

N° d'ordre :



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université d'Oran2 Mohamed Ben Ahmed



Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement du Territoire  
Département des Sciences de la Terre

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du grade de  
**MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**Option : Hydrosystème et ressources en eau**

**Thème :**

# Étude de la fonction de transfert d'Oued Mouilah

*Présentée par*  
**Mr. Mahi Mohammed Medjahed**

Soutenu le : 03/ 07 / 2023 devant la commission d'examen :

<b>Mr. BOUZID Rabah</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Univ. d'Oran2</b>	<b>Président</b>
<b>Mme. BAKHTI Amal</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Univ. d'Oran2</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Mme. Khadija</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Univ. d'Oran2</b>	<b>Examineur</b>

Oran, 2023

# Dédicace

Je dédié cet ouvrage à

**Ma chère mère (Mon enseignante de primaire) et Mon cher père**

Qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir durant ces années d'études pour que je puisse atteindre mes objectives.

**Mes frères et mes sœurs (Rahma - Aboubakr – Hamza – Dikra –Ikhlas)**

Pour ses sentiments morales et leur conseils précieux tout au long de mes études

**Mes amis et mes collègues**

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et réussite

Mohammed Medjahed Mahi

## **Remerciement à**

### **Ma chère mère (Mon enseignante de primaire) et Mon cher père**

إن قلت شكراً فشكري لن يوفيكم، حقاً سعيتم فكان السعي مشكوراً، إن جفت حبري عن التعبير يكتبكم قلبُ به صفاء الحب  
تعبيراً.

### **Mon Professeur Bakhti Amal**

J'ai eu l'honneur d'être parmi vos élèves et de bénéficier de votre riche enseignement. Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour moi un modèle. Votre gentillesse, et votre disponibilité permanente ont toujours suscité mon admiration. Veuillez bien madame recevoir mes remerciements pour l'implication, le soutien et l'encouragement tout au long de ce travail et surtout j'ai le grand honneur que vous m'avez fait d'accepter l'encadrement de ce travail.

### **A Mes Amies et Mes Collègues**

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur

# Sommaire

Dédicace .....	
Remerciement .....	
Sommaire.....	
Liste des Figures.....	
Liste des tableaux .....	
Introduction générale .....	1

## Chapitre I

### Considération de générale

I.1. Cadre géographique.....	3
I.2. Synthèse sur la géologie du bassin étudié .....	4
I.2.1. Cadre géologique.....	4
I.2.2. Caractéristiques géologiques du bassin d'Oued Mouilah .....	6
I.3. Synthèse structurale.....	10
I.4. Réseau hydrographique de bassin .....	11
I.5. Sols végétation .....	13
I.6. Synthèse climatique .....	14
Conclusion partielle.....	15

## Chapitre II

### Écoulement superficiel et Fonction de transfert

II.1. Écoulement superficiel en hydrologie .....	17
II.2. Différent type de fonction des écoulements.....	17
A. L'écoulement de surface .....	17
B. L'écoulement de subsurface .....	18
C. L'écoulement souterrain .....	18
D. Ecoulement dû à la fonte des neiges .....	19
II.3. Fonction de transfert .....	19
1. C'est quoi une fonction de transfert .....	19
2. Les méthodes de fonction de transfert.....	20

## Chapitre III

### Hydrogramme unitaire et Application

III.1. Hydrogramme unitaire.....	22
III.2. Pluie nette .....	22
III.3. Séparation des écoulements.....	23
III.4. La convolution d'écoulement.....	23
III.5. Application & synthèse .....	24
A. Détermination de l'Hydrogramme Unitaire Normé à 10 mm.....	24
B. Déterminer la courbe en S du bassin versant. ....	26
C. Détermination de l'Hydrogramme Unitaire Normé pour une durée $T$ de 1 heure et un volume de 1 mm .....	27
D. Calcul de l'hydrogramme de ruissellement de la pluie nette proposée .....	27
Conclusion générale .....	30
Références bibliographiques.....	32

## Liste des Figures

<b>Figure 1:</b> (A) : Localisation du bassin versant de l'Oued Mouilah au niveau de la Tafna (Ghenim, 2000). (B) : Les principaux cours d'eau du bassin versant de la Tafna (ANRH, 1999). (C) : Cadre géographique générale de la région d'étude (In Guettaia, 2007) .....	3
<b>Figure 2:</b> Carte géologique du bassin versant de l'Oued Mouillah (In Guettaia,2007) .....	5
<b>Figure 3:</b> Log stratigraphique du bassin versant d'Oued Mouilah .....	9
<b>Figure 4:</b> Schéma structurale de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale.....	10
<b>Figure 5:</b> Réseau hydrographique Le bassin versant de l'oued Mouilah (Ghenim 2008) .....	11
<b>Figure 6:</b> courbe hypsométrique de bassin d'oued Mouilah .....	12
<b>Figure 7:</b> Distribution du couvert végétal dans le bassin d'oued Mouilah (Bouanani 2004) .....	13
<b>Figure 8:</b> Climat général du secteur étudié (Bakreti, 2014) .....	14
<b>Figure 9:</b> Hyétoqramme pour le basin étudié / Séparation des écoulements / Calcul de la pluie nette par la méthode de l'Indice Phi .....	25
<b>Figure 10:</b> Hydrogramme Unitaire Normé.....	26
<b>Figure 11:</b> Courbe en S du bassin étudié et courbe en S "lissée" .....	26
<b>Figure 12:</b> Exemple de calcul de l'hydrogramme de ruissellement de la pluie nette proposée ....	27
<b>Figure 13:</b> Calcul de l'hydrogramme de ruissellement de la pluie nette proposée .....	28

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Quelques Paramètres morphométriques du sous-bassin versant de l'Oued Mouilah (Bouanani, 2004).....	11
<b>Tableau 2:</b> Répartition hypsométrique du bassin d'oued Mouilah (Bouanani 2004) .....	12

# **Introduction générale**



### **Introduction générale**

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. Aussi est – il nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible, Si les ressources en eau de surface doivent être mobilisées pour les différents besoins (agriculture, implantations de barrages et de retenues collinaires) en revanche et en raison des méthodes inadaptées actuellement utilisées, elles posent un problème majeur lorsqu'il s'agit de quantifier rigoureusement les éléments du bilan hydrique et cerner les problèmes de recharges des aquifères

Dans le cadre de cette nouvelle orientation, nous espérons apporter une contribution utile grâce à l'étude hydrologique d'un bassin bien représentatif de l'Ouest algérien le bassin versant de Mouilah.

A part l'introduction générale et la conclusion, notre mémoire s'organise autour de trois (03) chapitres :

#### **Chapitre 1 : Considérations générales**

Ce chapitre est réservé à la présentation du bassin versant de Zio dans son cadre climatologique, géologique et géomorphologique ; ainsi qu'à la situation géographique.

#### **Chapitre 2 : Écoulement superficiel et Fonction de transfert**

Il est dédié à la définition et à l'explication de la qualité supérieure de l'hydrologie. Et mentionnez également ses types

#### **Chapitre 3 : Hydrogramme unitaire et Application**

Ce chapitre est consacré sur représentation graphique de l'écoulement d'un bassin hydrologique Nous avons également réalisé des applications sur le bassin étudié

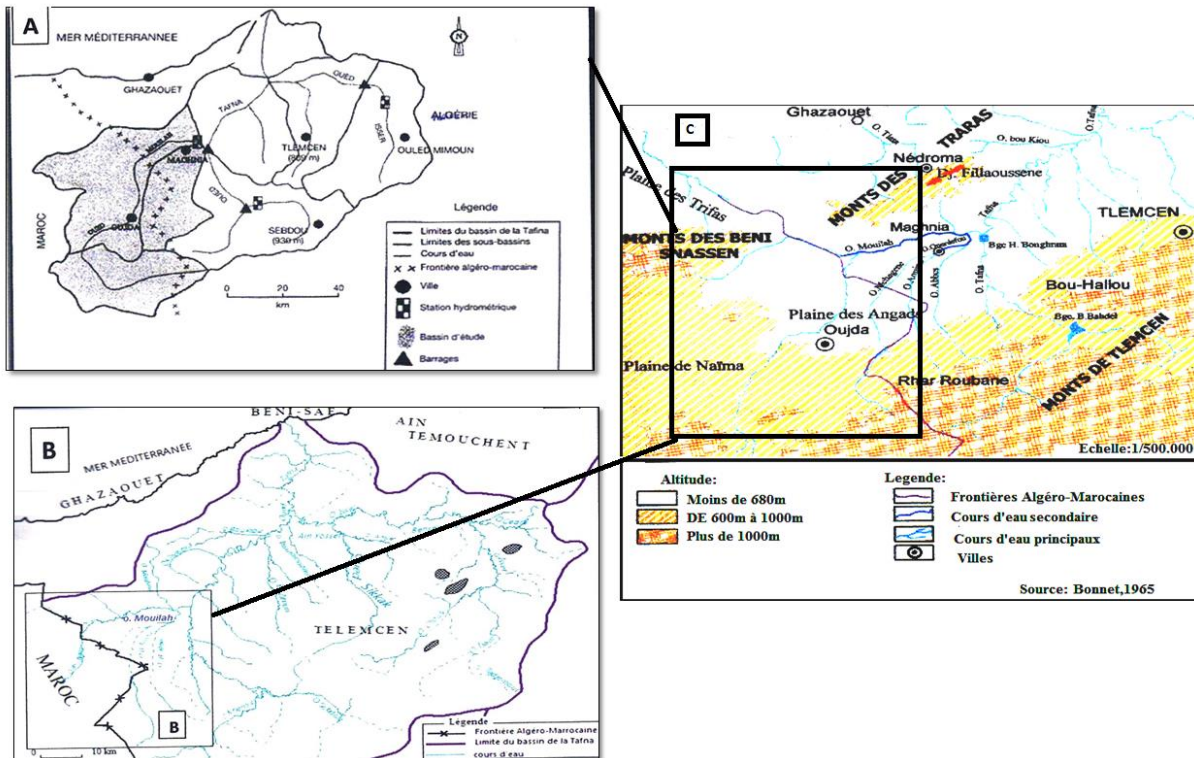
# **Chapitre I**

## **Considération de générale**

I.1. Cadre géographique

Le bassin d'Oued Mouillah, objet de notre étude, fait partie du bassin versant de la Tafna. Il est situé au niveau de la rive gauche de la moyenne Tafna.

Le bassin versant de l'Oued Mouillah (**figure1**) s'étale sur une superficie de **2650 km<sup>2</sup>** pour un périmètre de **230 km**. Une bonne partie de cette surface se trouve dans le territoire Marocain Son cours d'eau, long de **124 km**, prend naissance dans la région d'El Abed en Algérie à **1250 m** d'altitude. Il pénètre au Maroc pour s'appeler tantôt Oued Isly tantôt Oued Bou Naïm puis revient en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation d'Oued Mouillah. Il draine un bassin constitué de zones très hétérogènes formées de montagnes (les monts des Traras au nord-ouest et ceux de Tlemcen au sud), de plaines et de vallées.



**Figure 1:** (A) : Localisation du bassin versant de l'Oued Mouillah au niveau de la Tafna (Ghenim, 2000). (B) : Les principaux cours d'eau du bassin versant de la Tafna (ANRH, 1999). (C) : Cadre géographique générale de la région d'étude (In Guettaia, 2007)

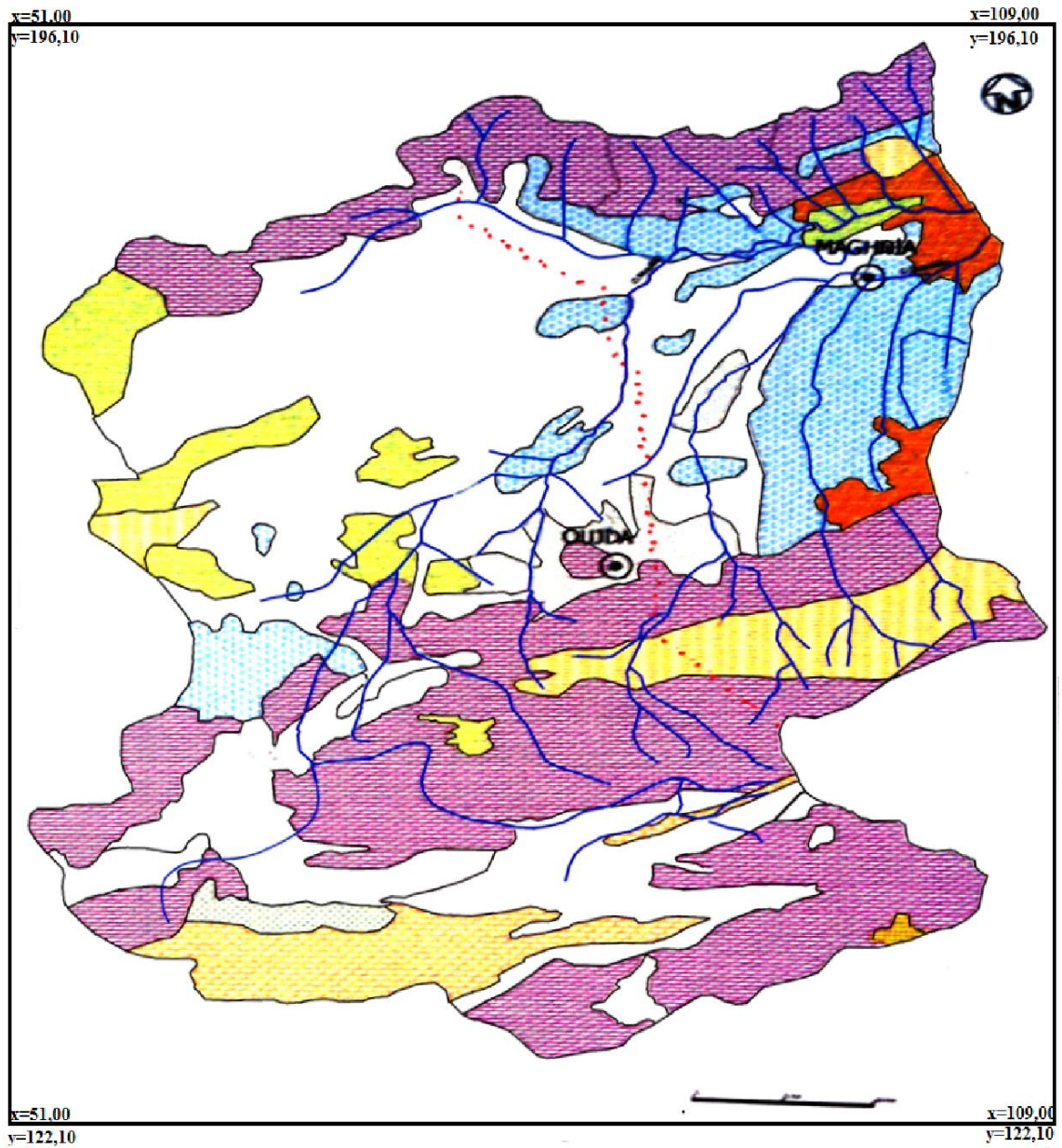
## I.2. Synthèse sur la géologie du bassin étudié

### I.2.1. Cadre géologique

Le bassin étudié traverse la plaine de Maghnia qui couvre une étendue d'environ **351km<sup>2</sup>**. Elle se situe au Nord Ouest de l'Algérie, entre les Monts de Tlemcen (Rhar-Roubaine) au Sud et les Traras au Nord (Djebel Fellaoucène). Elle est bordée à l'Est par Djebel Tefaisset et à l'Ouest, elle se prolonge par la plaine des Angads au Maroc (**figure 2**).

Deux Oueds principaux traversent la plaine de Maghnia :

- ❖ Oued Ouarefou : bassin versant qui s'étend sur une superficie de **612km<sup>2</sup>** avec une altitude moyenne de **676m**.
- ❖ Oued Mouilah : notre partie d'étude dans le territoire Algérien, il s'étend depuis la chaîne de montagnes occidentales des Monts de Tlemcen, constituant le point culminant, au versant Nord des Monts de Traras à Nedroma. Encerclé, au Sud comme au Nord Ouest par une série de Djebels élevés (Sidi Djillali à **1711m**, Debagh à **1488m** et Sidi Aissa à **1333 m** ). L'allongement du bassin étudié se fait selon la direction Sud-Est au Nord-Ouest.



**Legende**

- |  |  |                             |
|--|--|-----------------------------|
| aluvions récentes                                  | Jurassique carbonaté( marno-calcaires et dolomies) | Frontière Algéro-Marocaine. |
| Quaternaire continental                            | Carbonifère viséen                                 | Cours d'eau principaux.     |
| Pliocène continental( poudingue et calcaire)       | Primaire( grès sombres, micachistes et gneiss)     | Cours d'eau secondaires.    |
| Miocène( Marnes et argiles griseuses)              | Roches volcaniques                                 | Villes                      |
| Crétacé marin inférieur (grès, calcaires, argiles) |  | Barrages                    |

Source : in A.Clair, in INRA 1973, in BABA Hamed.K (2000)

Figure 2: Carte géologique du bassin versant de l'Oued Mouillah (In Guettaia,2007)

### I.2.2. Caractéristiques géologiques du bassin d'Oued Mouilah

La bassin versant d'Oued Mouilah (patrie Algerienne) occupe une grande partie de la plaine de Maghnia, mais aussi une partie des Monts de Tlemcen et des Monts de Traras.

Ceci nous amène à décrire la série stratigraphique caractérisant exclusivement cette vaste zone qui va du Silurien schisteux au Plio-quadernaire alluvionnaire (**figure 3**). La série stratigraphique comporte les éléments en de ça :

#### A. Le Pléozoïque

C'est une formation schisto-quartzique d'âge Silurien à Dévonien, il s'agit d'une formation plissée recouvrant une grande surface. A Ghar-Roubane ; les schistes et les quartzites Pléozoïque forment les noyaux des plissements. Les schistes sont de couleur brune à rougeâtre alternés avec des bancs décimétriques très compacts de quartzites. Ces bancs de quartzites sont de couleur grisâtre à rougeâtre (Baba Hamed, 2001).

#### B. Le Mésozoïque :

**Trias** : représenté par des argiles plus ou moins dolomitiques et gypseuses et des marnes bariolées fortement teintées. Cette formation de Trias est traversée par des pointements d'Ophites d'âge plus récent (Jurassique ou Crétacé) que la formation s'accompagnant d'un léger métamorphisme (Baba Hamed, 2001). On y distingue :

- Un mélange des blanchâtres et des argiles
- Des roches vertes avec un aspect à l'affleurement
- Des calcaires dolomitiques noirâtres à la patine, grisâtre à la cassure et à structure brichoïdes.

**Jurassique** : caractérisé par les séries du Lias visibles au niveau de Ghar-Roubane, on y distingue du bas vers le haut :

**Lias inférieur** : représenté par les massifs de calcaires Karstifiés surmontés par des marnes vertes à rouges. Cette formation a une épaisseur moyenne de **200m**, elle est localisée au niveau de Sidi Yahia Ben Sefia.

**Lias moyen** : représenté par les « calcaires de Ayech » d'âge carixien à domérien, d'épaisseur moyenne de **200m**. Cette formation commence par un calcaire biodétritique rougeâtre à élément bréchiques, ces éléments ont une taille millimétrique à centimétrique provenant des écueils primaires proches. Par endroit, on y rencontre des lamellibranches pêle-mêle à épais (Lithiotis et Opisomo). Le haut de cette formation est touché par une dolomitisation

secondaire qui donne l'aspect massif aux bancs. Ces bancs sont aussi affectés par des sylothes des à la compaction (Baba Hamed, 2001).

**Lias supérieur** : représenté par

\***Toarcien** : (marno-calcaire de Khorchef), d'épaisseur moyenne de 14m. Cette formation est composée par des alternances des marnes et des calcaires (Bouanani, 2004).

\***Aaléno-Bajocien** : (Dolomies de Deglène) d'épaisseur moyenne de **26m**, représenté par des bancs décimétriques de calcaires oolithiques surmontés par des dolomies massives bégées et cristallines .

**Jurassique moyen** : représenté par

\***Bathonien inférieur et moyen** : cette formation montre une variation d'épaisseur et de faciès. Elle est représentée des calcaires se forme de bancs centimétriques à décimétriques gris foncés à verdâtres, affleurant aux Monts de Ghar-Roubane.

\***Calovo-Oxfordien** : ( Argile de Saïda) d'épaisseur variable qui dépasse. Cette formation correspond à des dépôts d'argiles et marnes, parfois des schistes à passées gréseuses. Elle offre parfois des transitions assez progressives aux grés de Boumediene .

**Jurassique supérieur** :

\***Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur** (Grés de Boumediene) c'est un ensemble à dominances gréseuses, avec passées argileuses masquées le plus souvent par des éboulis ou la végétation. Ces grés se caractérisent par un ciment calcaire, ils sont représentés par des bancs durs, leur épaisseur est variable ou elle peut atteindre les **500m**. Ils sont de couleur brune, ferrugineux en surface et blanc roux parfois grisâtre à la cassure.

\***Kimméridgien supérieur** : formé par les calcaires des Zarifet qui surmontent les grés de Boumediene. Ce sont des bancs de calcaires séparés par des minces presque partout, la base très nette du Kimméridgien et reposent directement en concordance sur les grés formant les falaises des environs de Tlemcen.

\***Tithonique inférieur** : (Dolomies de Terny) cette formation est composée par des dolomies vacuolaires avec de nombreuses stratifications obliques et un aspect très massif, qui permet de bien les distinguer des Dolomies de Tlemcen.

\***Tithonique supérieur** (marno-calcaire de Hariga) c'est une alternance de calcaires et de marnes plus ou moins tendres, il s'agit des micrites bien litées à une couleur grise claire à la patine. Elles sont bien exposées au niveau de Djebel Hariga.

**Le Cénozoïque** :le Cénozoïque dans notre zone d'étude est représenté par le Miocène.

**Miocène inférieur** (Burdigalien) :cette formation débute par un niveau de poudingues très dur,avec des blocs de calcaire dolomitique à ciment cacareo-gréseus.Ces blocs sont bien roulés,hétérométrique et polygénique. La partie supérieur est formé par un ensemble d'une épaisseur de 100m, qui est constitué par des argiles marneuses à couleur verdâtre, au sien desquelle s'intercalent des bancs décimétrique de grés ferriginuex friable.

Le Miocène est bien marqué dans la Tafna,essentiellement , entre la vallée de l'Oued Zitoun et le Djebel Fillaoucène.

**Miocène moyen**(Serravallien) :repose en discordance sur le Miocène inférieur,déformé partiellement érodé.Il est formé par une série d'argiles marneuses épaisse avec une couleur grise ou bleutée,qui par altération deviennent ocre. Au sien de cette série, l'épaisseur peut atteindre les **300m** dans la vallée d'Oued Isser,s'intercalent de nombreux bancs décimétrique de grés jaunes, plus fréquent au sommet de la série.Le bassin de la Tafna est formé par la base de Serravallien,elle est composée par un niveau discontinu de poudingue relativement peu consolidés à ciment argilo-gréseux, bien représenté à **4km** à l'Est de Hammam Bouhrara.

**Miocène supérieur** :(Tortonien) :il s'agit des dépôts de grés durs,jaunes d'or ou citron, peu consolidé attignant **20** à **30m** d'épaisseur. Ces grés s'appuient sur le Jurassique comme le cas au Nord et au Sud de la plaine de Maghnia, ou sur les marnes Serravalliennes comme entre Tlemcen et Remchi.

**Le Plio-Quaternaire** :cette formation est formée par des sédiments continentaux d'âge reletivement comparable et de nature variable. Cette formation est composée par une série de dépôts discontinus formés par des éléments hétérométriques et hétérogènes.On y rencontre les faciès suivantes :

- Des marnes avec peu ou pas de galets, plus ou moins tufeuses, parfois très épaisses surtout au niveau du bassin de l'Oued El Abbés(affluent d'Oued Mehaguène ;plaine de Maghnia).
- Les limons,sables et graviers récent qui s'étendent entre Oued Mehaguène et Châabet El Arneb au Nord-Est de la frontière Algéro-marocaine.Les limons ont une couleur jaune avec des couches rougeâtres et à leur base se trouvent les galets en lits.
- Quelques lambeaux de basaltes interstratifiés, témoin d'une activité volcanique.Ils sont situés au Nord-Ouest de la plaine de Maghnia.



Âge d'après les anciens auteurs (Doumergue_Lucas)	Coupe	Formations	Âge d'après les auteurs récents (Benest)
Plio-quaternaire		Fluvio-lacustre	Plio-quaternaire
Miocène		Marnes et grès	Miocène
Kimmeridjien sup.		Dolomies de Terny	Tithonique
Kimmeridjien moy.		Marnes calcaires de Raourai	Tithonique inf.
Kimmeridjien inf.		Dolomies de Tlemcen	Kimmeridjien sup.
Lusitanien		Grès de Boumediene	Oxfordien supérieur - Kimmeridjien supérieur
Callovo-oxfordien		Argiles de Saida	Callovo-oxfordien
Jurassique moyen		Calcaires	
Jurassique inférieur (Lias)		Calcaires	
Permo-trias		Formation détritiques gypsifères	Permo-trias
Paléozoïque		Schistes et quartzites	Paléozoïque

100m

Figure 3: Log stratigraphique du bassin versant d'Oued Mouilah (in Djellouli et Marghrous, 1996)

I.3. Synthèse structurale

Le bassin versant de l'Oued Mouilah est dominé par les sols calcaires. Des vertisols (USDA, 1978; FAO, 1990) qui longent son thalweg principal et se prolongent au nord-est des monts des Traras et aux piémonts des monts de Tlemcen. Il comporte aussi des formations calcaïques peu profondes (luvisols) et des terrains alluviaux (fluvisols) développés dans la partie nord de la plaine de Maghnia. La partie sud de la plaine comprend des sols rouges (arénosols) à encroûtement formés de marnes salifères du Miocène.

De la superficie du bassin, 49% sont constitués de terrains généralement nus localisés dans sa partie ouest (Figure. 4). Dans le reste du bassin, on retrouve une culture extensive (21% de la surface), un couvert forestier normal (14% de la surface) et des terrains de parcours. (Ghenim,2008)

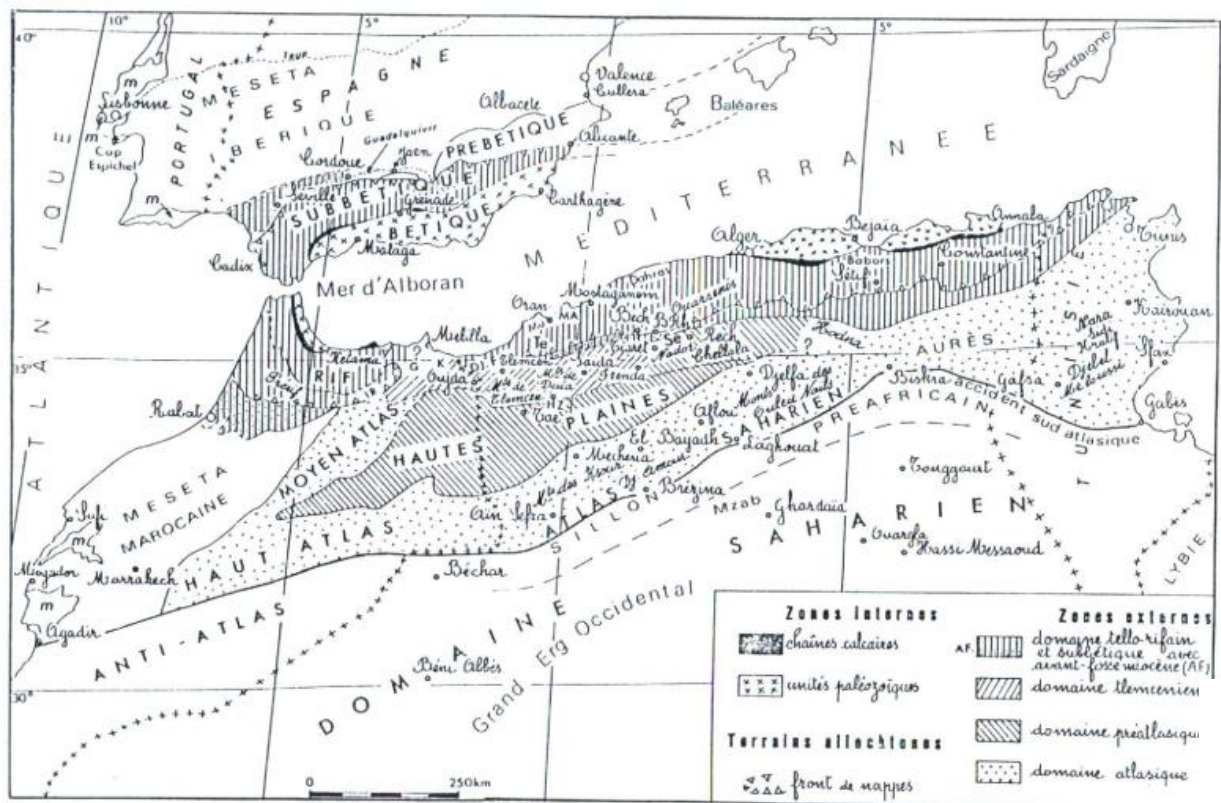
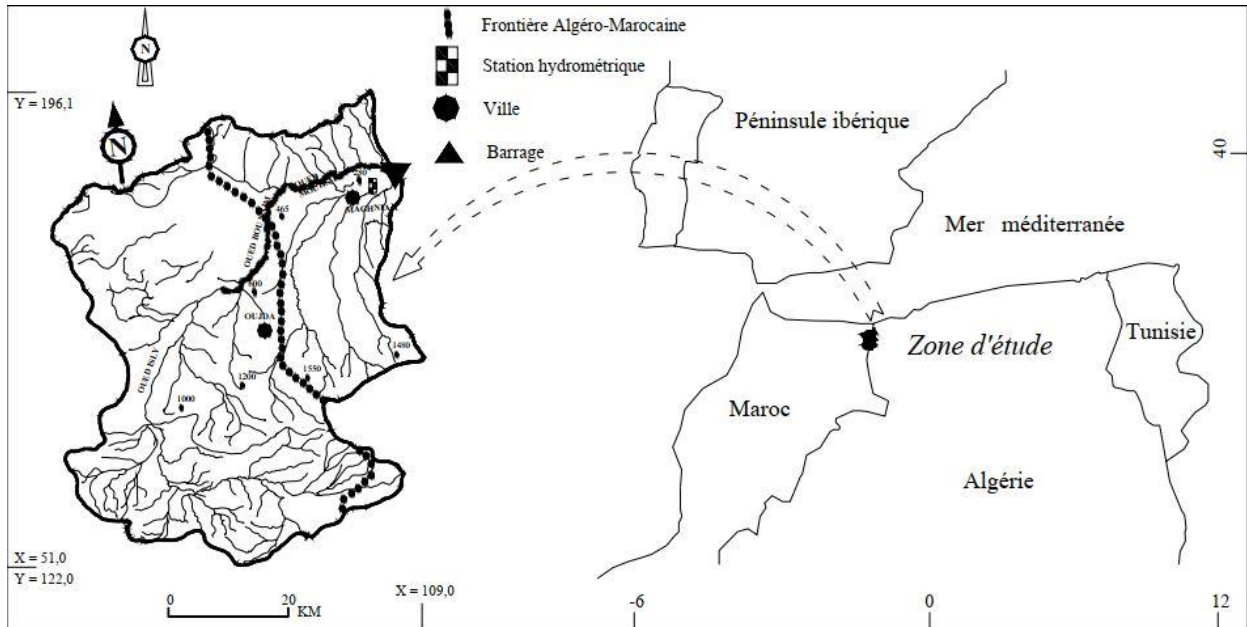


Figure 4: Schéma structurale de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale

**I.4. Réseau hydrographique de bassin**

Le bassin de l'oued Mouilah occupe une superficie de **2650 km**. Dont la majeure partie se trouve sur le territoire marocain couvrant les plaines des Angads et de Maghnia. Le relief assez varié est constitué de zones de montagnes, de plaines et de vallées. La longueur du thalweg principal est de **124 km**.



**Figure 5:** Réseau hydrographique Le bassin versant de l'oued Mouilah (Ghenim 2008)

Ce bassin a une forme moyennement allongée le tableau.1 justifie cela par une valeur de Kc de 1.25, le rapport de longueur moins important d'où une densité de drainage moins importante 0.16, d'un réseau hydrographique mal hiérarchisé, la dénivelée spécifique est de **566m**, d'où le relief est très fort.

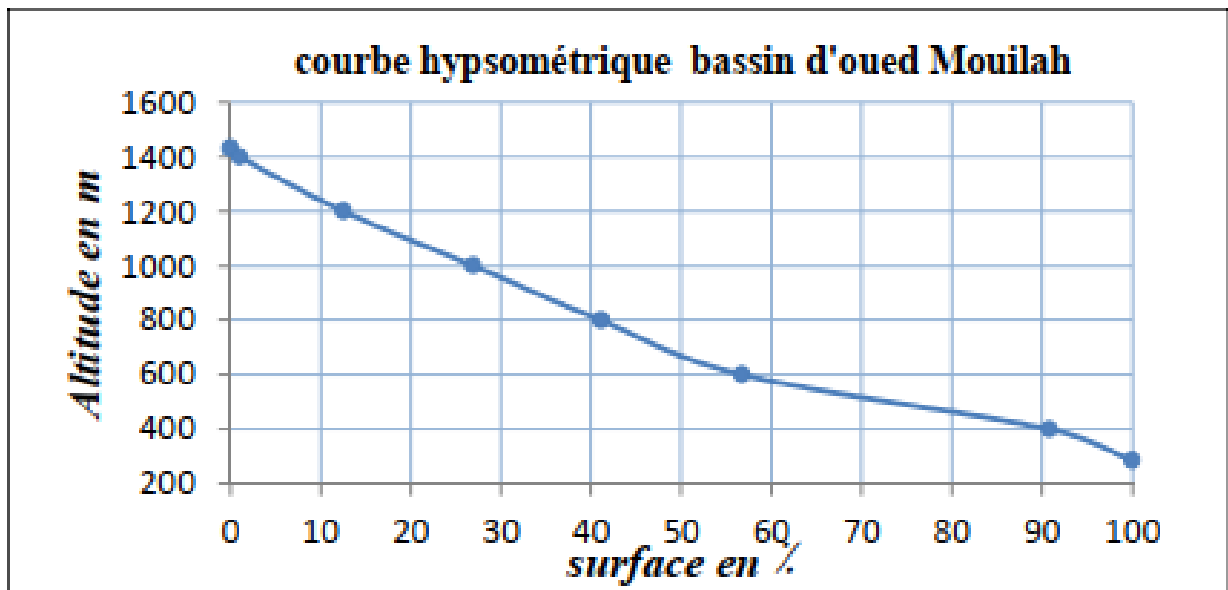
**Tableau 1:** Quelques Paramètres morphométriques du sous-bassin versant de l'Oued Mouilah (Bouanani, 2004)

Paramètre de forme	Superficie Km <sup>2</sup>	Périmètre km	Coefficient de compacité de Gravelius Kc
<b>2650</b>	<b>230</b>	<b>1.25</b>	
Paramètre morphométrique	Densité de drainage (Dd)	Rapport de confluence (Rc)	Rapport de longueur (R/L)
<b>0.16</b>	<b>3.88</b>	<b>2.34</b>	
Paramètre de relief	Indice de pente (Ip)	Indice de pente globale (Ig)	Coefficient de Torrentialité (CT)
<b>1.16</b>	<b>0.011</b>	<b>0.0032</b>	<b>20 h 30 mn</b>

La forme de la courbe hypsométrique (**Tab 2 et fig. 6**), présente un l'état équilibre du bassin et donc un potentiel érosif moyen.

**Tableau 2:** Répartition hypsométrique du bassin d'oued Mouilah (Bouanani 2004)

Tranches d'altitudes	% Ai cumulés
1430-1400	0.98
1400-1200	12.53
1200-1000	26.91
1000-800	41.06
800-600	56.7
600-400	90.81
400-285	100



**Figure 6:** courbe hypsométrique de bassin d'oued Mouilah

### I.5. Sols végétation

D'une manière générale, les sols dans ce bassin sont constitués par :

- Les sols calcaires qui longent l'oued Mouilah et se prolongent au Nord-Est des monts des Traras et aux piémonts de Tlemcen. On y trouve généralement une végétation herbacée.
- Les sols calciques : caillouteux et peu profonds, ils se développent surtout le long de la vallée d'oued Mouilah.
- Les sols alluviaux constitués principalement de sols calcaires lourds recouvrant les basses terrasses et les lits des oueds. Ils sont localisés au Nord de la plaine de Maghnia.
- Les sols rouges à encroûtement : ces sols formés de marnes du Miocène, couvrent une grande partie de la plaine de Maghnia où l'on rencontre une culture extensive irriguée. La distribution du couvert végétal (tableau 18), montre que la moitié de la superficie du bassin de l'oued Mouilah est constitué de terrains nus, localisés au Sud (fig.7b). Ces terrains susceptibles d'être transpercés par l'effet de pluies violentes, correspondent à une zone plate à pente inférieure à 5%. L'autre partie du bassin se trouve suffisamment couverte pour résister aux menaces érosives

Occupation des sols	Surface (ha)	% des surfaces
<b>Cultures extenssives</b>	57 200	21,58
<b>Couvert forestier dégradé</b>	9 500	3,58
<b>Couvert forestier normal</b>	39 000	14,72
<b>Arboriculture</b>	1 200	0,45
<b>Couvert mort</b>	131 000	49,43
<b>Prairies et terrains de pacage</b>	27 100	10,23

*Figure 7: Distribution du couvert végétal dans le bassin d'oued Mouilah (Bouanani 2004)*



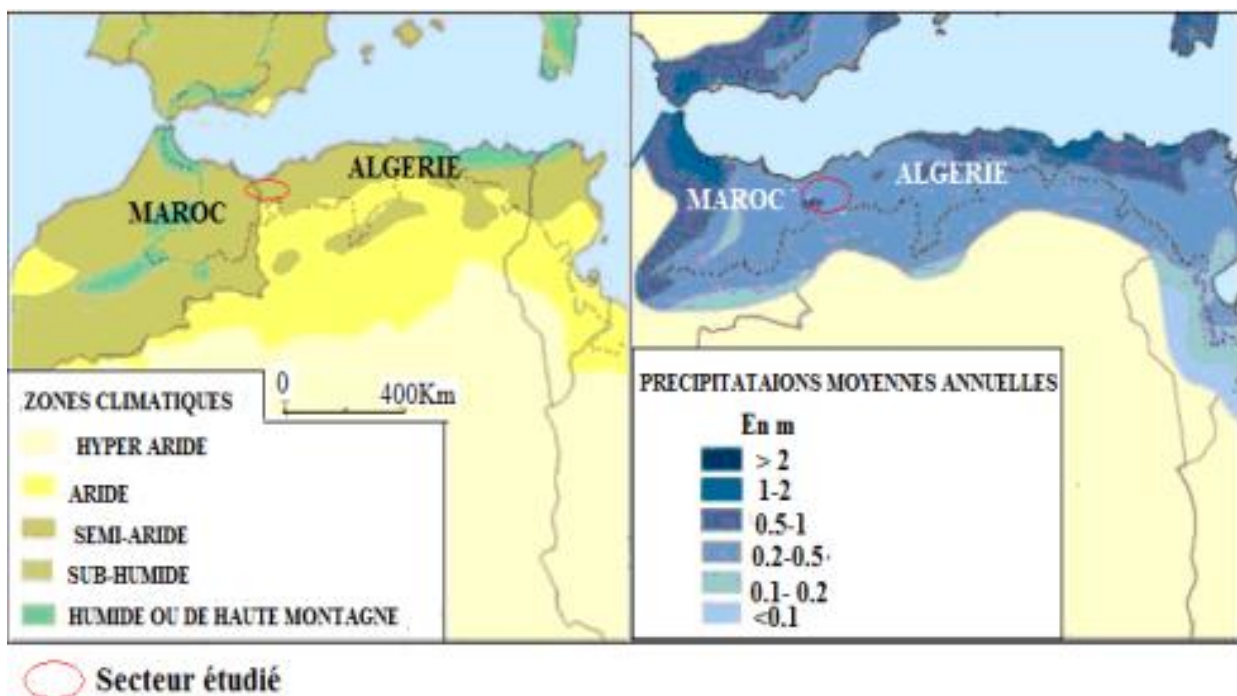
### I.6. Synthèse climatique

D'après l'étude des paramètres climatiques il ressort que notre région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences méditerranéennes (**Figure. 7**). Ce climat est remarqué par un hiver pluvieux et un été sec.

A l'échelle annuel ; l'étude montre que cette région est caractérisée par deux périodes ; l'une sèche allant du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre et l'autre humide allant de mois d'Octobre jusqu'à le mois d'Avril.(Benhoudga,2009)

Le bassin versant de la Haute Tafna se caractérise par un climat semi-aride. La température moyenne annuelle est de 17°C. Les températures minimales sont enregistrées en janvier, de l'ordre de 5°C, les maximales atteignent les 34°C<sup>2</sup> en juillet et août. Les hauteurs annuelles des précipitations sont relativement faibles avec une moyenne de 435 mm (1978-1998).

Le sous bassin versant d'oued Mouilah se caractérise par un climat semi-aride. Les températures annuelles ont pour moyenne 17°C et varient entre 10 et 24°C pour la moyenne des minima et des maxima. Les précipitations sont relativement faibles, avec une moyenne annuelle de **357 mm** (1970-1998).



*Figure 8: Climat général du secteur étudié (Bakreti, 2014)*

### **Conclusion partielle**

La plaine de Maghnia est une cuvette allongée selon une direction ENE-WSW comblée par des dépôts provenant d'érosion des montagnes bordières (Rhar-Roubane et Djebel Fillaoucène).

Du point de vue stratigraphique, on distingue d'une part, les formations Primaires et Secondaires qui constituent les reliefs et d'autre part, les terrains Néogènes et Quaternaires qui forment la plaine de Maghnia.

Le type des formations géologiques qui affleurent dans le bassin versant de l'Oued Mouilah a une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, la lithologie joue un rôle important sur le ruissèlement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grés, calcaires). La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface et le type des dépôts alluvionnaires.

L'analyse climatique, nous a permis de faire une synthèse des paramètres climatologiques qui nous ont conduits à certifier que le climat régnant sur le bassin versant de l'Oued Mouilah est de type semi-aride. (Benhouidga,2009)

# **Chapitre II**

## **Écoulement superficiel et Fonction de transfert**



## **II.1. Écoulement superficiel en hydrologie**

L'écoulement superficiel est un phénomène hydrologique qui se produit lorsqu'une quantité d'eau excédentaire sur la surface terrestre ne peut pas être absorbée par le sol et s'écoule à la surface. Ce type d'écoulement est courant lorsqu'il pleut abondamment ou lorsque la fonte des neiges produit une grande quantité d'eau.

L'eau qui s'écoule à la surface peut suivre différents chemins : elle peut couler sur des pentes naturelles ou artificielles, suivre des canaux ou des ruisseaux, s'infiltrer dans des zones humides ou des lacs, ou finir par s'évaporer. L'écoulement superficiel est influencé par de nombreux facteurs, tels que la topographie, la végétation, la géologie et la météorologie.

En hydrologie, l'écoulement superficiel est un élément clé pour comprendre les phénomènes de ruissellement et d'inondation. Les modèles hydrologiques permettent de simuler et de prévoir l'écoulement superficiel en fonction des caractéristiques de la zone étudiée et des conditions météorologiques. L'étude de l'écoulement superficiel est donc importante pour la gestion de l'eau et la prévention des risques naturels.

## **II.2. Différent type de fonction des écoulements**

### **A. L'écoulement de surface**

Lorsqu'il pleut, une partie de l'eau est interceptée par la végétation, mais le reste est disponible pour l'écoulement au niveau de la surface du sol. Cette eau peut suivre deux voies distinctes :

**Infiltration** : Une partie de l'eau s'infiltré dans le sol et traverse les différentes couches du sol plus lentement. Cette eau infiltrée contribue à la recharge de la nappe phréatique et au débit de base, qui est le débit soutenu par l'écoulement de la nappe phréatique.

**Ruissellement de surface** : Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration du sol, l'eau en excès s'écoule par gravité le long des pentes. Ce ruissellement de surface constitue l'essentiel de l'écoulement rapide de crue.

L'écoulement par dépassement de la capacité d'infiltration du sol, également connu sous le nom d'écoulement Hortonien, est considéré comme pertinent pour expliquer la réponse hydrologique des bassins versants en climats semi-arides et lors de fortes intensités pluviométriques. Même dans des sols naturels présentant une conductivité hydraulique élevée dans les climats tempérés et humides, il est admis que la capacité d'infiltration peut être inférieure aux intensités maximales des précipitations enregistrées.

Cependant, il est fréquent d'observer des crues pour des pluies d'intensité inférieure à la capacité d'infiltration des sols. Dans ces cas, d'autres processus, tels que l'écoulement sur des surfaces saturées en eau, expliquent la formation des écoulements. Les zones de sol peuvent être saturées soit par la contribution de l'eau de subsurface restituée par exfiltration depuis une nappe perchée, soit par la contribution directe des précipitations tombant sur ces surfaces déjà saturées.

Ainsi, il existe deux principaux modes d'écoulement de surface qui peuvent se combiner : l'écoulement par dépassement de la capacité d'infiltration (écoulement hortonien) et l'écoulement sur les surfaces saturées.

### **B. L'écoulement de subsurface**

Une partie des précipitations qui pénètre dans le sol s'écoule horizontalement dans les couches supérieures du sol et réapparaît à l'air libre lorsque l'eau rencontre un chenal d'écoulement. Cet écoulement de subsurface, qui peut contribuer rapidement à l'augmentation du débit lors d'une crue, est appelé écoulement de subsurface.

L'importance de cette fraction du débit total qui emprunte la voie subsuperficielle dépend principalement de la structure du sol. Lorsqu'il existe une couche relativement imperméable à faible profondeur, cela favorise ce type d'écoulement. Les caractéristiques du sol jouent un rôle déterminant dans l'importance de l'écoulement hypodermique, qui peut être significatif.

L'écoulement de subsurface a tendance à ralentir le cheminement de l'eau et à prolonger la durée de l'hydrogramme, c'est-à-dire la variation du débit dans le temps lors d'une crue.

### **C. L'écoulement souterrain**

Lorsque la zone d'aération du sol contient une humidité suffisante pour permettre une percolation profonde de l'eau, une fraction des précipitations atteint la nappe phréatique. Cet apport d'eau souterraine dépend de la structure et de la géologie du sous-sol, ainsi que du volume de précipitations. L'eau traverse ensuite l'aquifère à une vitesse allant de quelques mètres par jour à quelques millimètres par an avant de se déverser dans les cours d'eau. Cet écoulement, qui provient de la nappe phréatique, est appelé écoulement de base ou écoulement souterrain.

L'écoulement de base ne contribue qu'à une faible part de l'écoulement des crues en raison des vitesses d'écoulement relativement faibles de l'eau dans le sous-sol. De plus, il n'est pas nécessairement associé au même événement pluvieux que l'écoulement de surface et est généralement influencé par les précipitations antérieures. L'écoulement de base joue un rôle important en maintenant un débit régulier des rivières en l'absence de précipitations et en soutenant

les débits d'étiage (basses eaux) (notez cependant que l'écoulement souterrain dans les régions karstiques peut faire exception à cette règle).

#### **D. Ecoulement dû à la fonte des neiges**

Le processus de fonte des neiges entraîne la libération d'eau provenant de la fonte de la neige ou de la glace, notamment des glaciers, des icebergs et des plates-formes de glace au-dessus des océans. Ce processus de fonte des neiges peut provoquer la remontée des nappes phréatiques et la saturation du sol, ce qui contribue de manière significative à l'écoulement des eaux de surface.

Lorsqu'une crue est provoquée par la fonte des neiges, son intensité et son déroulement dépendront de plusieurs facteurs. Il est important de considérer l'équivalent en eau de la couverture neigeuse, c'est-à-dire la quantité d'eau contenue dans la neige. Le taux et le régime de fonte, c'est-à-dire la vitesse à laquelle la neige fond et le modèle de fonte observé, auront également un impact significatif sur la crue résultante. Enfin, les caractéristiques de la neige, telles que sa densité et sa répartition spatiale, peuvent également influencer l'ampleur de l'écoulement de surface résultant de la fonte des neiges.

### **II.3. Fonction de transfert**

#### **1. C'est quoi une fonction de transfert**

La fonction de transfert en hydrologie est l'une des deux fonctions utilisées pour décrire la transformation de la pluie en hydrogramme de crue. Selon les résultats de la recherche, la transformation de la pluie en hydrogramme de crue implique l'application successive de deux fonctions, à savoir la fonction de production (ou fonction d'infiltration) et la fonction de transfert

La fonction de transfert joue un rôle clé dans la détermination de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie. Elle permet de traduire la pluie nette, qui est la fraction de pluie brute participant totalement à l'écoulement, en débit [3]. En d'autres termes, la fonction de transfert est utilisée pour convertir la pluie nette en un hydrogramme de crue, qui représente le débit du ruissellement résultant de la pluie.

Ces informations indiquent que la fonction de transfert est un élément essentiel pour modéliser le comportement hydrologique d'un bassin versant donné en réponse à une pluie. Elle permet de comprendre comment la pluie se transforme en débit dans un système hydrologique spécifique.

Il convient de noter que les informations fournies dans les résultats de recherche proviennent du site Web de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)[1][2][3]. Il peut être utile de

consulter les sources d'origine pour obtenir plus de détails sur la fonction de transfert et son application en hydrologie.

## **2. Les méthodes de fonction de transfert**

Les méthodes de fonction de transfert en hydrologie font référence aux différentes approches utilisées pour déterminer la relation entre la pluie nette (ou la pluie effective) et le débit résultant dans un bassin versant donné. Il existe plusieurs méthodes pour estimer cette fonction de transfert, dont voici quelques exemples :

- 2.1** Méthode des paramètres linéaires : Cette méthode suppose une relation linéaire entre la pluie nette et le débit. Les paramètres de cette relation sont généralement estimés à partir de données historiques de pluie et de débit.
- 2.2** Méthode des modèles conceptuels : Ces modèles représentent le bassin versant comme un ensemble de réservoirs et de canaux interconnectés, où chaque élément a une fonction de transfert spécifique. Les paramètres de ces modèles peuvent être calibrés à l'aide de données observées.
- 2.3** Méthode de la transformée de Laplace : Cette méthode utilise la transformée de Laplace pour analyser les relations entre la pluie nette et le débit. Elle permet de déterminer une fonction de transfert en utilisant des équations différentielles et des propriétés mathématiques de la transformée de Laplace.
- 2.4** Méthode de la corrélation statistique : Cette approche repose sur l'analyse statistique des données de pluie et de débit pour déterminer la relation empirique entre ces variables. Des techniques telles que la corrélation croisée et la régression sont souvent utilisées pour estimer la fonction de transfert.

Il convient de noter que ces méthodes peuvent varier en fonction du contexte spécifique et des données disponibles. De plus, il existe d'autres approches et variantes pour estimer la fonction de transfert en hydrologie, en fonction des besoins de l'étude et des caractéristiques du bassin versant.

# **Chapitre III**

## **Hydrogramme unitaire et Application**

### **III.1. Hydrogramme unitaire**

Un hydrogramme unitaire est une représentation graphique de l'écoulement d'un bassin hydrologique en réponse à une unité de précipitation sur une durée donnée. Il est utilisé en hydrologie pour modéliser et prévoir le comportement d'un cours d'eau ou d'un système de drainage en fonction des conditions de précipitations.

L'hydrogramme unitaire est construit en utilisant la méthode de l'hydrologie empirique. Elle suppose que la réponse d'un bassin à une unité de précipitation peut être représentée par une courbe temporelle idéalisée. Cette courbe montre comment les débits d'écoulement augmentent et diminuent au fil du temps à la suite d'une précipitation.

La construction de l'hydrogramme unitaire implique généralement l'analyse des données historiques de précipitations et d'écoulements dans le bassin étudié. On utilise souvent des modèles mathématiques pour ajuster ces données et déterminer les paramètres qui caractérisent la réponse du bassin aux précipitations.

Une fois que l'hydrogramme unitaire est établi, il peut être utilisé pour prédire les débits d'écoulement futurs en fonction des prévisions de précipitations. Il est également utilisé dans la conception et l'évaluation des ouvrages de gestion des eaux, tels que les barrages, les canaux d'irrigation et les systèmes de drainage.

Il est important de noter que l'hydrogramme unitaire est une simplification de la réalité et repose sur des hypothèses simplificatrices. Il ne tient pas compte de toutes les variables et les processus hydrologiques complexes qui peuvent se produire dans un bassin réel. Par conséquent, il est généralement utilisé comme un outil approximatif pour la modélisation et la prévision des écoulements.

### **III.2. Pluie nette**

En hydrologie, le terme "pluie nette" est utilisé pour décrire la quantité de précipitations qui atteint effectivement le sol après avoir été soustraite à diverses pertes, telles que l'évaporation, l'infiltration dans le sol ou l'interception par la végétation.

Lorsqu'il pleut, une partie de l'eau peut s'évaporer avant même d'atteindre le sol. De plus, une partie de l'eau qui atteint le sol peut être absorbée par le sol ou retenue par la végétation avant de s'infiltrer dans les nappes souterraines. La pluie nette représente donc la quantité d'eau qui reste disponible pour reconstituer les réserves d'eau souterraine, alimenter les cours d'eau ou être utilisée par les plantes.

La pluie nette est un concept important en hydrologie, car elle influence les bilans hydriques et la disponibilité des ressources en eau dans un bassin versant ou une région donnée.

### **III.3. Séparation des écoulements**

La séparation des écoulements en hydrologie fait référence au processus de division des flux d'eau dans un bassin versant en plusieurs composantes distinctes. Ces composantes sont généralement classées en deux types principaux : l'écoulement de surface et l'écoulement souterrain.

L'écoulement de surface concerne l'eau qui s'écoule à la surface du sol, généralement sous forme de ruissellement. Il est principalement influencé par les précipitations, l'infiltration, l'évaporation et les caractéristiques topographiques du bassin versant. L'écoulement de surface peut être divisé en écoulement de ruissellement en surface, qui se produit lorsque le sol est saturé ou imperméable, et en écoulement de ruissellement interstitiel, qui se produit lorsque l'eau s'écoule dans les pores du sol.

L'écoulement souterrain, quant à lui, correspond à l'eau qui s'infiltré dans le sol et se déplace à travers les couches souterraines. Cet écoulement est influencé par les propriétés hydrogéologiques du sol et de la roche sous-jacente. L'écoulement souterrain peut être divisé en écoulement de nappe phréatique, qui se produit dans la zone saturée du sol, et en écoulement interstitiel, qui se produit dans la zone non saturée.

La séparation des écoulements en hydrologie est importante pour comprendre et modéliser le comportement des bassins versants, notamment pour la prévision des crues, la gestion des ressources en eau et l'évaluation de l'impact des activités humaines sur le cycle hydrologique. Différentes techniques peuvent être utilisées pour réaliser cette séparation, notamment l'utilisation de modèles hydrologiques, l'analyse statistique des données d'écoulement ou l'utilisation de traceurs chimiques pour distinguer l'origine de l'eau (par exemple, l'eau de pluie par rapport à l'eau souterraine).

### **III.4. La convolution d'écoulement**

En hydrologie, la convolution d'écoulement est une méthode utilisée pour modéliser le comportement des écoulements d'eau dans un bassin versant. Elle est basée sur le concept de convolution, qui est une opération mathématique appliquée à deux fonctions pour en produire une troisième.

Dans le contexte de l'hydrologie, la convolution d'écoulement consiste à convoluer une fonction de précipitation avec une fonction de réponse hydrologique pour estimer l'écoulement

résultant. La fonction de précipitation représente la distribution temporelle des précipitations sur le bassin versant, tandis que la fonction de réponse hydrologique décrit la transformation des précipitations en écoulement à travers le bassin.

L'opération de convolution combine ces deux fonctions pour estimer l'écoulement au fil du temps. Elle tient compte de la réponse retardée et des caractéristiques de rétention du bassin versant, ce qui permet de modéliser le temps de concentration et l'écoulement de base. La convolution d'écoulement peut être réalisée à l'aide de différentes approches, telles que les modèles linéaires à réservoirs multiples, les modèles de réservoirs en cascade ou les modèles distribués. Chacune de ces approches implique des hypothèses spécifiques sur le comportement hydrologique du bassin versant.

En résumé, la convolution d'écoulement en hydrologie est une méthode qui combine une fonction de précipitation avec une fonction de réponse hydrologique pour estimer l'écoulement résultant dans un bassin versant. Elle permet de modéliser le comportement temporel des écoulements d'eau et est utilisée pour la prévision des crues, la gestion des ressources en eau et d'autres applications liées à l'hydrologie.

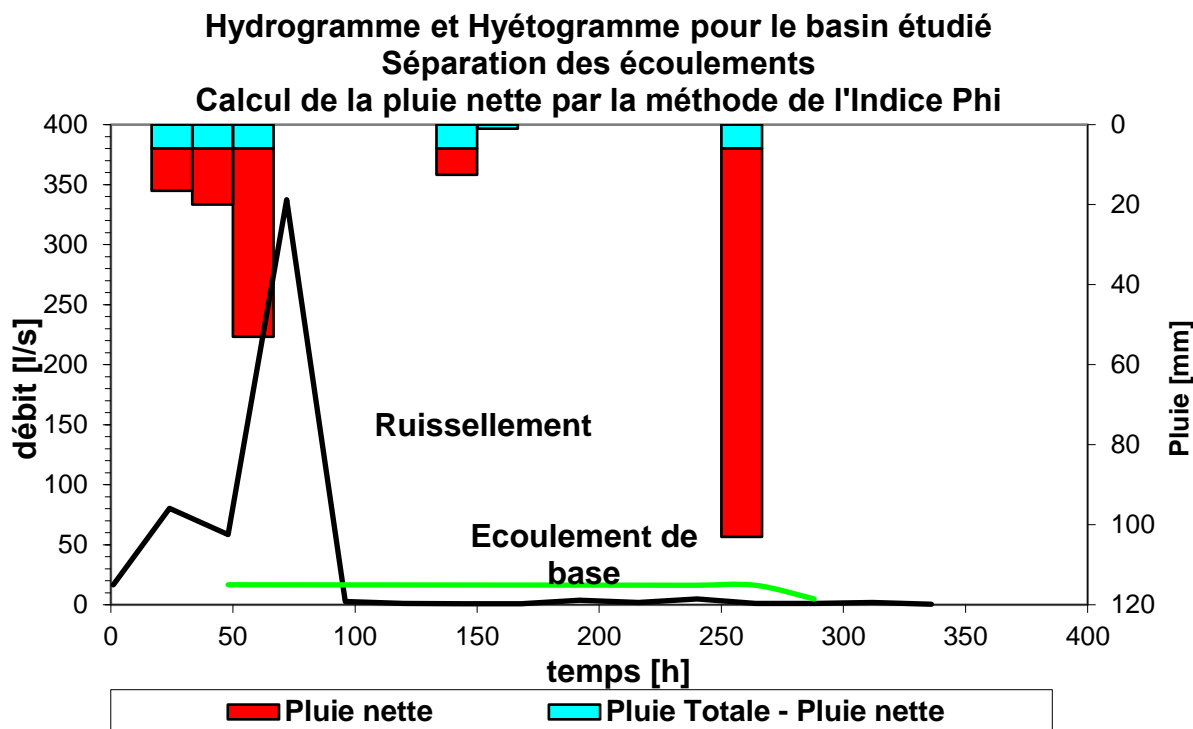
### **III.5. Application & synthèse**

#### **A. Détermination de l'Hydrogramme Unitaire Normé à 10 mm**

L'hydrogramme recherché consiste à calculer la hauteur de la pluie unitaire qui a engendré cet hydrogramme, et ensuite ramener cette hauteur à une épaisseur de lame unitaire de 10 mm. L'Hydrogramme Unitaire Normé est ainsi obtenue à la suite des différentes étapes de calcul suivantes :

**Etape 1** : Séparation du ruissellement direct de l'écoulement de base par la méthode graphique (basée sur une représentation logarithmique de la décroissance du débit en fonction du temps) et calcul du volume de ruissellement direct. Le calcul du volume généré par l'écoulement direct pour cet événement donne environ 1000000 m<sup>3</sup> (voir figure ci-dessous).





*Figure 9: Hyétogramme pour le bassin étudié / Séparation des écoulements / Calcul de la pluie nette par la méthode de l'Indice Phi*

**Etape 2 :** Le calcul de la lame nette ruisselée  $LR$  (qui est équivalente à la lame nette précipitée) est obtenue en faisant le rapport entre le volume ruisselé et la surface du bassin versant ( $81 \text{ km}^2$ ) ; elle est d'environ  $20 \text{ mm}$ .

**Etape 3.** Détermination de la durée de référence ( $D$ ) de l'averse unitaire : elle correspond à la durée du hyétogramme de pluie nette observée. La méthode de l'indice  $\phi$  peut être utilisée afin d'établir la répartition de la pluie nette. Connaissant la lame ruisselée, on peut facilement trouver par itérations successives la valeur de l'intensité pluviométrique limite - l'indice  $\phi$  - au-delà de laquelle toute la lame précipitée participe au ruissellement (i.e. vérifier l'égalité « lame nette précipitée=lame ruisselée »).

Après avoir reporté les  $20 \text{ mm}$  de pluie nette sur le hyétogramme dans sa partie la plus intense on en déduit que la capacité moyenne d'infiltration  $\phi$  est de  $6 \text{ mm/h}$ , et que la pluie unitaire ayant donné lieu à l'hydrogramme a une durée  $\tau = 2 \text{ heures}$  et une intensité constante de  $10 \text{ mm/h}$ .

**Etape 4.** Calcul des ordonnées de l'Hydrogramme Unitaire en faisant la soustraction entre les ordonnées de l'écoulement total et de l'écoulement de base estimé.

**Etape 5.** Calcul de l'H.U.N à  $10 \text{ mm}$  en divisant chaque ordonnée de l'HU obtenu au point précédent par le rapport de la lame ruisselée à la valeur de la norme, soit par  $20/10 = 2$ . On obtient le résultat suivant:

Temps	Hydrogramme Unitaire Normé à 10 mm
(h)	[m <sup>3</sup> /s]
1	1,5
24	9
48	30
72	190,2
96	124,6
120	957,9
144	-41,0
168	-45,7
192	-46,0
216	-46,2
240	-37,0
264	-43,0
288	0,0

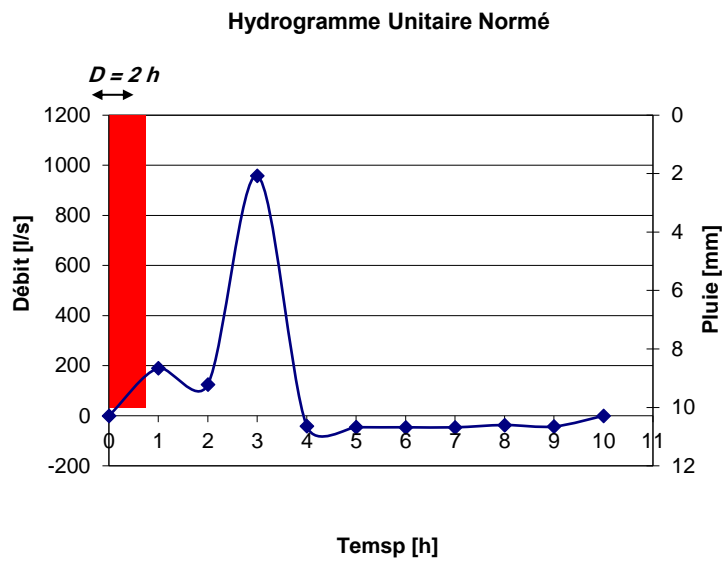


Figure 10: Hydrogramme Unitaire Normé

**B. Déterminer la courbe en S du bassin versant.**

L'hydrogramme en S s'obtient en sommant entre eux les HUN décalés de la durée de référence  $\tau$  (càd de la durée de la pluie qui a engendré l'HU) jusqu'à ce que le débit maximal ait atteint une constante (voir figure ci-dessous).

L'hydrogramme en S obtenu par sommation n'est pas constant après une durée  $t > t_c$ , mais oscille entre 107.5 et 117.5. La cause est à rechercher dans la schématisation de l'HU. Il est alors possible de lisser l'hydrogramme en S.

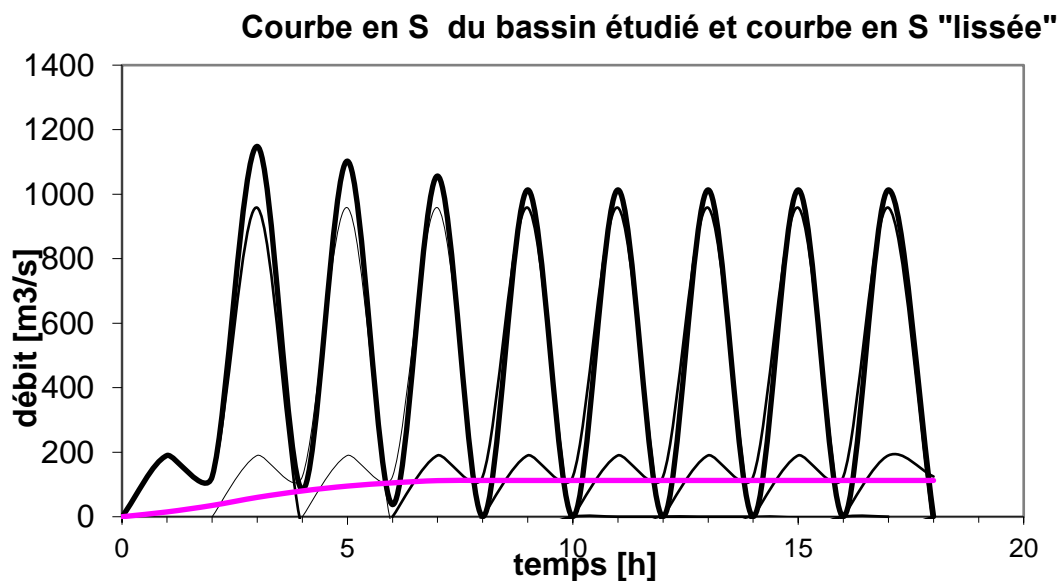


Figure 11: Courbe en S du bassin étudié et courbe en S "lissée"

### C. Détermination de l'Hydrogramme Unitaire Normé pour une durée $T$ de 1 heure et un volume de 1 mm

Dans le cas présent il suffit de décaler quatre H.U.N. (durée de 15 minutes, volume de 1 mm) de 15 minutes, puis d'en faire la somme pour chaque pas de temps (propriété d'additivité de l'H.U.N.). Puisque cet H.U. correspond à une pluie nette de 4 mm, il faut encore diviser ses ordonnées par 4 pour avoir un Hydrogramme Unitaire Normé de durée 1 heure et de volume 1 mm.

### D. Calcul de l'hydrogramme de ruissellement de la pluie nette proposée

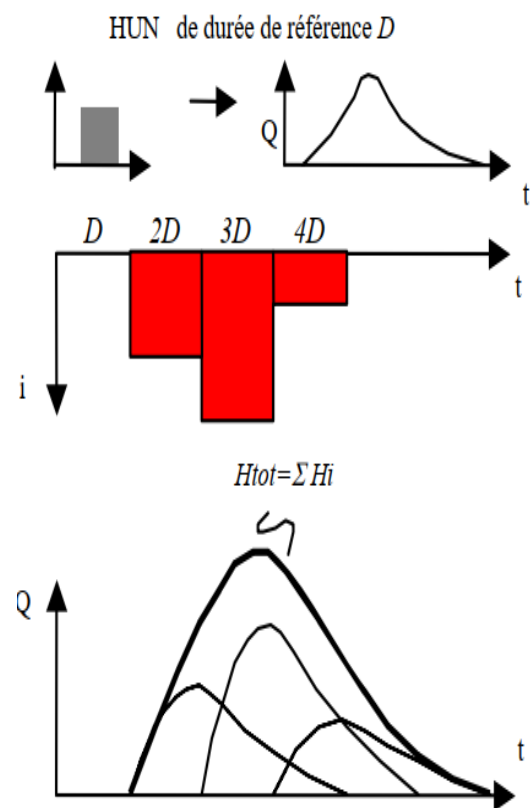
**Méthode à appliquer :** Convolution de la pluie nette avec l'HUNA partir d'un HU connu pour une averse unitaire de norme 1mm et de durée de référence  $D$ , on peut calculer l'hydrogramme résultant d'une averse longue et complexe comme suit :

- Le hyétogramme de l'averse complexe est décomposé en une succession d'événements simples de durée  $D$ .

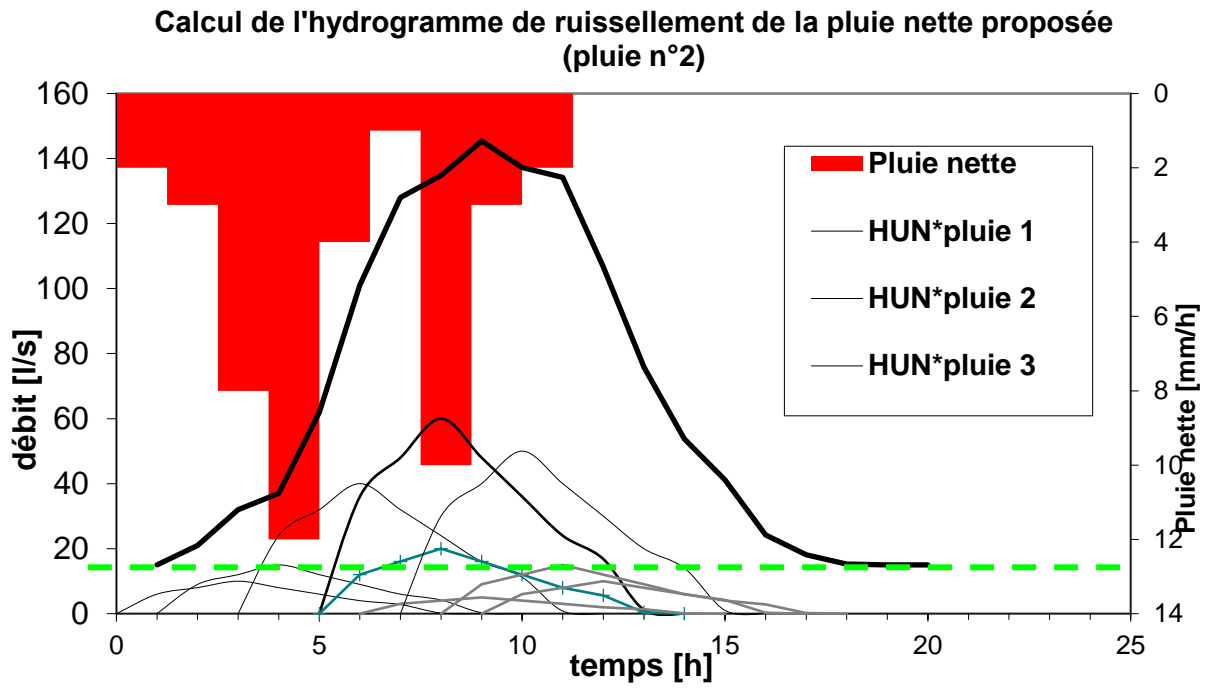
- Pour chacun des événements simples, l'hydrogramme de ruissellement qui en résulte est obtenu en appliquant le principe de linéarité, c'est à dire, en multipliant les ordonnées de l'HUN par le volume précipité durant le pas de temps  $D$ .

- Chaque hydrogramme obtenu est décalé dans le temps d'une durée  $D$  par rapport l'hydrogramme résultant de l'événement précédent.

- L'hydrogramme résultant de l'événement pluviométrique complexe s'obtient finalement en effectuant la somme des hydrogrammes obtenu pour chacun des événements simples.



**Figure 12:** Exemple de calcul de l'hydrogramme de ruissellement de la pluie nette proposée



*Figure 13: Calcul de l'hydrogramme de ruissellement de la pluie nette proposée*

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

L'étude que nous avons menée, nous a permis d'apporter notre contribution à la connaissance des caractéristiques hydrologiques du bassin de Mouileh dans une optique purement risques hydrologiques.

Oued Mouileh est situé à l'ouest de Hammam Boughrara. Il s'étend sur une superficie de 2 650 km<sup>2</sup> et progresse sur le tiers de la région d'Oujda au Maroc.

Le bassin de l'Oued Mouilah est occupé par une série géologique allant du Primaire au Quaternaire, il se creuse dans du matériel à résistance fort variable. D'une manière générale, les sols dans ce bassin sont constitués par des sols calcaires, calciques, sols alluviaux et des sols rouges.

L'étude climatologique montre que notre bassin étudié est caractérisé par un climat semi-aride avec des influences méditerranéennes et une irrégularité dans les précipitations.

Notre étude a mis en exergue les points suivants :

- Les périodes les plus sèches s'étendent de juin à août pour toutes les stations.
- Les variations interannuelles des précipitations à la station de Maghnia présentent des irrégularités assez prononcées.

L'écoulement superficiel est un processus complexe et important dans le cycle de l'eau. Il peut avoir des conséquences positives et négatives pour l'environnement et les activités humaines. La gestion efficace de l'écoulement superficiel est essentielle pour minimiser les conséquences négatives et maximiser les avantages.

En comprenant les facteurs qui influencent l'écoulement superficiel et en utilisant des pratiques durables pour gérer l'eau, nous pouvons assurer un avenir durable pour notre planète et pour les générations futures.

La fonction de transfert est un concept important en hydrologie qui permet de prédire les débits d'eau dans les cours d'eau en fonction des précipitations.

Bien qu'elle présente certaines limites, elle reste un outil utile pour la gestion de l'eau et la planification des ressources en eau.

## *Références bibliographiques*

### Références bibliographiques

1. AMAR A (2014). Étude de la dynamique d'exportation de la matière en suspension et en solution dans le bassin versant de la Tafna. SUJET, MEM., Univ., d'Oran Mohamed BOUDIAF, 120p
2. Baba Hamed, K., 2001. Contribution à l'étude hydrologique de trois sous-bassins de la Tafna (bassin de Sebdou, de Mouilah et d'Isser). Thèse de Magister. Univ. Oran. 195p
3. Baba Hamed, K., Bouanani, A. et Hayane, S.M. 2001. L'étiage des plus importants sous bassins de la Tafna (Sebdou, Mouilah, et Isser) : Analyse et quantification. Sem. Nat. sur l'eau– SNE 2001, Tlemcen, octobre 2001.
4. BAKRETI A MODELISATION HYDROLOGIQUE DU BASSIN DE LA TAFNA these de doctorat université oran 2 mohamed ben ahmed 2014
5. *Benest, M., 1985. Evolution de la plateforme de l'Ouest algérien et du Nord - Est marocaine au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie, milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse, Doctorat, Lab., Géol. Univ, Lyon. Fasc. 1. 367 p., 107 fig.*
6. Bouanani A. 2004. Hydrologie, Transport solide et Modélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée, Université de Tlemcen, 250 p.
7. Bouanani A., Mania J., Bensalah M., Baba Hamed K., 2004. Le comportement d'un système hydrologique en climat méditerranéen par l'analyse corrélatoire et spectrale des débits et des pluies : cas de trois sous- bassins sud méditerranéens (oueds Sebdou, Mouilah et Isser – Tafna- NW Algérie). Pub. Soumise, Rev. Sci. De l'eau.
8. Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill Education.
9. Ghenim A., Seddini A., Terfous .A.(2003) Contribution à l'évaluation de l'impact sur l'environnement du barrage Sikkak (Nord-ouest Algérien). XXIII Rencontres universitaires de génie civil. Risques et environnement. p 1-7
10. Ghenim, A., Seddini A. and Terfous, A., (2008). Contribution à l'évaluation de l'impact sur l'environnement du barrage Sikkak (Nord-Ouest Algérien). XXIII Rencontres universitaires de génie civil. Risques et environnement. p 1-7
11. Ghenim. A, Seddini. A, Terfous. A (2008) Variation temporelle de la dégradation spécifique du bassin versant de l'Oued Mouilah (nord-ouest algérien). Hydrol Sci J 2008, n°53, pp.448-56.
12. Gottschalk L., Leblois E., Skøien J.O., (2011) Distance measures for hydrological
13. Henderson-Sellers, A. (1986). A handbook of hydrology. Edward Arnold.



## Références bibliographiques

---

14. Hingray, B., Picouet, C., Musy, A., (2009). Hydrologie 2. Une science de l'ingénieur. Houille Blanche (2), 113-121
15. LABORDE JP. (2009) édition 2009 Eléments d'hydrologie de surface
16. Mohammed Medjahed, M. Etablissement de carte de risque au niveau du bassin versant de Mouileh , Mémoire de master 2021
17. Saidi, M. M., Daoudi, L., Aresmouk, M. H. & Blali, A. (2003) Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard : exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc). Sécheresse 14(2), 107–114.
18. Singh, V. P. (1996). Elementary hydrology. Prentice-Hall.
19. TERFOUS A. et Al 2003 Département d'Hydraulique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Aboubakr Belkaid Tlemcen BP 230 Tlemcen, 13000 Algeria
20. Terfous, A., Megnounif, A. & Bouanani, A. (2001) Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord-Ouest Algérien). Rev. Sci. Eau 14(2), 173–185
21. Zekri, N. (2003) Analyse du facteur de l'agressivité climatique dans la Tafna, nord ouest algérien. Thèse de Magister, Université de Tlemcen, Algérie.