climatiques extrêmes sur l'Europe et le bassin Méditerranéen et de leur évolution future.

**GRÉSILLON, J.-M., SAUQUET, E., RENARD, B., (2007)** et al. Changement climatique et événements extrêmes: crues, inondations, sécheresses. Que peut-on dire aujourd'hui? Revue Française de Géotechnique, no 120-121, p. 27-34.

**HANGNON, Hugues, DE LONGUEVILLE, Florence, et OZER, Pierre. (2015)** Précipitations 'extrêmes' et inondations à Ouagadougou; quand le développement urbain est mal maîtrisé. In : Actes du 28e Colloque International de l'Association Internationale de Climatologie. Université de Liège, p. 497-502.

**HINGRAY, Benoît, PICOUET, Cécile, et MUSY, André. Hydrologie,(2009)** Une science pour l'ingénieur. PPUR presses polytechniques, 2009.

**Carbonnel Jean pierre, (1999)**.hydrologie fréquentielle. Edition H.G.A, Bucarest.

**LABORDE, J. P (2009).** Eléments d'hydrologie de surface. Université de Nice-Sophia Antipolis. France (204p),

**LANG, Michel, ARNAUD, Patrick, CARREAU, Julie, et al.** Résultats du projet ExtraFlo (ANR 2009-2013) sur l'estimation des pluies et crues extrêmes. La Houille Blanche, 2014, no 2, p. 5-13.

**Mélèse, V., Blanchet, J., and Molinié, G. (2017).** Uncertainty estimation of intensity-duration-frequency relationships: a regional analysis. Journal of Hydrology.

**NASH J.E., SUTCLIFFE J. V. (1970).** RIVER FLOW FORECASTING THROUGH CONCEPTUAL MODELS PART I- A DISCUSSION OF PRINCIPLES\* Journal of Hydrology 10 (1970) 282-290,

**RAGHUNATH, Hassan Manjunath(2006).** Hydrology: principles, analysis and design. New Age International,

**SEGERS, Johan.(2004)** Non-parametric inference for bivariate extreme-value copulas.

**Villeneuve, J. P. (2008).** Les bassins versant- de la science hydrologique à la gestion des eaux, IAHS publication, no 323. IAHS press, Wallingford, UK.

**Yakoub Boussad, (1996),** Le problème de l'eau en Grande Kabylie, le bassin versant du Sebaou et la wilaya de Tizi-Ouzou.

**Yakoub B., (2005).** L'eau dans le bassin versant du Sébaou et la wilaya de Tizi Ouzou. Evaluation, contraintes et recommandations. Thèse de doctorat en Science de l'eau. Université de Tizi Ouzou, 20 - 66 p.

**Site web:**

[https://www.scribd.com/document/320511651/Formation-ATHYS-Manuel-2014,](https://www.scribd.com/document/320511651/Formation-ATHYS-Manuel-2014)