

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des sciences et Techniques



N° Ref :.....

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Sciences Hydrauliques

Analyse des processus hydrologiques d'écoulements par la technique des Master Recession Curves (MRC). Cas du bassin versant de l'oued Ressoul (Nord-Est Algérien)

Réalisé par :

- **FERDI Kenza**
- **BOULMERKA Amina**

Soutenu devant le jury :

Mr. KOUSSA Miloud	M.A.A	CUAB MILA	Président
Mr. KEBLOUTI Mehdi	M.A.B	CUAB MILA	Examineur
Mr. BERHAIL Sabri	M.A.B	CUAB MILA	Promoteur

Année universitaire : 2015/2016

DÉDICACE

« Dieu merci de m'avoir donné la force et la patience pour terminer ce long parcours d'études »

Je dédie ce travail :

✚ À mes très chers parents Fatima Zohra et mon père Faouzi Allah yrahmo pour leur sacrifice et leur soutien
De me mettre dans les meilleures conditions, ainsi que leur présence à mes côtés durant les moments difficiles et mes déceptions, c'est grâce à vos encouragements que je suis ici aujourd'hui. C'est votre réussite avant que ça soit la mienne,

Maman j'espère que vous soyez fières de moi Que le bon dieu vous protège.

Mon père j'aimerais bien si vous êtes aussi heureux même si vous n'êtes pas ici j'espère que vous soyez fiers de moi

✚ À mes chers frères : Manal, Ismail, Wiam et notre cadette Besmala. Et à toute la famille

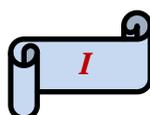
✚ À mon enseignant Berhail Sabri qui m'aide beaucoup

✚ À mes amis : Souad, Houda, Merieme, khadidja, hayat ,Houssem ,Amin,Saber ,Ahmed on a passé toutes ensemble des moments inoubliables, j'ai vraiment de la chance de vous reconnaître.

✚ À ma collègue Kenza qui a participé à l'élaboration de ce mémoire, je vous souhaite tout le bonheur dans sa vie professionnelle et personnelle.

✚ À toute la promotion d'hydraulique 2016.

AMINA BOULMERKA



Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédis ce modeste travail de fin d'étude à mes chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils précieux,

J'espère qu'un Jour,

Je pourrais Leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Merci Papa, Merci Mama.

Je dédis aussi ce travail à mes frères et mes sœurs ainsi que mes neveux et mes nièces :

RAID, RAMA, ABD ELWADOUD et ABD ELGHAFOUR

Sans oublier mes beaux frères et mes belles sœurs.

*Et toute la famille **FERDI***

A mes très chers amis : Meriem, Asma, Amin, Youcef, Raouf, Saber, Ahmed et en particulier ma chère Boulmerka Amina

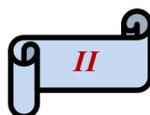
*A tous les enseignants de l'**Institut des Sciences et Technologie.***

En particulier docteur

BERHAIL SABRI pour son aide.

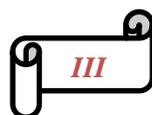
*A toute la promotion **HYDRAULIQUE** 2015-2016*

Ferdi Kenza



Sommaire

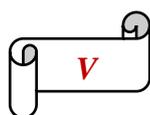
Dédicace	I
Sommaire	III
Liste des tableaux	V
Liste des figures	VI
Résumé	IX
Abstract	X
تلخيص	XI
Introduction générale	XII
Chapitre 1 : Les processus de génération de crues	
1. Introduction	01
2. Principaux cheminements de l'eau	01
2.1. Les précipitations directes à la surface de l'eau	01
2.2. Ecoulement de surface	01
2.3. Ecoulement de subsurface	03
2.4. Ecoulement souterrains	04
3. Forme de l'hydrogramme	04
3.1. Les éléments descriptifs d'un hydrogramme	04
4. Facteurs qui influent sur la forme de l'hydrogramme	06
4.1. Condition aux limites (Forçages atmosphérique)	06
4.2. Conditions initiales	06
4.2.1. Conditions d'humidité initiale du bassin	06
4.2.2. Surface du bassin	08
4.2.3. Forme du bassin	08
5. Méthodes de séparation des écoulements	09
5.1. Méthodes graphiques	09
a) Les méthodes simplifiées	09
b) La méthode de BARNES (1939)	10
5.2. Les méthodes géochimiques et isotopiques	10
6. Synthèse	12
Chapitre 2 : Technique d'Analyse des courbes de récession de débits	
1. Définition	14
2. Utilisation de l'analyse des courbes de récessions	15
3. Méthode d'analyse des courbes de récessions	16
3.1. The correlation method	16
3.2. Matching strip method	17
3.3. The tabulation method	18
3.4. Wavelet Transform	18



Chapitre 3 : Présentation du site d'étude	
1. Présentation du site d'étude	20
2. Caractéristique de la station hydrométrique	22
3. Donnée disponible	25
4. Présentation du programme	26
Chapitre 4 : Résultats et discussions	
1. Introduction	28
2. Séparation de l'hydrogramme des crues du 24/01/1999 à la station de Ain Berda	30
3. Séparation de l'hydrogramme des crues du 23/01/2006 à la station d'Ain Berda	33
4. Interprétation graphique des composantes de l'écoulement sur l'hydrogramme du débit total	35
a) Représentation des deux composantes de l'écoulement	36
b) Représentation des trois composantes de l'écoulement	37
Conclusion générale	39
Références bibliographiques	41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1 : Caractéristique de la station hydrométrique d'Ain Berda	22
Tableau.2 : Résumé des résultats durant la période 1998 -2008	30



Liste des Figures

Figure 1 :	Ruissellement par dépassement de l'infiltrabilité	2
Figure 2 :	Ruissellement par saturation et exfiltration	3
Figure 3 :	mécanismes de formation de l'écoulement de subsurface (a) Ecoulements Macropore, (b) Effet piston, (c) Intumescence de la nappe	4
Figure 4 :	composante d'un hydrogramme	5
Figure 5 :	Influence des conditions antécédentes d'humidité sur le comportement Hydrologique d'un bassin versant	7
Figure 6 :	Exemple de non linéarité des crues dans le petit bassin versant du Mont Lozère	7
Figure 7 :	Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme des crues	8
Figure 8 :	Méthodes simplifiées de séparation des composantes de L'hydrogramme	9
Figure 9 :	Décomposition de l'hydrogramme par la méthode de BARNES	10
Figure 10 :	Décomposition d'un hydrogramme de crue en trois composantes	12
Figure11 :	Cycle hydrologique tel qu'il est représenté dans le model HEC-HMS	12
Figure 12 :	Courbe de la récession, période et segment	14
Figure 13 :	Séparation des composantes à partir de la courbe de Récession	15
Figure 14 :	corrélation method pour estimer la constante récession K	17
Figure 15 :	matching strip method pour l'estimation de la constante de récession K	17
Figure 16 :	Tabulation method pour estimer la constante de récession K	18
Figure 17 :	exemple d'une crue et de ses ondelettes	19
Figure 18 :	Situation géographique de la zone d'étude	20

Figure 19 :	Sous Bassin versant de l'Oued Ressoul	21
Figure 20 :	localisation de la station hydrométrique d'Oued Ressoul à Ain Berda	22
Figure 21 :	Seuil PARSHALL (station d'Ain Berda)	23
Figure 22 :	Oued Ressoul Ain Berda	24
Figure 23 :	profil en travers (section de l'échelle)	24
Figure 24 :	profil en long	24
Figure 25 :	Hydrogramme de la station Ain Berda pour la période de 1998 à 2008	25
Figure 26 :	Structure de programme	27
Figure 27 :	Hydrogramme enregistré en 2004	28
Figure 28 :	courbe de récession par régression Linéaire	28
Figure 29 :	courbe de récession par régression Logarithmique	29
Figure 30 :	courbe de récession par régression exponentiel	29
Figure 31 :	courbe de récession par régression puissance	29
Figure 32 :	Hydrogramme de crue enregistré du 24/01/1999 au 01/04/1999 à la station D'Ain Berda	31
Figure 33 :	Séparation des courbes de récession en deux composantes à la station d'Ain Berda	32
Figure 34 :	Séparation des courbes de récession en trois composantes à la station d'Ain Berda	33
Figure 35 :	Hydrogramme de crue enregistré du 23/01/2006 au 30/03/2006 à la station D'Ain Berda	34
Figure 36 :	Séparation des courbes de récession en deux composantes à la station d'Ain Berda	34
Figure 37 :	Séparation des courbes de récession en trois composantes la station d'Ain Berda	35
Figure 38 :	La contribution des deux composantes de l'écoulement séparé pour La crue du 24/01/1999	36

- Figure 39** : La contribution des deux composantes de l'écoulement séparé pour la crue Du 23/01/2006 36
- Figure 40** : La contribution des trois composantes de l'écoulement séparé pour la crue Du 24/01/1999 37
- Figure 41** : La contribution des trois composantes de l'écoulement séparé pour la crue Du 23/01/2006 37

Résumé

Ce modeste travail vise à identifier et expliquer les processus qui sont à l'origine de la formation du débit de crue. La connaissance de ses processus est essentielle avant tout modélisation de la transformation pluie-débit. Dans les modèles pluie-débit conceptuel le bassin versant est divisé en un ensemble de réservoirs qui se remplissent et se vidangent de différentes façons selon l'état hydrique du bassin versant et la nature des forçages climatiques.

Nous avons alors essayé de connaître les différents processus tant superficiels que souterrains pouvant contribuer à cette genèse, ainsi que les facteurs du milieu qui les contrôlent. Pour arriver à notre objectif nous avons utilisé une méthode analytique basée sur l'analyse des courbes de récession de débits enregistrés à la station de l'Oued Ressoul à Ain Berda. Les résultats montrent clairement que la formation des crues dans le bassin de l'Oued Ressoul résulte la conjonction de deux familles de processus, superficiels et souterrains.

Mots clé : Processus hydrologiques, Séparation des écoulements, MRC, Récession, Bassin versant de l'Oued Ressoul.

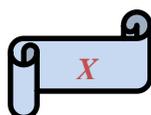
Abstract

This modest work aims to identify and explain the processes, which are at the origin of the flood flow formation. To know these processes is essential before all modelization and transformation of rainfall – runoff. In the models rainfall / runoff the watershed is divided into a set of reservoirs (repositories) which fill and drain in different ways according to the water status of the watershed and the nature of climatic forcing.

We tried to know the different processes either superficial or underground, which may contribute to the genesis, and so, the factors of the environment that control them. To achieve our objective, we have used an analytical method based on the analysis of recession curves of water flow (rate flow) registered at the station of Oued Rassoul at ain barda.

The result shows clearly that the formation of the floods in the watershed of Wad rassoul results / comes from both the superficial and the underground processes

Key words: Hydrological processes, Separation of flows, MRC, Recession watershed of Oued Ressoul



تلخيص

هذا العمل المتواضع يهدف الى تعريف وشرح العمليات الاساسية للتكوين الاولي للوديان ومعرفة هذه العميات مهمة واساسية قبل كل تصميم لتحويل الامطار وسيول.

في هذا النوع الوادي الجاري مقسم الى مجموعة خزانات تملا وتفرغ بطرق عديدة حسب منسوب المياه وطبيعة المناخ (جاف او ممطر).

اننا حاولنا معرفة العمليات المختلفة السطحية والجوفية التي ساهمت في تكوين مياه الحوض وكذلك العوامل المتحكمة في تكوينها. وللوصول الى هدفنا، استعملنا طريقة تحليلية تعتمد على تحليل منحنيات الركود المسجلة في محطة واد رسول بعين باردة.

والنتائج تبين بوضوح أن تكوين هذه الحملة (زيادة تدفق المياه) في الحوض واد رسول ناتج عن كلتا العمليتين السطحية والجوفية.

الكلمات المفتاحية

العمليات الهيدرولوجية، فصل التدفقات، منحنى الركود ، حوض المياه واد الرسول

INTRODUCTION GENERALE :

Les processus de formation des crues ont fait l'objet de nombreuses études depuis le début du XXIème siècle. Le concept de Horton (1933) a été durant la première moitié du siècle, la représentation la plus connue de la genèse des débits : dès que l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol, il y a saturation de la surface " par le haut ". Après avoir rempli les dépressions superficielles, l'eau en excès s'écoule par ruissellement sur les versants pour former l'écoulement rapide des crues. Le reste s'infiltré et contribue à la recharge de nappes et au débit de base. Cependant, de nombreuses études, notamment en milieu tempéré, ont montré que cette représentation constituait un cas particulier (Ambroise, 1998). Ce type de ruissellement est généralement propre aux zones arides et semi-arides. Cappus (1960) montre que dans le cas des zones humides où le sol est déjà saturé jusqu'en surface, la pluie qui tombe ne peut que ruisseler ou libérer par " effet piston " un volume équivalent d'eau préexistante dans le sol. Un troisième type de ruissellement pouvant contribué au débit de crue est alimenté par l'exfiltration d'eau provenant de l'écoulement souterrain là où les nappes affleurent.

Les ruissellements de surface ne sont pas les seules contributions au débit de crue. En effet, dès le début des années 1960, certains hydrologues forestiers proposent des processus alternatifs pour expliquer la formation des débits. Il s'agit des écoulements de sub-surface que l'on peut observer en condition saturée. Ces écoulements résultent d'un ralentissement voire d'un blocage des percolations verticales à un niveau sous-jacent moins perméable. Ces écoulements se déroulent dans les horizons rendus perméables par la colonisation des racines, les fentes de dessiccation et les discontinuités structurales. Dans le cas des parties basses des versants humides, et des bas-fonds, ayant des nappes peu profondes, on peut assister à une remontée rapide de leur niveau due à la recharge de ces nappes par une percolation à travers la faible épaisseur de sol non saturé. En effet, un petit apport d'eau suffit à transformer en eau libre la frange capillaire qui la surmonte. L'onde de perturbation qui en résulte est transmise au ruisseau et draine la nappe à une vitesse bien supérieure à celle du déplacement de l'eau libre. A proximité des cours d'eau, ce phénomène provoque un gradient hydraulique important qui augmente considérablement la contribution de la nappe au cours d'eau : il s'agit du phénomène d'intumescence des nappes.

Dans notre modeste recherche, nous essayons de faire une analyse des processus de production du débit à l'exécutoire du bassin versant par les méthodes analytiques et de faire une analyse des courbes de récession des hydrogrammes enregistrés dans la station de Oued Ressoul à Ain Berda.

Le manuscrit sera organisé comme suit :

- Introduction générale
- Chapitre 01 : Les processus hydrologique de génération de crues
- Chapitre 02 : Techniques d'analyse des courbes de récessions de débits
- Chapitre 03 : Présentation du site de l'étude
- Chapitre 04 : Résultats et discussions
- Conclusion générale

CHAPITRE I

*Les processus de génération
de crues*

1. Introduction :

Avant tout, il semble important de retracer brièvement l'état de l'art de l'hydrologie fondamentale ou plus précisément de l'étude des processus hydrologiques. Cette présentation permettra également de définir les principaux termes utilisés tout au long de cette étude pour décrire les processus hydrologiques.

En s'inspirant de la classification de [1,2] distinguent quatre cheminements principaux que l'eau emprunte pour rejoindre la rivière.

- les précipitations directes à la surface de l'eau ("direct precipitation")
- les écoulements de surface ("overland flow")
- les écoulements de proche subsurface ("throughflow")
- les écoulements souterrains ("groundwater flow")

2. Principaux cheminements de l'eau :

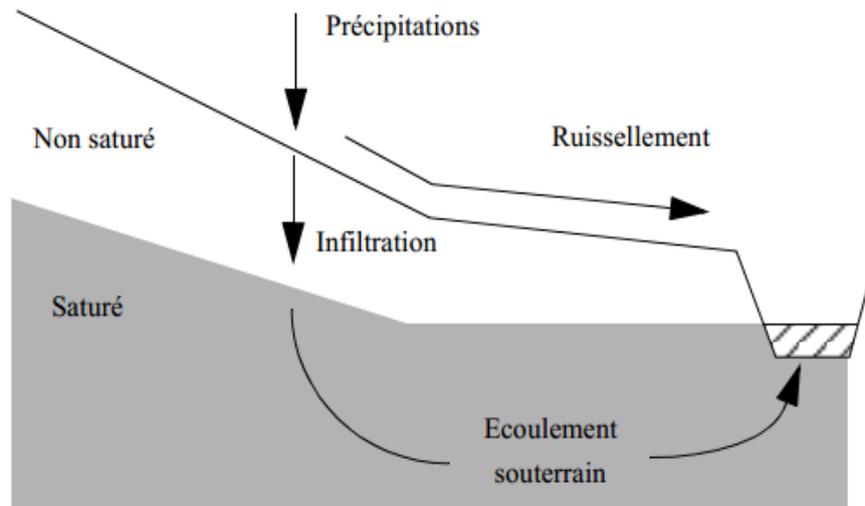
2.1. Les précipitations directes à la surface de l'eau

C'est la fraction des pluies qui précipitent directement sur le réseau hydrographique. La contribution de cette composante est relativement limitée étant donné que le réseau hydrographique, à l'exception des lacs, recouvre une très faible partie des bassins versants. Il faut cependant relever que, lors d'événements pluvieux prolongés, le réseau hydrographique peut fortement s'étendre et ainsi augmenter sensiblement la contribution de ce mécanisme à la génération des crues.

2.2. Ecoulement de surface

Les écoulements de surface sont composés soit d'eau ne pouvant pas s'infiltrer dans le sol (ruissellement) soit d'eau d'exfiltration. Ces eaux suivent alors des cheminements de surface pour rejoindre la rivière. Le ruissellement apparaît quand l'eau ne peut plus s'infiltrer dans le sol soit parce que l'intensité des pluies dépasse l'infiltrabilité du sol soit parce que le sol est saturé. L'exfiltration se déclenche quand la capacité du sol à transmettre un flux latéral est dépassée, l'eau de subsurface rejoint alors la surface du sol.

La théorie de [3] a été longtemps acceptée par la communauté hydrologique comme étant l'explication principale de la génération des crues. Le concept de [3] est basé sur la notion de limite d'infiltrabilité des sols. En effet, la théorie est basée sur le principe que tant que la capacité d'infiltration du sol n'est pas dépassée la totalité de la pluie s'infiltré, mais dès que les précipitations dépassent cette capacité le surplus d'apport d'eau ruisselle à la surface du sol. L'eau qui ruisselle forme ainsi l'écoulement rapide de crue, par contre l'eau infiltrée contribue beaucoup plus lentement à la recharge des nappes et au maintien du débit de base (Figure 1).



Écoulement par dépassement de la capacité d'infiltration Ra.

Figure 1 : Ruissellement par dépassement de l'infiltrabilité [1].

Cette représentation correspond en fait à un cas particulier. Le principe du ruissellement hortonien est valable par exemple dans le cas de sols dépourvus de couvert végétal sous climat aride ou dans le cas des zones urbaines. Cependant, dans les régions à climat tempéré, en particulier où la forêt domine, la capacité d'infiltration des sols est souvent très élevée. De nombreuses études ont montré qu'en climat tempéré les crues sont fréquemment générées par des pluies dont l'intensité est inférieure à l'infiltrabilité des sols. [4,5] Dans un tel cas le mécanisme du ruissellement hortonien ne permet pas d'expliquer la génération des crues. Le ruissellement par dépassement de l'infiltrabilité ("*infiltration excess surface runoff*") n'est apparemment pas un mécanisme majeur de la génération des crues en climat tempéré. Toutefois, il ne doit pas être totalement réfuté.

En effet, il peut être actif dans des zones spécifiques du bassin versant. A ces endroits, l'eau ruisselant à la surface du sol contribue soit directement à la génération des crues soit s'infiltrer plus en aval sur le versant [6].

[7] est certainement le précurseur des concepts de **ruissellement par saturation** ("*saturation overland flow*") et des **surfaces contributives variables** ("*variable source area*"). Toutefois, sa contribution a eu peu d'écho auprès de la communauté des hydrologues. Ces deux concepts ont été reconnus plus tard suite aux travaux de [4] Ces derniers suggèrent que l'eau transitant à travers le sol par infiltration ou par écoulements de proche subsurface alimente les zones adjacentes à la rivière où la nappe est proche de la surface du sol. Ainsi, les fonds de vallées se saturent au fur

et à mesure que le niveau de la nappe atteint la surface du sol. Par conséquent, la pluie arrivant sur ces surfaces ne peut plus s'infiltrer et ruisselle à la surface du sol (Figure 2). [4] suggèrent que seules ces surfaces saturées contribuent à l'écoulement rapide de crues. Dans le reste du bassin versant, ils supposent que la pluie s'infiltré dans le sol où elle transite ou s'accumule. Les surfaces contributives varient au cours du temps. Si les pluies sont prolongées, les surfaces saturées peuvent alors s'étendre à l'intérieur du bassin. L'extension des surfaces contributives dépend d'une façon générale de la topographie du bassin versant et des conditions hydriques de ce dernier.

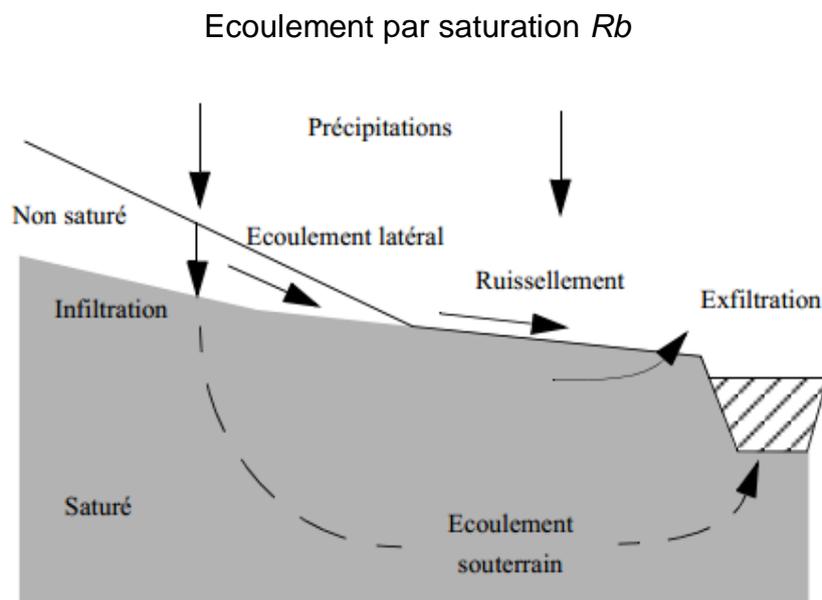


Figure 2 : Ruissellement par saturation et exfiltration. [1]

2.3. Ecoulement de subsurface

La contribution des écoulements de subsurface à la génération des crues a été mise en avant par [8] pour ainsi dire à la même époque que la publication des travaux de Horton. Mais au contraire du mécanisme de ruissellement par dépassement de l'infiltrabilité proposé par ce dernier, il a fallu beaucoup plus de temps à la communauté scientifique pour concevoir et reconnaître la contribution des eaux souterraines à l'écoulement rapide de crues. Ceci est probablement dû au fait que les mécanismes permettant d'expliquer le rapide transfert de l'eau à travers le sol sont beaucoup plus difficiles à concevoir et identifier [6].

L'écoulement de subsurface peut être généré par les mécanismes suivants :

- Ecoulements par macropores ;
- Effet piston ("translatory flow") ;
- Intumescence de la nappe ("groundwater ridging").

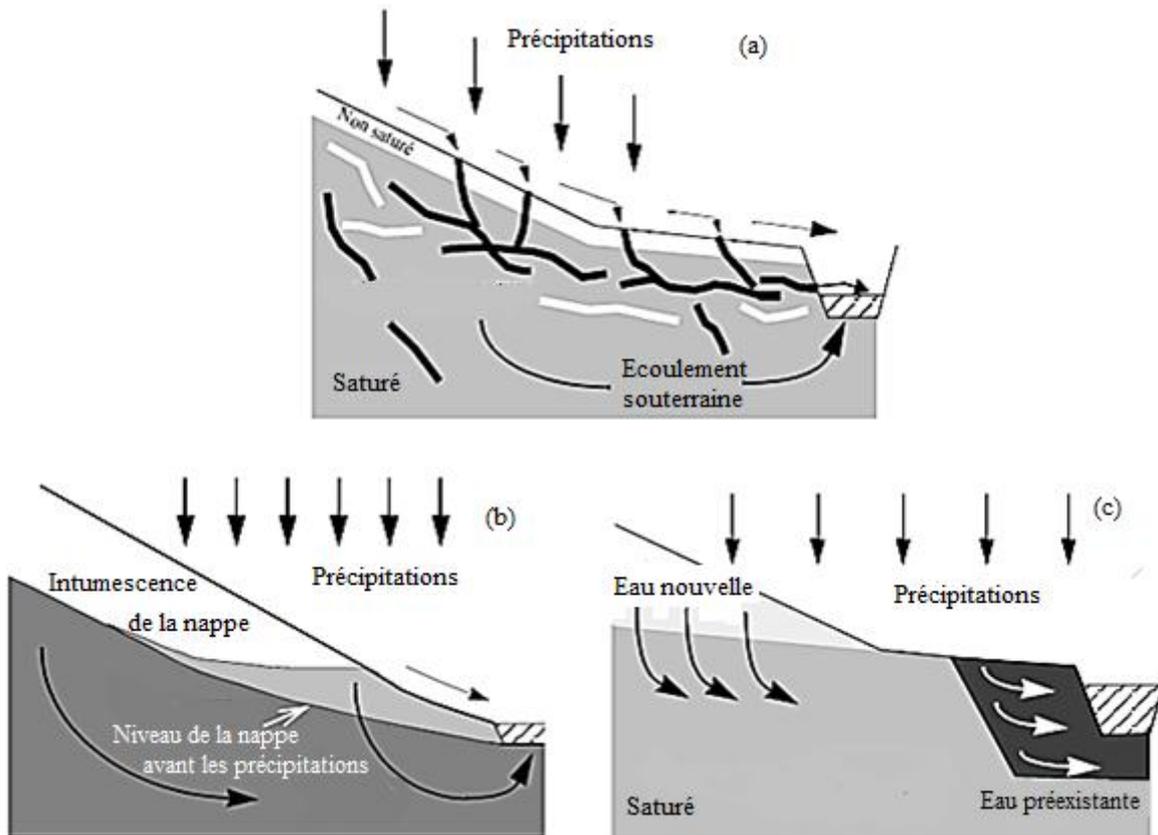


Figure 3 : mécanismes de formation de l'écoulement de subsurface

(a) Écoulements macropores, (b) Intumescence de la nappe, (c) Effet piston [1]

2.4. Écoulement souterrains

D'une façon générale, exception faite des zones à forte pente où les écoulements de proche subsurface dominant, la majorité des pluies s'infiltré dans le sol, percole et rejoint la nappe profonde. Une partie de cette eau rejoint alors la rivière par des écoulements souterrains à travers la zone saturée.

Etant donné que l'eau circule très lentement à travers le sol, l'alimentation de la rivière par les écoulements souterrains est retardée de plusieurs jours, mois voire même de plusieurs années par rapport aux pluies. Les écoulements souterrains sont en général très réguliers, ce qui est caractéristique de la lente vidange de l'eau stockée dans le sol et dans la roche.

3. Forme de l'hydrogramme

3.1. Les éléments descriptifs d'un hydrogramme

La forme de l'hydrogramme provenant d'un seul orage de courte durée sur un bassin versant, suit un modèle général. Ce modèle présente une période de montée, ou d'accroissement du débit qui atteint un maximum ou une crête selon l'importance

de l'écoulement souterraine. La figure 4 illustre un hydrogramme typique avec ses éléments descriptifs.

L'hydrogramme se divise en 3 segments distincts :

1. **La courbe de concentration** : du début du ruissellement au point A jusqu'au point d'inflexion B.
2. **Le segment de pointe** : le segment BCD, i.e. le segment entre les 2 points d'inflexion B et D.
3. **La courbe de décrue** : le segment entre le point d'inflexion D et la fin du ruissellement au point E.

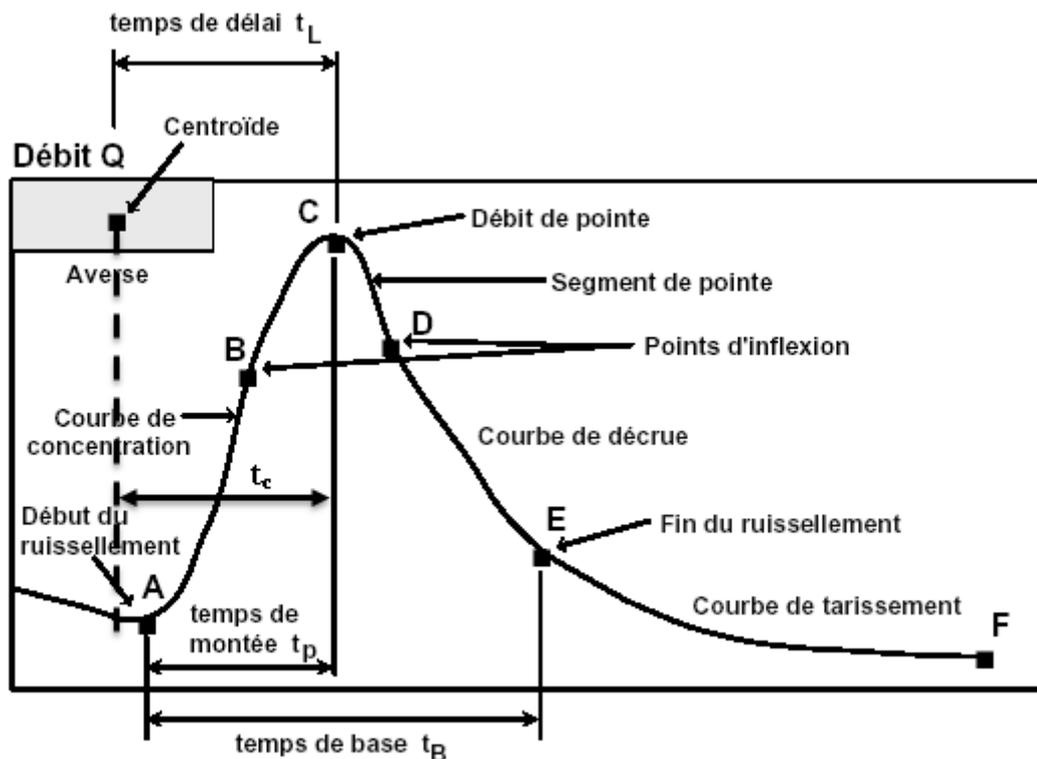


Figure 4 : composante d'un hydrogramme

L'hydrogramme fait appel à certaines caractéristiques de temps. Nous y retrouvons les définitions suivantes :

- ✚ **Le temps de montée, t_p** : le temps écoulé entre le début du ruissellement et le débit de pointe.
- ✚ **Le temps de délai, t_L** : l'intervalle de temps entre le centroïde de l'averse et le débit de pointe.
- ✚ **Le temps de concentration, t_c** : le temps requis par la goutte d'eau hydrauliquement la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire du bassin.

4. Facteurs qui influent sur la forme de l'hydrogramme

4.1 Condition aux limites (Forçages atmosphérique) :

Ce sont les facteurs climatologiques [9], soit l'apport en eau ou l'apport en énergie. Les précipitations forment le principal apport d'eau à un bassin versant. Celles-ci participent directement aux crues lorsqu'il s'agit de pluies, ou après fonte lorsqu'il s'agit de neige.

En effet pour un événement pluvieux donné, les caractéristiques de l'hydrogramme de crue dépendent :

- Du volume d'eau apportée par la précipitation ;
- De l'intensité de la précipitation ;
- De la durée de la précipitation.

On peut trouver le détail concernant ces différents facteurs dans le travail [6,10].

De la même manière que les précipitations, l'apport en énergie, influe lui aussi sur les débits de crue et cela en participant à l'évaporation de l'eau se trouvant sur le sol, ainsi une importante quantité est évaporée et va influencer la redistribution de l'eau dans le sol. [6]

Ainsi la quantité d'eau rejoignant le sol se voit diminuée de façon importante, et ne participe plus aux débits d'écoulement.

4.2 Conditions initiales :

Ce sont les facteurs en rapport avec le bassin versant [9] appelées aussi conditions initiales [6], on en cite :

4.2.1 Conditions d'humidité initiale du bassin :

A un même apport d'eau et d'énergie ne correspond pas forcément la même réponse en débit [6].

La réponse d'un bassin versant à une sollicitation pluvieuse dépend fortement des conditions d'humidité initiales de ce dernier (figure 5), qui montre la soumission d'un même bassin versant à une même sollicitation pluvieuse simulée, mais à des conditions d'humidité différentes (à gauche condition initiale sèche, à droite condition initiale humide).

La non linéarité de la réponse du bassin versant est mise en évidence, avec une valeur de débit de pointe ne dépassant pas les 100 m³/s pour la condition sèche et un débit de pointe de presque 500 m³/s pour la condition initiale humide.

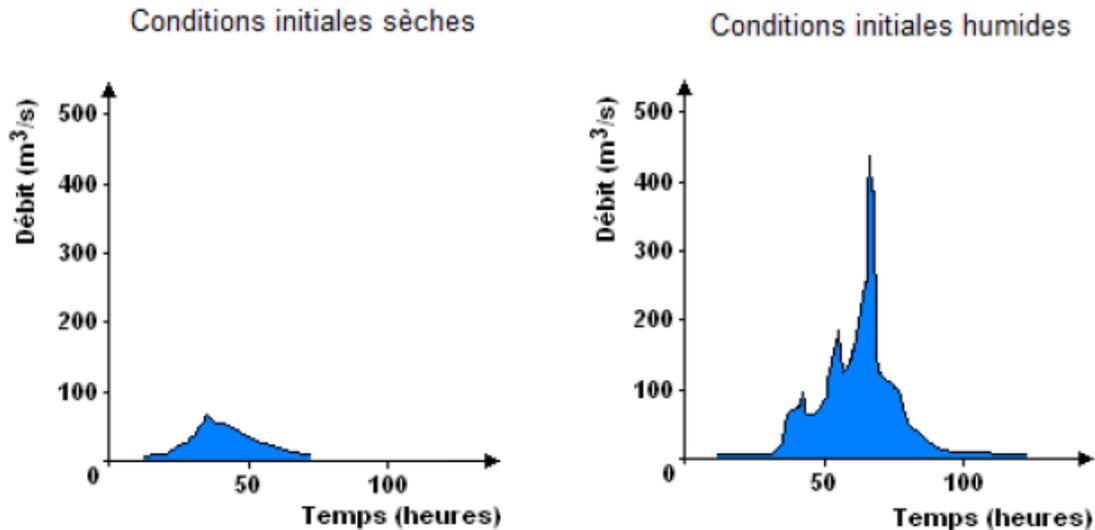


Figure 5 : Influence des conditions antécédentes d'humidité sur le comportement hydrologique d'un bassin versant [11]

[6], donne un exemple réel de différentes réponses d'un même bassin versant, soumis à des différentes sollicitations pluvieuses à des états d'humidité initiaux différents (figure 6) :

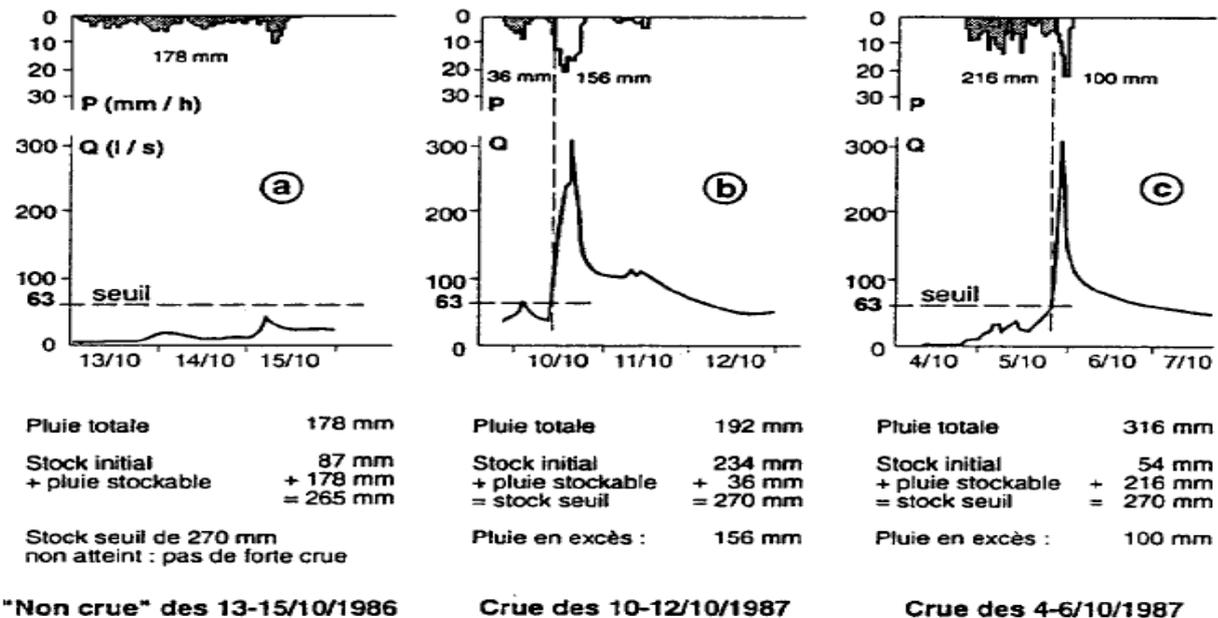


Figure 6 : Exemple de non linéarité des crues dans le petit bassin versant du Mont Lozère [12,6].

Où :

(a) et (b) : représentent deux réponses très différentes à deux sollicitations pluvieuses semblables et à deux états d'humidité initiaux différents.

(b) et (c) : représentent deux réponses semblables à des sollicitations pluvieuses différentes et à des conditions d'humidité initiales différentes.

4.2.2 Surface du bassin :

En général le débit de crue augmente si la surface du bassin augmente, plusieurs formules donnent le débit de crues en fonction de la surface de bassin dont celle donnée par [13] pour des bassins versants de surface (A) allant de 100 à 96 600 km²:

$$Q = 1.61 A^{0.70} \quad (1)$$

4.2.3 Forme du bassin :

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, et vice versa, la crue est d'autant plus pointue que le bassin est ramassé sur lui-même, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à au temps de concentration (figure7) :

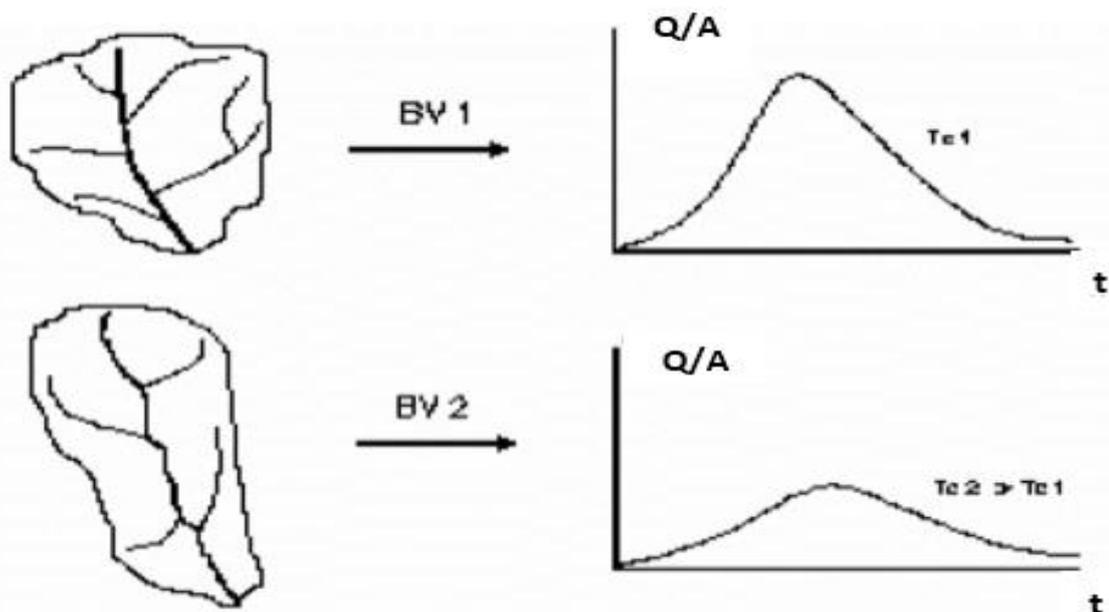


Figure 7 : Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme des crues [14]

De même que les paramètres cités précédemment, la réponse d'un bassin versant dépend aussi du relief ou de la topographie du bassin (des pentes spécialement au

sens de la vitesse d'écoulement), de la géologie (au sens de l'infiltration) ainsi que de la végétation et du taux d'interception des précipitations par les végétaux.

5. Méthodes de séparation des écoulements :

5.1 Méthodes graphiques :

a. Les méthodes simplifiées

Ces méthodes ont été proposées avec l'hypothèse d'une simplification des composantes de l'hydrogramme de crue en supposant qu'au niveau d'un cours d'eau en crue, le débit associé est le résultat de la superposition de deux Ecoulements : l'Écoulement souterrain qui provient de la vidange des aquifères du bassin versant et le ruissellement total engendré par la pluie. Ce dernier regroupe à la fois le ruissellement direct et celui retardé (hypodermique). Ces méthodes font appel essentiellement à l'expérience et au jugement de l'opérateur.

La méthode la plus simple, citée par [15], consiste à tracer une horizontale du point (A) qui marque le début de la courbe de concentration jusqu'à l'intersection (A') avec la courbe de tarissement

Une variante de cette méthode consiste à joindre par une droite le point (A) à un point (B) (point de rupture) choisi arbitrairement sur la courbe de tarissement. Le côté arbitraire de la méthode influence naturellement les proportions de mélange.

Une modification de cette méthode consiste à prolonger la courbe de ruissellement avant l'averse jusqu'au point (C) situé sur la verticale de la pointe de crue. Par la suite, (C) et (B) sont reliés [16]

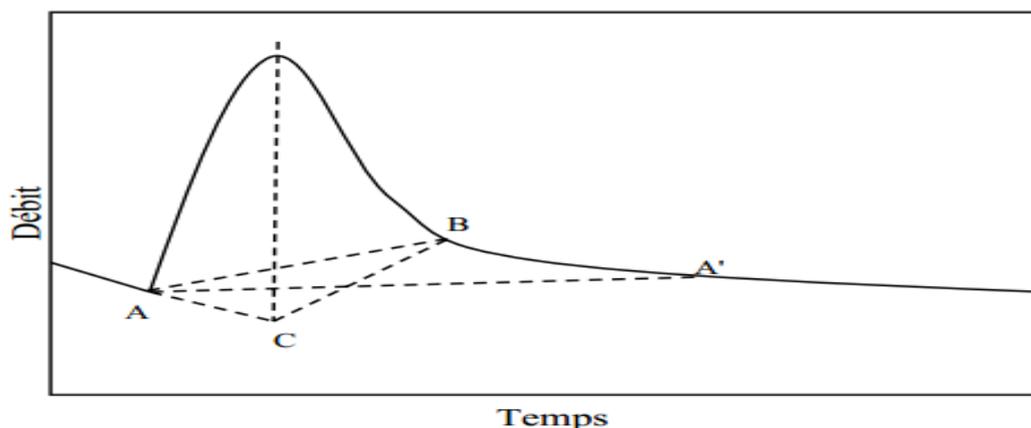


Figure 8 : Méthodes simplifiées de séparation des composantes de l'hydrogramme [15]

b. La méthode de BARNES (1939)

C'est une méthode qui permet de séparer l'hydrogramme de crue en trois composantes. Elle consiste à représenter les courbes de décrue de chacune des composantes en coordonnées semi logarithmiques par des droites de pentes différentes permettant de les séparer

En prolongeant la partie terminale de l'hydrogramme jusqu'à la verticale de la pointe (point C), on aura la courbe de décrue souterraine (ACB). En retranchant les ordonnées de cette courbe de celle de l'hydrogramme global, on obtiendra une nouvelle courbe qui sera la somme des hydrogrammes de ruissellement de surface et de l'écoulement hypodermique. Par le même principe que ci-dessus, on obtiendra une droite (DE) qui correspond à la décrue de l'écoulement hypodermique et enfin on obtient l'hydrogramme de ruissellement superficiel. C'est une méthode arbitraire ou le tracé de la montée de crue est laissé à l'appréciation de l'opérateur car les hydrogrammes de crues sont rarement simples.

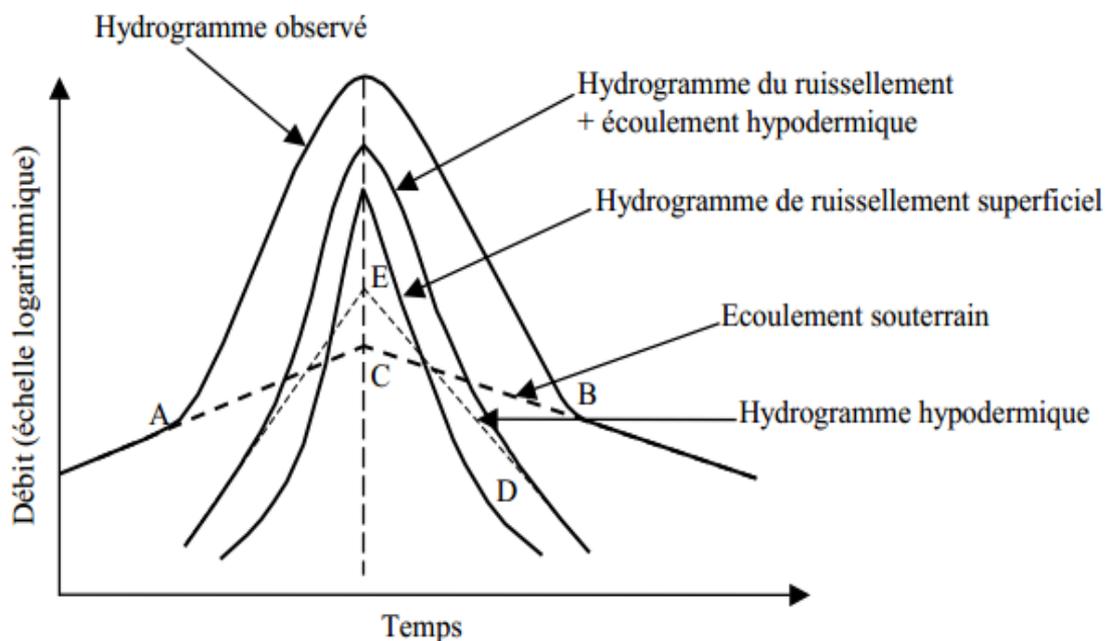


Figure 9 : Décomposition de l'hydrogramme par la méthode de BARNES [14]

5.2 Les méthodes géochimiques et isotopiques

Les méthodes graphiques simples de séparation des écoulements, très subjectives, ont été remplacées ensuite par les méthodes de séparation physico-chimiques et isotopiques ayant pour objectif de cerner la réalité des phénomènes. Au début la variation de la conductivité de l'eau a été utilisée. Cette dernière reflète la charge globale en éléments dissous. Ensuite ces méthodes ont été affinées en étudiant les

variations des concentrations de certains éléments majeurs. Enfin, les méthodes isotopiques ont été largement appliquées avec un certain succès. Ces méthodes reposent sur le traçage intrinsèque de la molécule d'eau qui permet une analyse plus rigoureuse des hydrogrammes de crue.

Le principe de calcul des méthodes chimique et isotopique de décomposition de l'hydrogramme de crue est le suivant.

En période d'étiage, le débit total de la rivière (Q_t) est uniquement dû à la vidange des aquifères du bassin versant.

$$Q_t = Q_s \quad (2)$$

La concentration (C_t) de la rivière correspond alors à la concentration (C_s) de l'écoulement souterrain.

En période de crue, l'écoulement total (Q_t) provient de la superposition de l'écoulement souterrain (Q_s) et du ruissellement total lié à la pluie (Q_p). Le ruissellement retardé sera en effet inclus dans l'une ou l'autre des composantes.

$$Q_t = Q_s + Q_p \quad (3)$$

Avec (t) l'écoulement de la rivière, (s) l'eau souterraine préexistante et (p) la pluie

Chaque composante a sa concentration chimique ou isotopique qui reste plus ou moins constante durant la crue, (C_s) pour la composante souterraine et (C_p) pour le ruissellement.

$$Q_t C_t = Q_s C_s + Q_p C_p \quad (4)$$

En éliminant (Q_p) entre les équations 3 et 4, on obtient :

$$Q_s = Q_t \frac{C_t - C_p}{C_s - C_p} \quad (5)$$

Donc la proportion de l'eau souterraine dans l'écoulement de crue est :

$$\frac{Q_s}{Q_t} = \frac{C_t - C_p}{C_s - C_p} \quad (6)$$

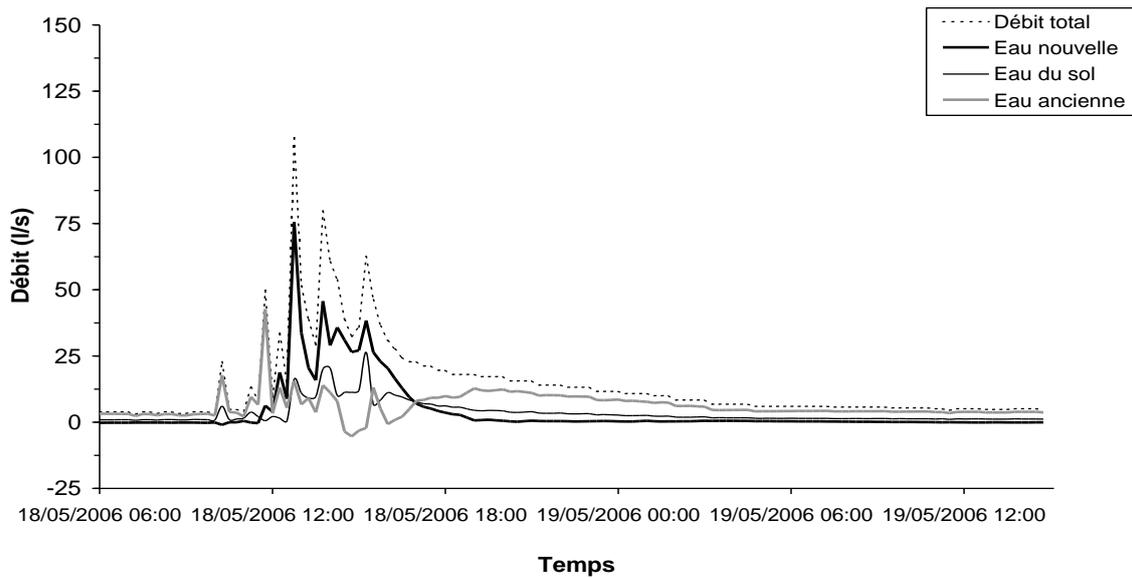


Figure 10 : Décomposition d'un hydrogramme de crue en trois composantes [17]

6. Synthèse

L'ensemble des processus de genèse des débits présentés dans cette partie forme un cycle de l'eau dans les bassins versants qui s'avère être d'une grande complexité.

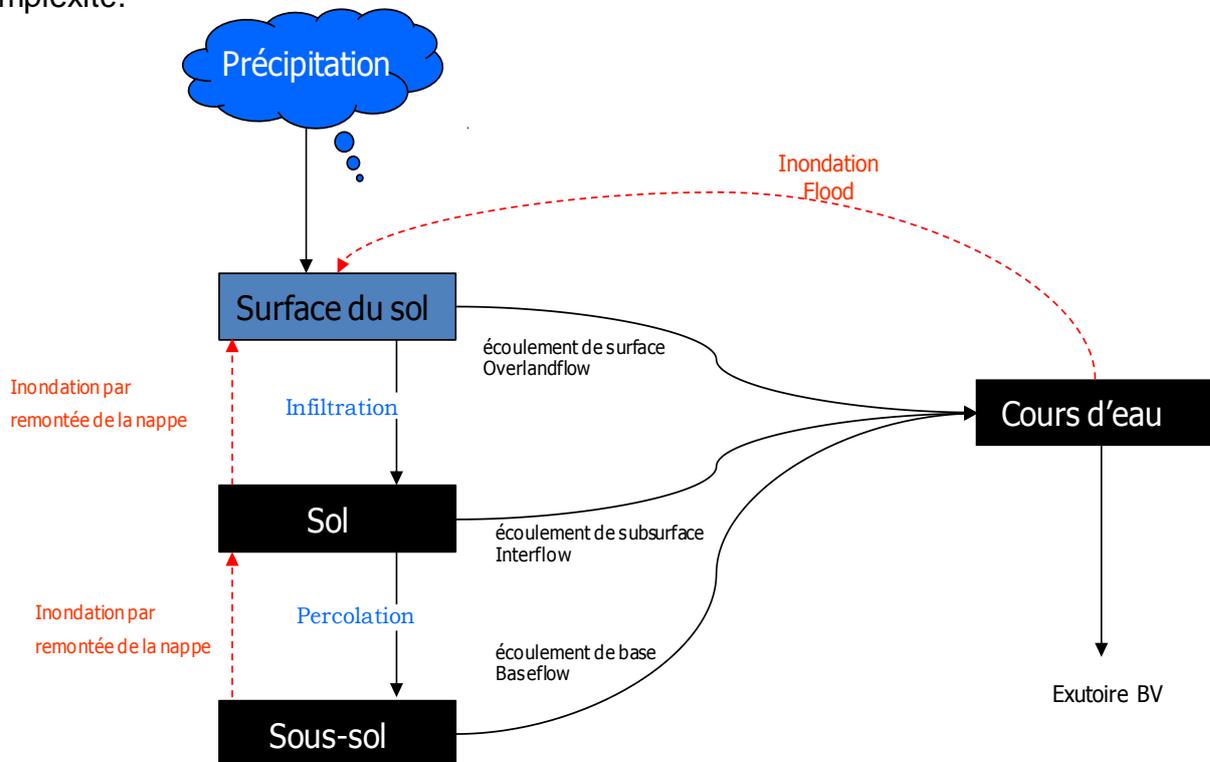


Figure 11 : Cycle hydrologique tel qu'il est représenté dans le model HEC-HMS [18]

La connaissance de ses processus est nécessaire à toute modélisation de la transformation pluie-débit. Dans les modèle pluie-débit conceptuel le bassin versant est divisé en un ensemble de réservoirs qui se remplisse et se vidange de différentes façons selon l'état hydrique du bassin versant et la nature des forçages climatiques.

L'évidence de la diversité des processus hydrologiques de production à l'intérieur du bassin versant s'est posée tout au long de ce chapitre. Ces mécanismes n'agissent pas de manière isolée mais forment un domaine continu de processus. Il s'ensuit que sur un même bassin versant, plusieurs processus concomitants peuvent intervenir durant un même événement pluvieux. De la même manière, il se peut que le type de processus change selon le type d'événement. Les crues générées durant l'été ou l'hiver ne font pas nécessairement appel au même type de processus. On comprend ainsi qu'il est difficile de caractériser l'ensemble des processus de génération de crue.

CHAPITRE II

*Technique d'Analyse des courbes de
récession de débits*

1. Définition

La courbe de récession est la partie d'un hydrogramme qui s'étend d'un pic de débit à la base de l'élévation du prochain pic en absence de nouvelles précipitations.

[3] a montré que la courbe de récession peut être définie par une relation représentant dans le temps la vidange d'un réservoir linéaire :

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad \text{or} \quad Q_t = Q_0 e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (1)$$

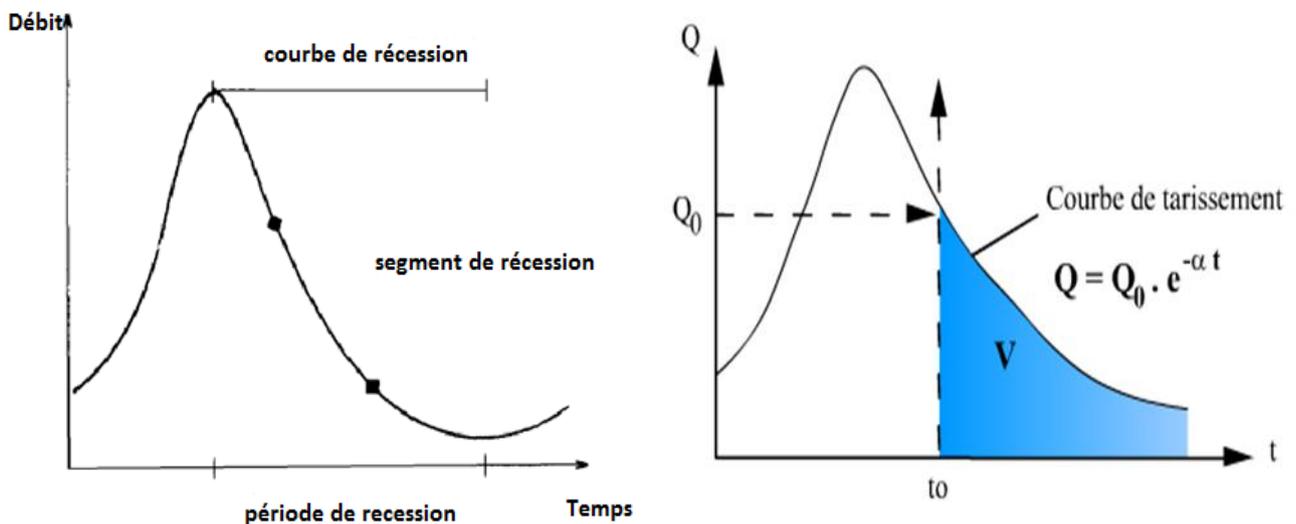


Figure 12 : Courbe de la récession, période et segment

Où Q_t est le débit au temps t , Q_0 est le débit initial au début du segment de la récession, α est une constante aussi connu comme la fréquence de coupure (f_c) et T_c est une période de récession.

Le terme $e^{-\alpha t}$ dans cette équation peut être remplacée par k , appelé le facteur ou constante de la récession, qui est couramment utilisé comme indicateur de l'étendue de débit de base. [19]

L'équation ci-dessus s'écrit alors [20-22]

$$Q = Q_0 K^t \quad (2)$$

Basé sur les équations (1) et (2), une relation entre le (fc) et K peut être expliqués sous la forme suivante

$$K = e^{-fc} \quad \text{or} \quad fc = -\ln(K) \quad (3)$$

Les fourchettes typiques des constantes de récession pour les composantes de l'écoulement à savoir : le ruissellement de surface de (0,2 à 0,8), l'écoulement hypodermique (0,85 à 0,94) et l'écoulement de base de (0.95 à 0.995) ne se chevauchent. [19] Cependant, les constantes élevées de récession (par exemple > 0,9) tendent à indiquer la position dominante du débit de base de l'écoulement fluvial.

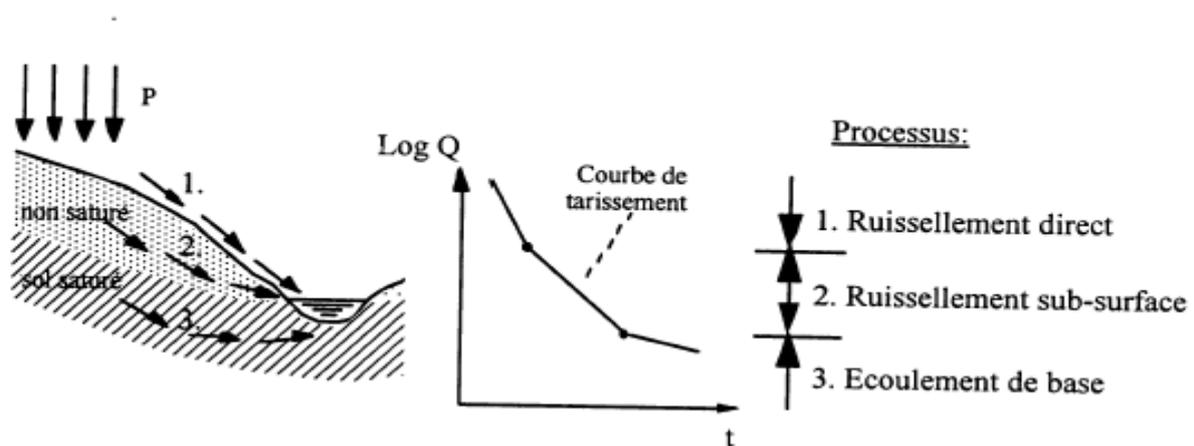


Figure 13 : Séparation des composantes à partir de la courbe de récession [21]

2. Utilisation de l'analyse des courbes de récessions

L'analyse des courbes de récession d'hydrogramme est un outil bien connu dans les recherches hydrologiques et la planification de gestion des ressources en eau. [21,23]

L'application la plus courante est la prévision des débits d'étiage, l'estimation de ressources en eau souterraine dans un bassin versant, les modèles pluie-débit et l'analyse d'hydrogramme.

[24] a utilisé le paramètre de récession de débit de base en un modèle régionale de prévision pour l'estimation de faibles débits. Ce paramètre dans le modèle de prédiction représente à la fois la conductivité hydraulique du bassin et de la porosité du sol de drainage. Dans la modélisation pluie-débit, certains auteurs ont inclus la caractéristique de récession dans leur modèle. [25] utilise le paramètre de la récession pour la séparation d'hydrogramme et la modélisation de ruissellement de surface. Plus récemment, [26] a appliqué le paramètre de récession à la génération de la série chronologique quotidienne de débit. Le paramètre de la récession a été également adopté dans la méthode de l'hydrogramme unitaire, pour [27] utilise la

constante de récession pour délimiter la partie de la récession de l'hydrogramme. Le paramètre de récession est également nécessaire pour la séparation d'hydrogramme en utilisant le filtre numérique pour la technique de séparation du débit de base. [28,22]

En raison de l'importance de la récession de l'hydrogramme en hydrologie, de nombreux chercheurs ont essayé d'analyser la caractéristique de récession.[29] a introduit une technique graphique pour la séparation de l'hydrogramme. La technique est connue comme un tracé semi-logarithmique de la récession du débit pour séparer un hydrogramme en composantes linéaires de l'écoulement de surface, hypodermique et de débit de base. Le tracé semi-logarithmique est appliqué à l'origine d'un seul segment de récession. Pour analyser un ensemble des récessions d'hydrogramme à un bassin versant particulier simultanément, la courbe maîtresse de récession est couramment utilisée [19]. En plus de la méthode graphique, le processus d'ajustement pourrait aussi être réalisé par des calculs. Récemment, [30] ont proposé une méthode pour analyser les caractéristiques de la récession basée sur la méthode de la transformée en ondelettes.

3. Méthode d'analyse des courbes de récessions :

De nombreux auteurs [31] se sont intéressés aux méthodes de construction d'une courbe moyenne de tarissement, qualifiée dans la bibliographie de courbe maîtresse (traduction de l'expression anglophone « *Master Recession Curve* »). Parmi les méthodes plus courantes, utilisées on recense la méthode des tabulations [32,21], la méthode des corrélations [33], la méthode de transformation en ondelette « *wavelet transform* ».et la méthode de « *matching strip method* ». [34, 35]

3.1 méthode de corrélations :

La méthode des corrélations [33,21] pour laquelle les auteurs proposent de corréler des valeurs de débits à pas de temps différents entre eux. Selon les auteurs, cette méthode est appliquée, soit pour déterminer la pente moyenne d'un épisode de tarissement [31], soit pour calculer le rapport $k = Q_t / (Q_0)$, en corrélant les débits Q_0 et Q à t jours (Q_t), à partir de toutes les phases observées : sur le graphique de corrélation, il est possible, en effet, de faire passer une droite de régression dans le nuage de points, aboutissant à une fonction affine d'équation : $Q_t = k.Q_0$.

Où K est une fonction de la pente de l'enveloppe de la ligne de corrélation (Q / Q_0) et l'intervalle de retard t .

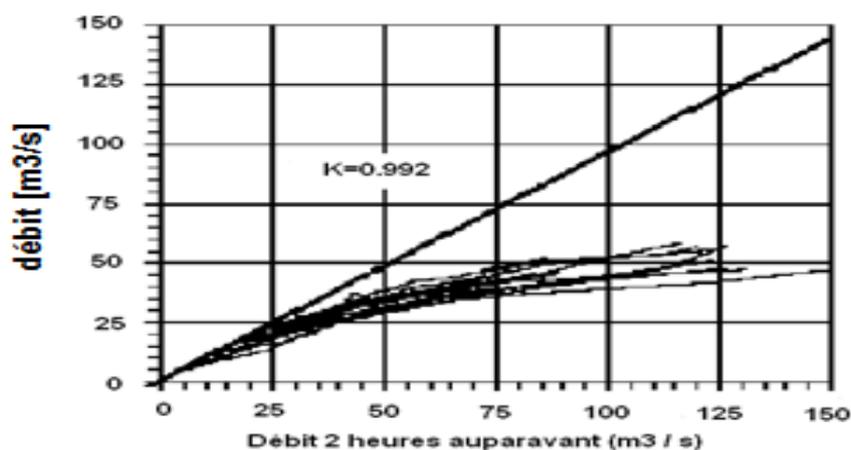


Figure 14 : méthode de corrélations pour estimer la constante récession K [36]

3.2. méthode du Matching strip :

La méthode du Matching strip implique de tracer tous les différents segments de récession individuels provenant de l'hydrogramme. Les segments sont superposés et ajustés horizontalement pour produire une séquence chevauchante. La courbe maîtresse de récession est interprétée comme l'enveloppe de cette séquence, et la constante de récession K tirés de sa pente [18,21], comme le montre la Figure15.

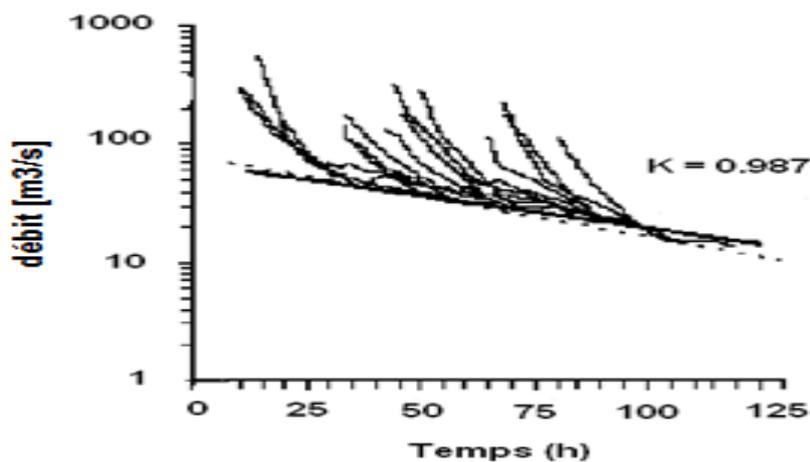


Figure 15 : méthode du Matching strip pour l'estimation de la constante de récession
K [36]

3.3. methode tabulation :

Où les données à partir des courbes de récessions multiples sont utilisées pour établir la courbe maîtresse de récession et pour faire la moyenne des débits calculée pour la période de mesure hydrométrique [32]. Des Périodes de récession sont tabulées et triés, et des débits moyens calculés pour chaque pas de temps. Ceci est fait soit de calcul [38] ou par une solution analytique [39].

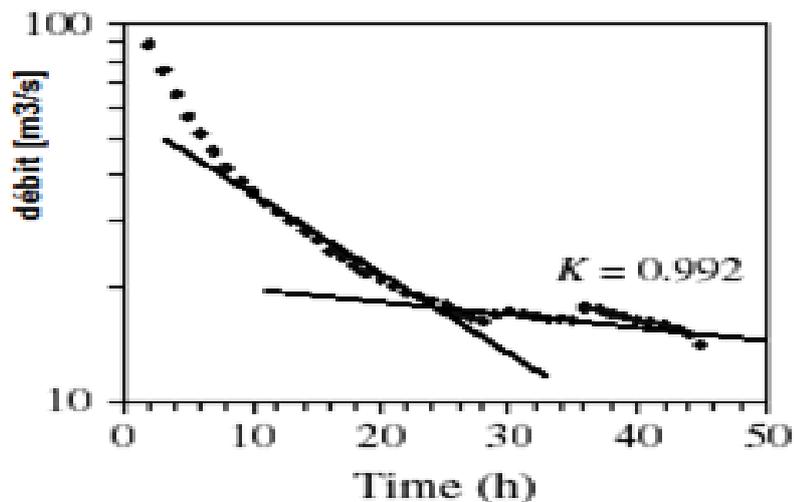


Figure 16 : methode tabulation pour estimer la constante de récession K [36]

3.4. méthode de la transformé en ondelette:

Est une technique pour décomposer un signal en ses composantes. Elle est appliquée dans des champs tels que le traitement d'images et la géophysique. La technique peut également être utilisée dans l'analyse de la récession d'hydrogramme en termes pour séparer la signature de basse fréquence du débit de base. [26]

La courbe de récession de l'hydrogramme se compose habituellement de différentes composantes de l'écoulement, c.-à-d. écoulement de surface, écoulement hypodermique et écoulement de base, ce qui signifie que les changements de la ligne de récession d'un composant à un autre composant et la fréquence.

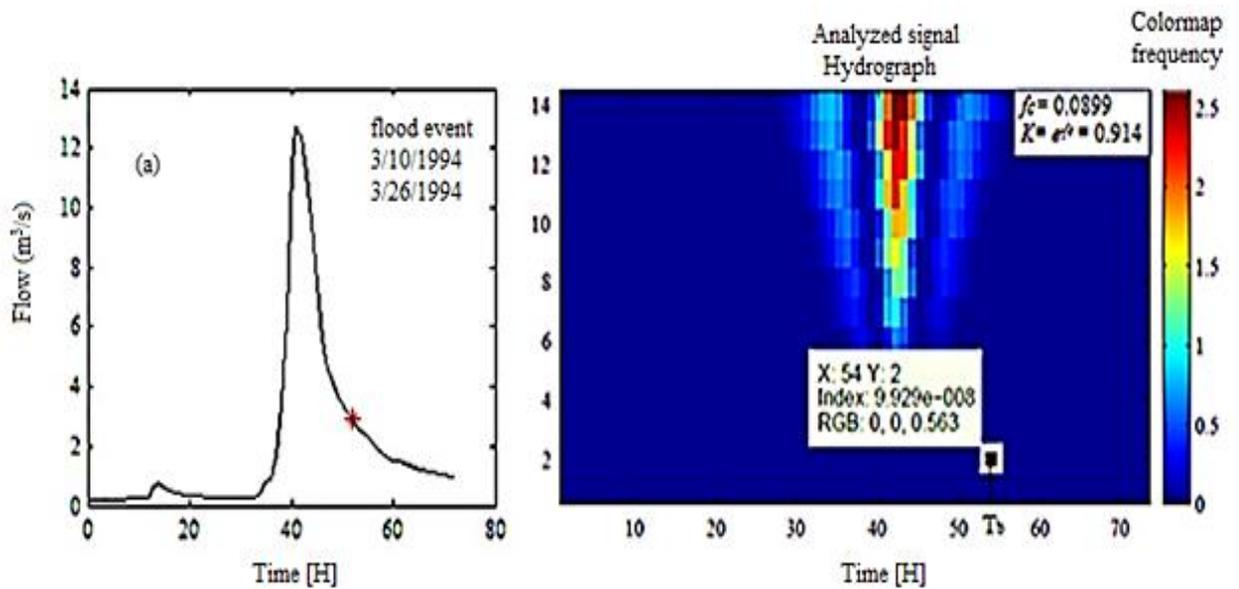


Figure 17 : Exemple d'un évènement de crue et de ses cartes d'ondelettes [40]

La composante du débit de base est donc la fréquence la plus basse qui peut être considérée comme une fréquence de coupure (f_c). En connaissant la fréquence f_c , le paramètre de la récession K peut être calculé en utilisant l'équation (3).

N.B.

Vu La diversité des méthodes d'analyse des courbes de récessions qui existe, dans la suite de notre recherche on va utiliser la méthode du Matching Strip.

CHAPITRE III

Présentation du site de l'étude

1. Présentation du site d'étude

Le bassin de la Seybouse couvre une superficie de 6862,39 km², dont l'exutoire se trouve près de la ville d'Annaba, s'étend vers le sud sur une distance de 160km, jusqu'au sa naissance dans les hautes plaines des Sellaoua et Heracta aux reliefs assez simples. Cette surface est drainé par "Oued Seybouse" qui coule du Sud vers le Nord, depuis la plaine confin de l'Atlas saharien, puis il traverse l'atlas tellien fortement accidenté et finit son parcours dans la plaine littorale d'Annaba pour enfin verser dans la mer méditerranée.

Cette zone s'occupe la superficie majoritaire des wilayas de Guelma, Annaba et El Taraf et elle est limitée :

- Au Nord par la mer méditerranée.
- Au Sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi.
- A l'Ouest par les wilayas de Constantine et de Skikda.
- A l'Est par les wilayas d'El Tarf et de Souk Ahras.

Le bassin versant de la Seybouse se composé de six sous bassins principaux, dont les trois premiers sous bassins sont appelés la haute Seybouse, et les deux sous bassins qu'ils succèdent dite la moyenne Seybouse, et le dernier est appelé la basse Seybouse.

Pour notre étude, nous avons choisi l'Oued Ressoul un petit affluent de rive gauche de l'Oued Seybouse (figure 18).

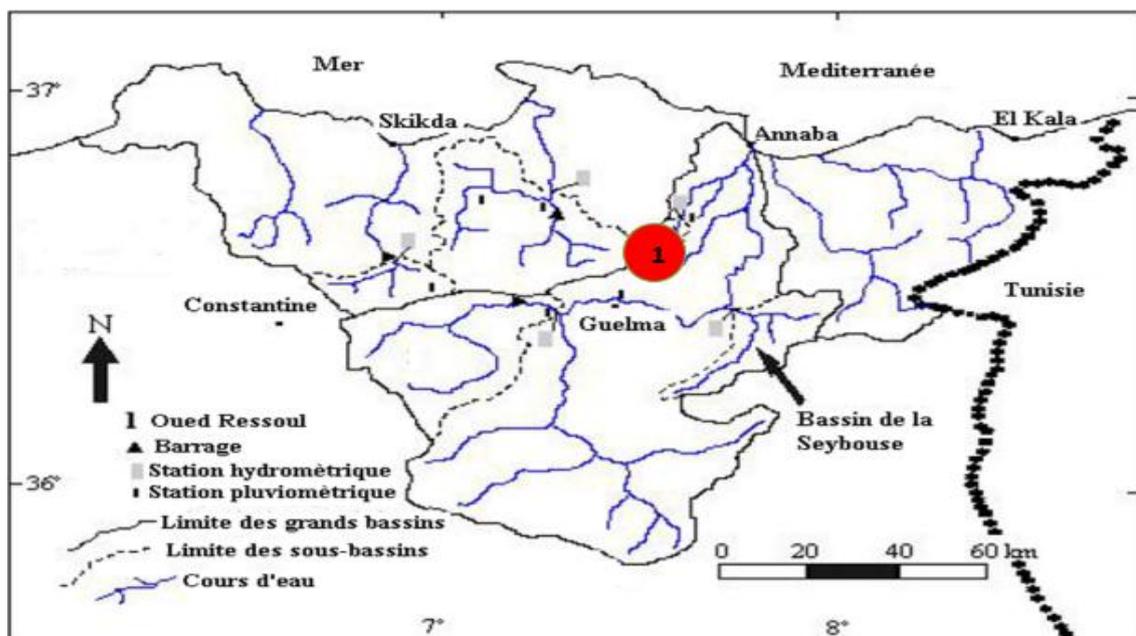


Figure 18 : Situation géographique de la zone d'étude.

Avant d'arriver à la mer, la Seybouse a fortement nivelé ces surfaces entre Dréan et Annaba et déposé sur les deux rives des bourrelets alluviaux de l'Oued Ressoul. Cet oued dessine de chevelu hydrographique du bassin de l'Oued Ressoul avec une superficie de 103 km². L'Oued Ressoul à Ain Berda, qui suit une direction presque Nord-Sud, est composé de deux affluents principaux à savoir Oued Guis à l'ouest et Oued Bouala à l'est (Figure 19). La partie méridionale du bassin exprime dans l'ensemble une certaine vigueur dans le relief dont Djebel Houara (854m) et Koudiat el Ma (939m), Kef Nsour (908m) et Koudiat Bordj Youssef (621m) donne le meilleur exemple. Le flanc nord de ces collines présente des versants aux pentes raides surmontés par des sommets aigus et souvent allongés (Djebel Houara).

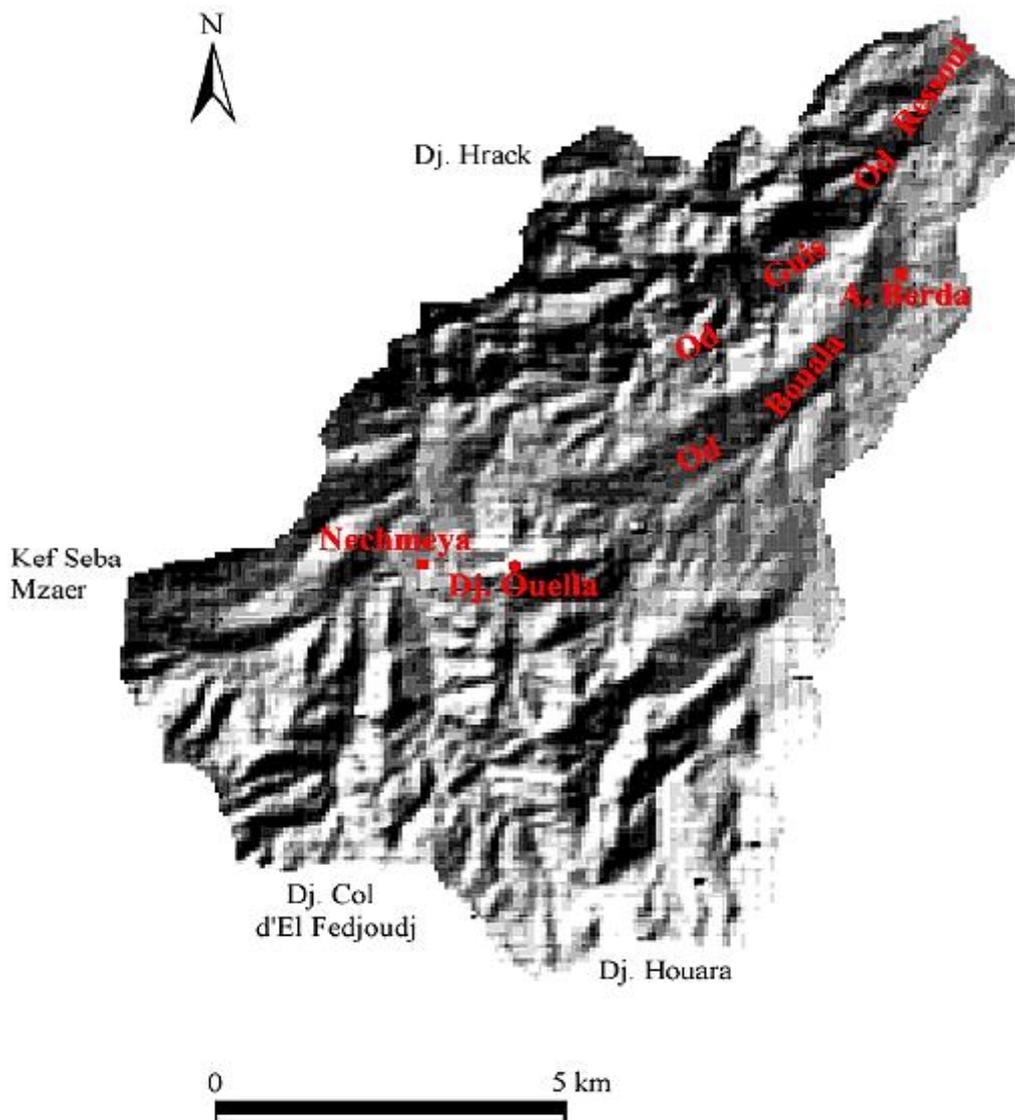


Figure 19 : sous Bassin d'Oued Ressoul [40]

2. Caractéristique de la station hydrométrique :

La station d'Ain Berda, installé en 1968 pour l'étude des ressources en eau superficielle de la plaine d'Annaba, contrôle un bassin versant de 103 km².

Tableau 1 : Caractéristique de la station hydrométrique d'Ain Berda

Oued- Station	Code	X (Km)	Y(Km)	Z (Km)	Période
O. Ressoul-Ain Berda	14 06 02	938.175	386.950	100	1997-2008

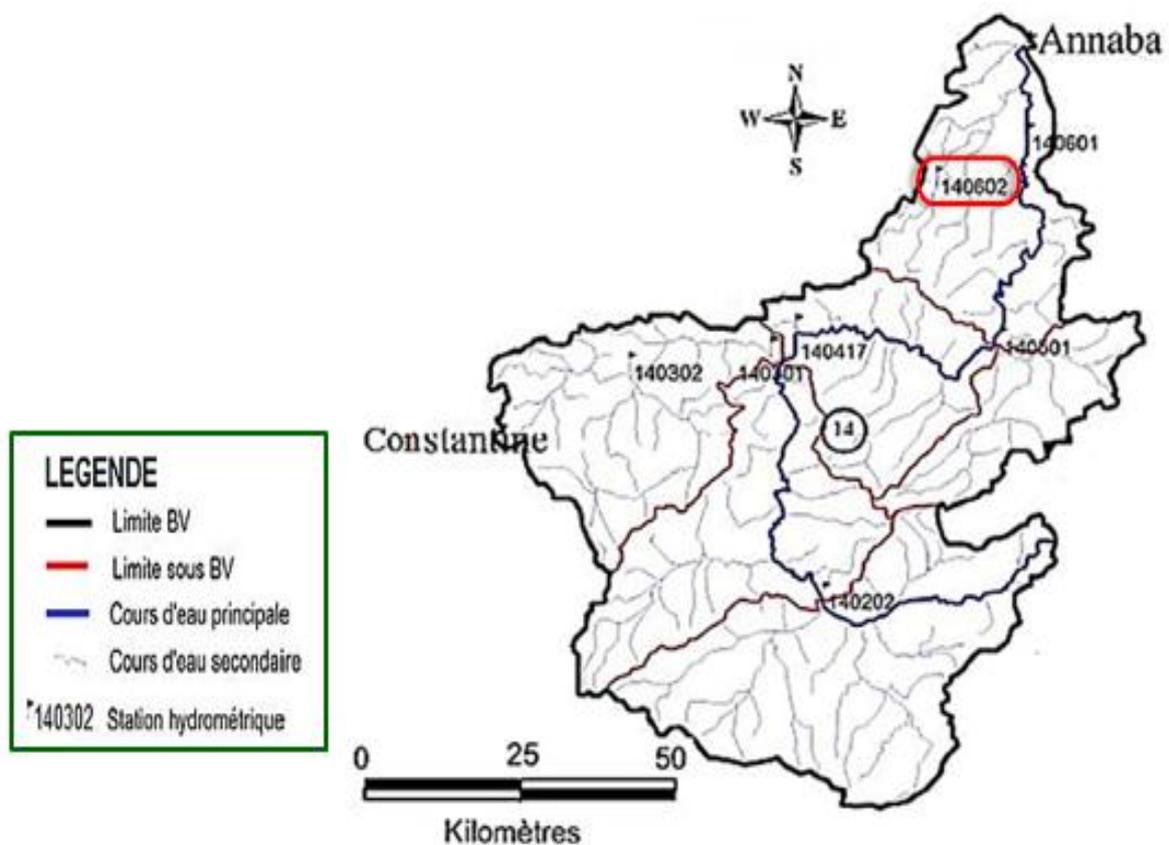


Figure 20 : localisation de la station hydrométrique d'Oued Ressoul à Ain Berda [41]

Etant donné l'instabilité du lit et la nécessité de connaître avec précision les débits les plus faibles, la station a été équipée d'un seuil jaugeur du type Parshall (figure 21). Le seuil est en béton. C'est un parshall de 90 cm.

La figure 22 donne le plan détaillé du seuil, ainsi que les profils en long et en travers.

L'équipement limnométrique comprend (figures 22 et 23) :

- une échelle composée de quatre éléments verticaux : premier d'une hauteur de 88 cm, est fixé sur la paroi du convergent, le second à une hauteur de 112 cm et les deux autres éléments sont métriques ;
- un limnigraphe pneumatique Telinnip (Neyrpic), avec réduction 1/5.

La section de l'échelle et la prise de pression du limnigraphe sont situés au premier tiers du convergent.

Le profil en travers de la section de l'échelle est parfaitement stable, grâce au seuil et au perré qui protège les berges. Au droit de l'échelle, le lit est bien encaissé (débordement en rive droite à la cote 270 cm) mais ce n'est pas le cas à l'amont, car le lit majeur se net en eau dès la cote 160.

Le profile en longe (figure 24) est assez régulier, avec une relativement forte, de 9.2 m/km (3.37 m de dénivelée en 355 m).

Les jaugeages sont faits:

- Soit à gué, 15 m à l'amont du seuil ;
- Soit avec une potence depuis le pont routier, situé à 34 m à l'amont de l'échelle (pont d'une seule portée de 14.9 m).

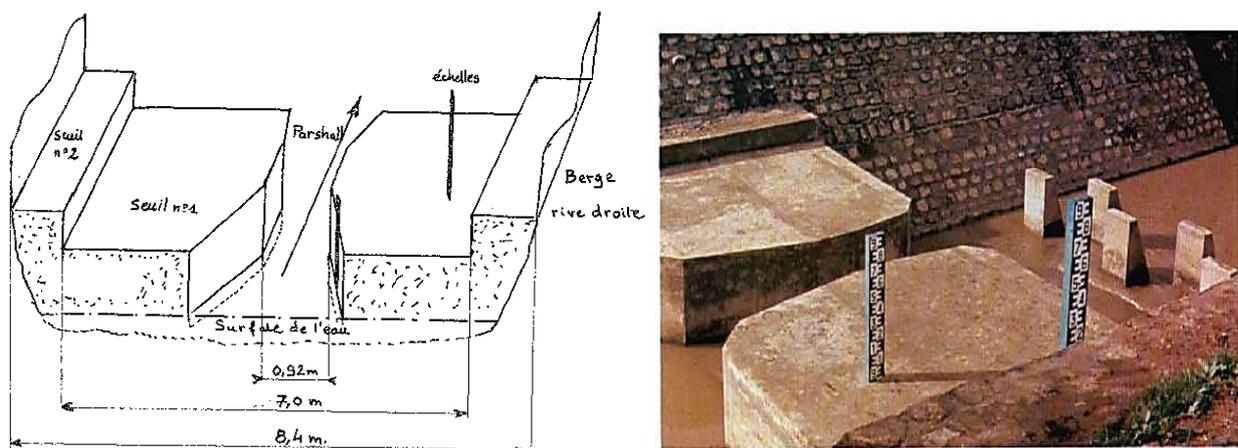


Figure 21 : Seuil PARSHALL (station d'Ain Berda)

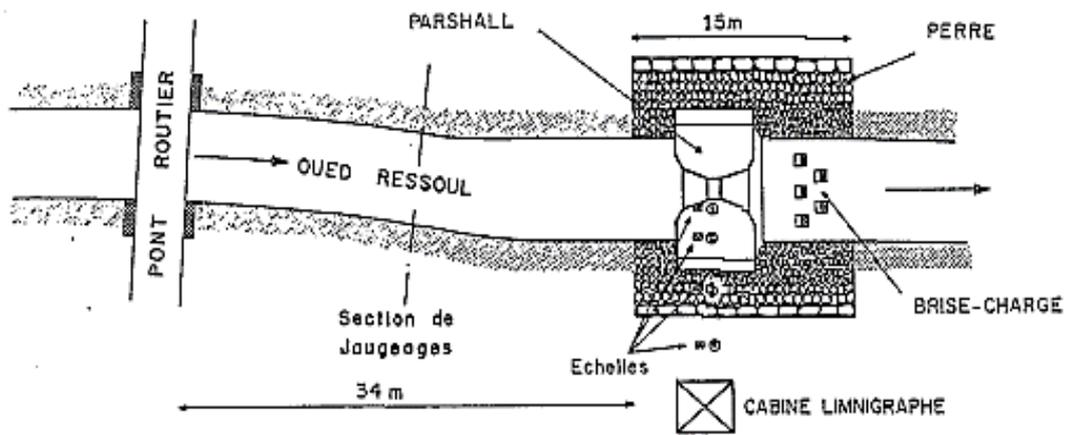


Figure 22 : Oued Ressoul Ain Berda

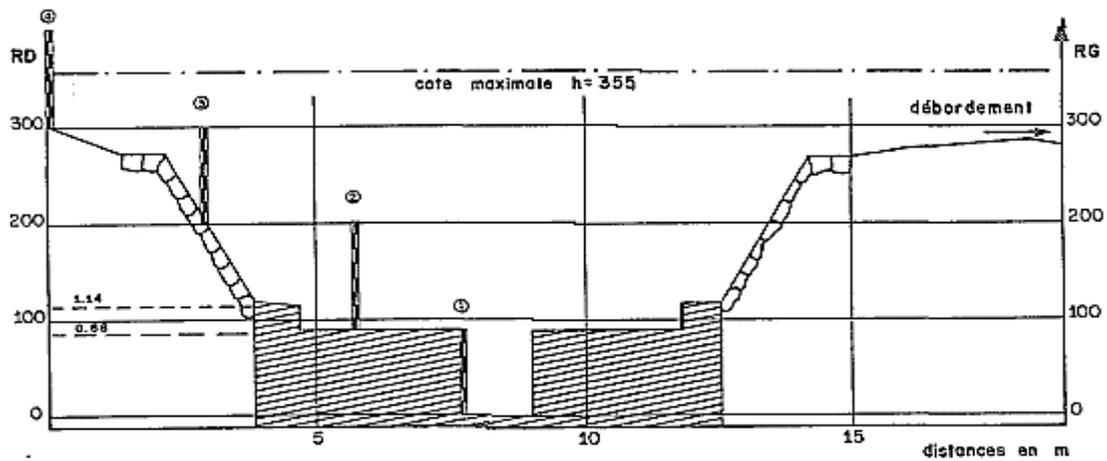


Figure 23 : profil en travers (section de l'échelle)

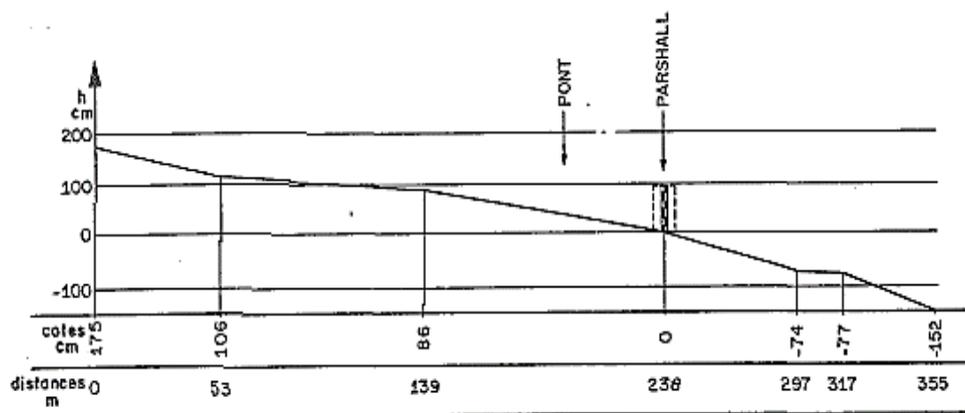


Figure 24 : profil en long

3. Donnée disponible :

Dans cette station on dispose d'une série de mesure des débits de onze années
De 1997 à 2008 a des pas de temps journalier.

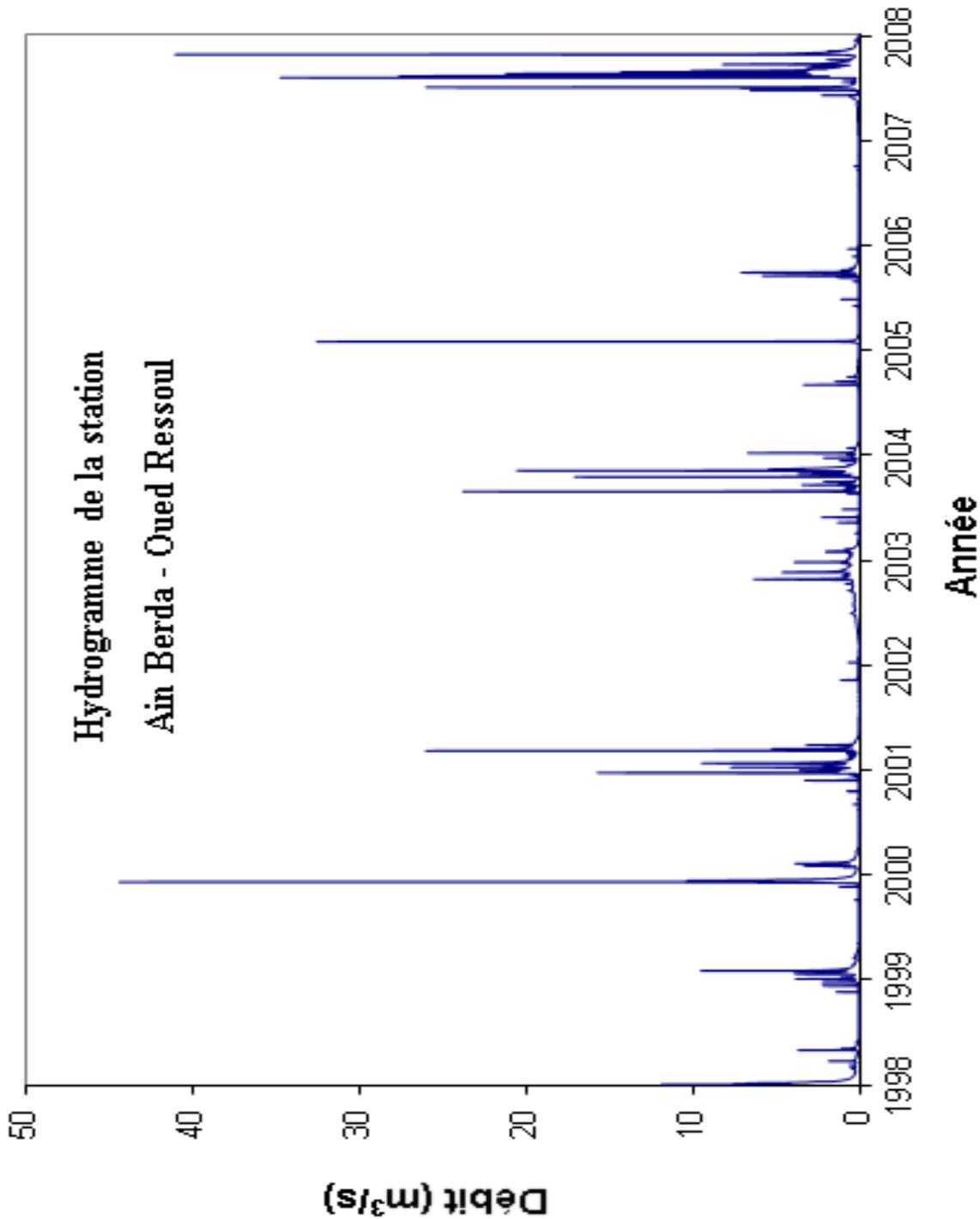


Figure 25 : Hydrogramme de la station Ain Berda pour la période de 1998 à 2008

4. Présentation du programme :

Une macro en Visual basic sous MS Excel, nous a été aimablement fournie par Kirstijan Posavec de l'université de Zagreb (Croatie) pour construire une courbe maitresse de récession (MRC) en utilisant **Matching strip method** pour l'analyse des courbes de récessions.

Après avoir défini la période de traitement de données et le stockage de l'ensemble de données dans une feuille de calcul, la première étape de calcul est la segmentation des séries chronologiques dans laquelle la série continue, est divisé en courts segments correspondant à des événements individuels de la récession.

Les segments de récession sont ensuite triés de rang du plus haut au plus bas en fonction de la valeur initiale de chaque segment de la récession est suivi de la date de conversion qui convertit le temps absolu en temps relative qui égal à zéro au début de chaque segment.

Le segment de la récession avec la plus grande valeur initiale, ci-après dénommé le segment première de la récession, est testé avec cinq différents modèles de régression (les lignes de tendance) pour ajuster les segments individuels de la récession de leurs position correctes dans MRC disponibles en format Excel soit :

- linéaire ($y = ax + b$),
- logarithmique ($y = a \ln x + b$),
- puissance ($y = bx^a$),
- exponentielle ($y = be^{ax}$).

Il est noté que y désigne le niveau des eaux souterraines et x le temps

Le modèle qui correspond le mieux au premier segment de la récession est choisi et désigné comme la courbe de régression en premier.

Le critère utilisé dans le programme pour sélectionner le modèle le plus approprié est le coefficient de détermination R^2 . Avec les valeurs de la gamme R^2 entre 0 et 1 et indiquer la façon dont la ligne de tendance décrit les données. La ligne de tendance est plus fiable lorsque R^2 est proche de 1

L'organigramme de calcul est le suivant :

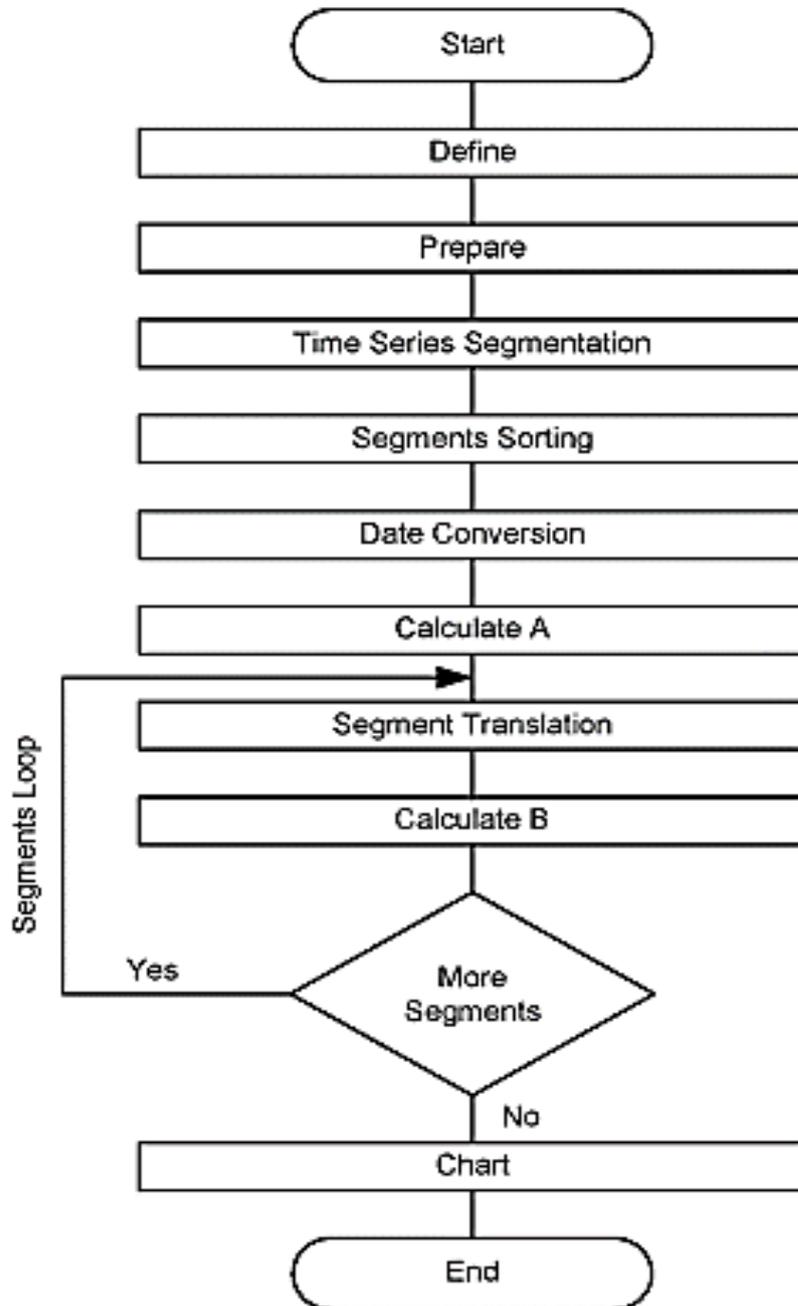


Figure 26 : Structure du programme

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

1. INTRODUCTION

Dans notre recherche nous avons utilisé des données de débit sur une période de onze années de 1/09/1998 à 31/08/2008.

Nous prenons une année hydrologique complète à partir du début de la saison des pluies jusqu'au retour du débit du cours d'eau son ca valeurs initiales avant début de la saison des pluies.

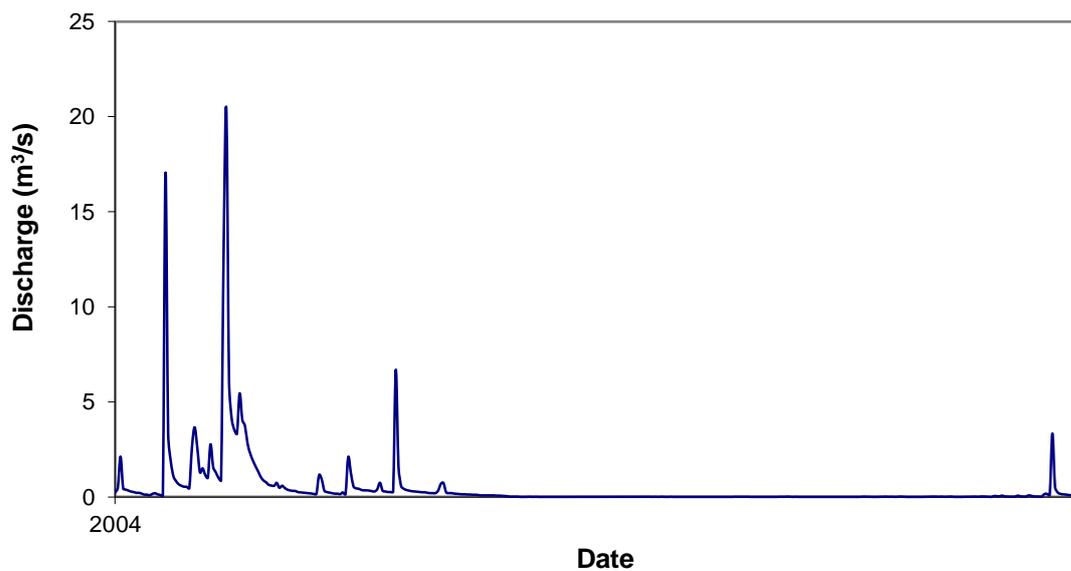


Figure 27 : Hydrogramme enregistré en 2004

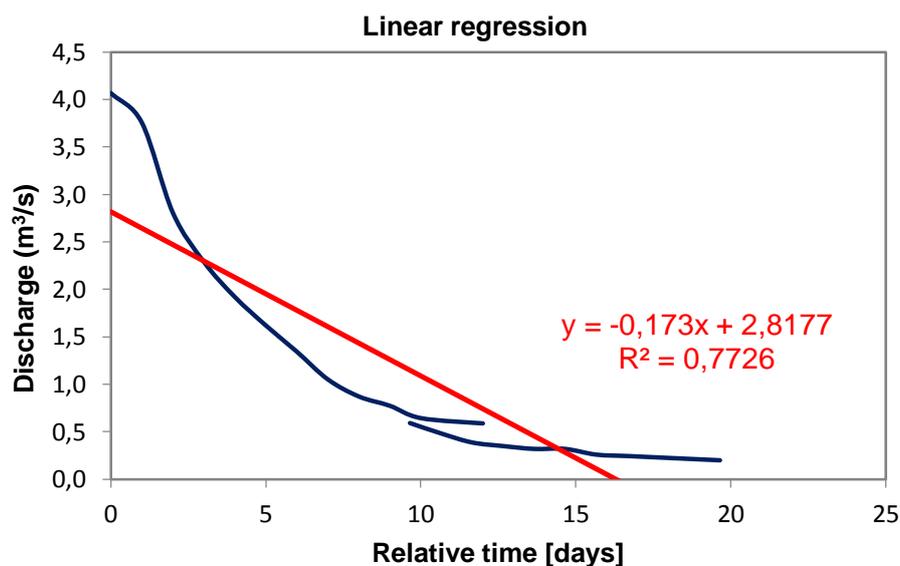


Figure 28 : courbe de récession par régression Linéaire

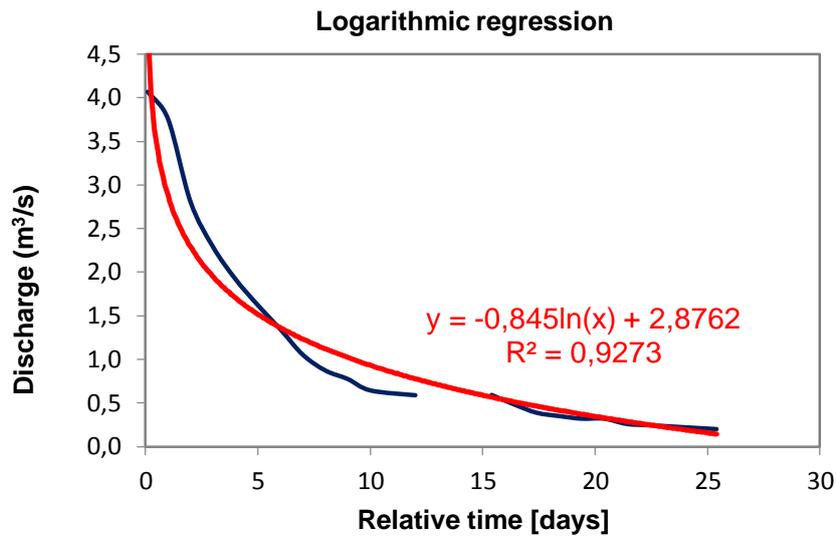


Figure 29 : courbe de récession par régression Logarithmique

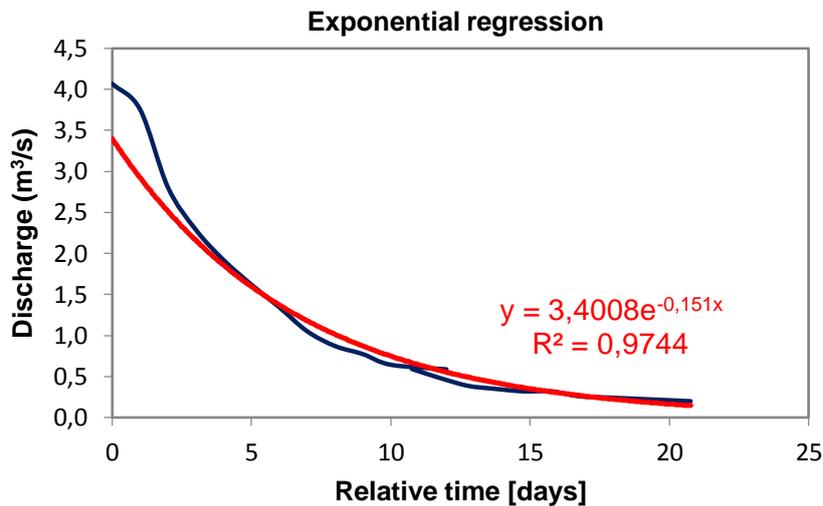


Figure 30 : courbe de récession par régression exponentiel

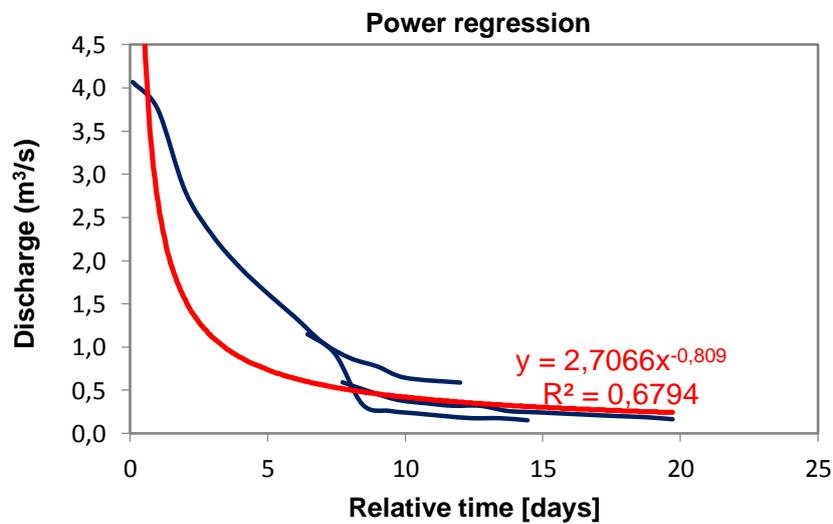


Figure 31 : courbe de récession par régression puissance

Le reste des résultats est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 1 : résumé des résultats durant la période 1998 -2008

Période de récession		Coefficient de détermination R ²			
Début	Fin	Linear	Power	Exponentiel	Logarithmic
08/01/1998	12/02/1998	0,72	0,86	0,94	0,91
21/02/1999	30/03/1999	0,73	0,89	0,95	0,98
18/03/2000	19/04/2000	0,79	0,88	0,96	0,97
21/05/2001	26/06/2001	0,78	0,86	0,96	0,99
13/01/2002	08/02/2002	0,84	0,79	0,92	0,93
04/05/2003	08/06/2003	0,93	0,86	0,96	0,94
18/02/2004	14/03/2004	0,77	0,68	0,97	0,93
26/05/2005	18/06/2005	0,33	0,98	0,76	0,75
03/02/2006	26/03/2006	0,42	0,91	0,87	0,87
08/12/2007	25/12/2007	0,51	0,94	0,87	0,95
07/04/2008	04/05/2008	0,78	0,89	0,97	0,96

D'après notre analyse nous ne retrouvons que les courbes de récessions s'ajuste bien à la loi d'exponentiel

2. Séparation de l'hydrogramme des crues du 24/01/1999 à la station d'Ain Berda

Dans cette analyse nous essayons de retrouver la composition et l'origine des écoulements de chaque crue. A cet effet, nous prenons une période des crues du 24/04/1999 au 01/04/1999 qui contient plusieurs pics successifs de crue enregistré à la station d'Ain Berda.

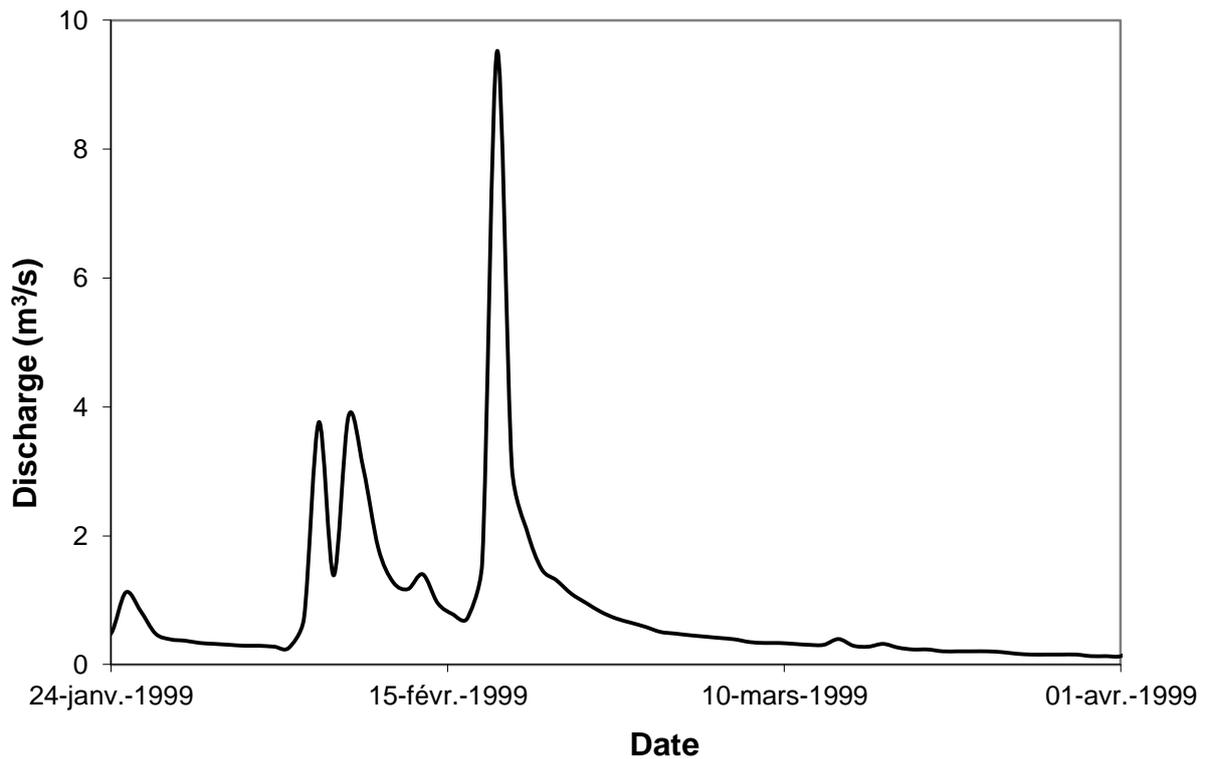


Figure 32 : Hydrogramme de crue enregistré du 24/01/1999 au 01/04/1999 à la station d'Ain Berda.

La procédure de séparation de l'hydrogramme des crues s'est faite en deux façons :

1. Séparation en deux composantes
2. Séparation en trois composantes

Les résultats sont comme suit :

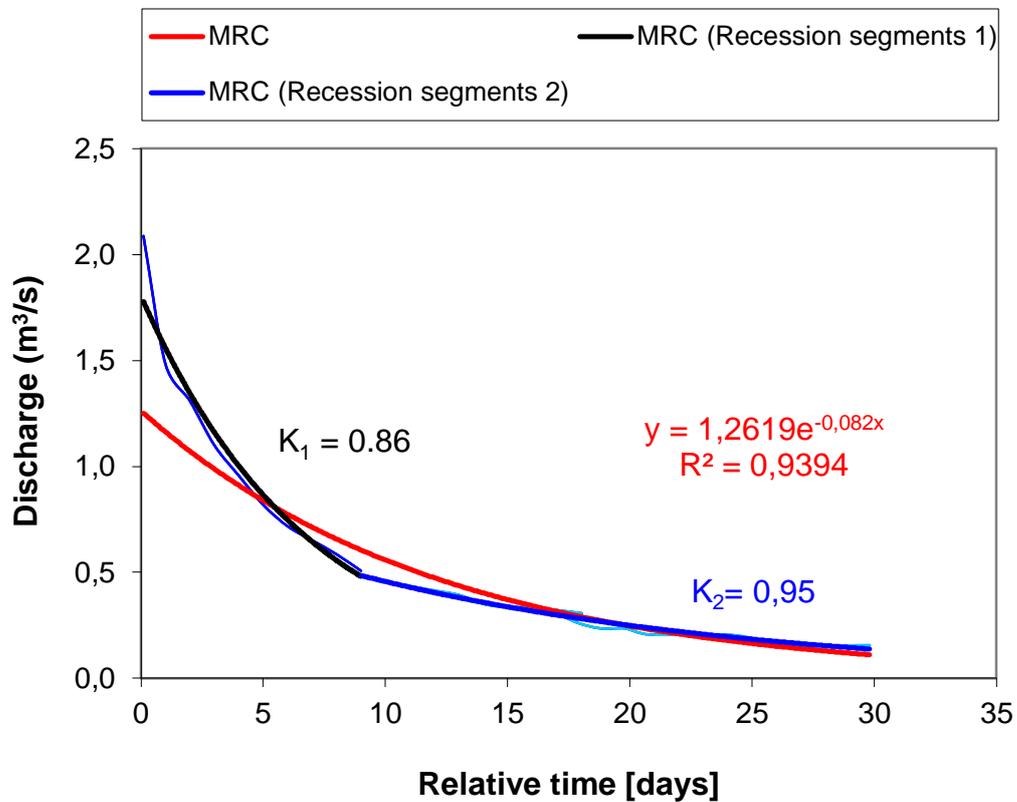


Figure 33 : Séparation des courbes de récession en deux composantes à la station d'Ain Berda

La figure 33 montre la séparation des courbes de récession du crue en deux composantes (2 segment de récession) indiquent deux sorties totalement différent, la ligne noire du premier segment représente la composante de l'écoulement hypodermique avec une valeur de $K_1 = 0.86$, et la ligne bleu avec une valeur de $K_2 = 0.95$ représente la composante de l'écoulement de base.

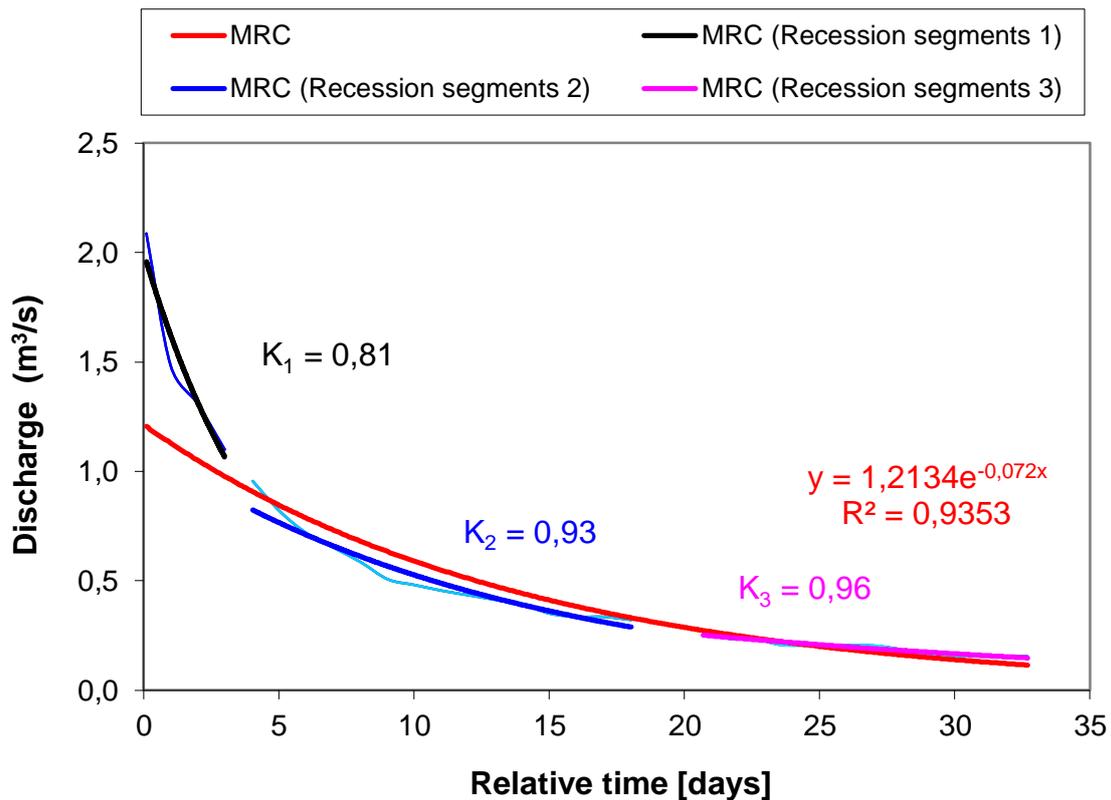


Figure 34 : Séparation des courbes de récession en trois composantes à la station d'Ain Berda

La figure 34 montre la séparation des courbes de récession en trois composantes (3 segment de récession) est le résultat de trois différents type de l'écoulement à savoir : le ruissellement de surface, l'écoulement hypodermique et l'écoulement de base selon les valeurs typiques de la constante de récession K.

3. Séparation de l'hydrogramme des crues du 23/01/2006 à la station de Ain Berda

Dans cette analyse nous essayons de faire connaître la contribution de chaque composante de l'écoulement dans la formation de ces crues, durant la même période du 23/01/2006 au 30/03/2006 enregistré à la station de Ain Berda

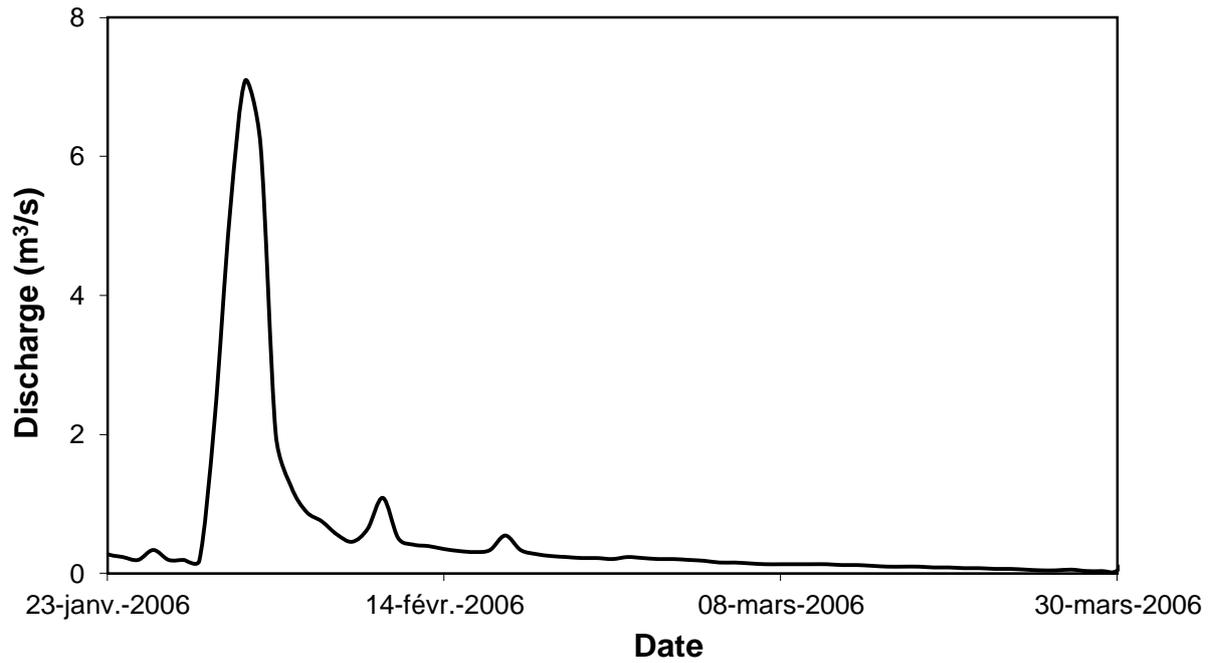


Figure 35 : Hydrogramme de crue enregistré du 23/01/2006 au 30/03/2006 à la station d'Ain Berda.

Les résultats de la séparation des crues du 23/01/2006 au 30/03/2006 en deux et en trois composantes sont illustrés dans les figures 36 et 37.

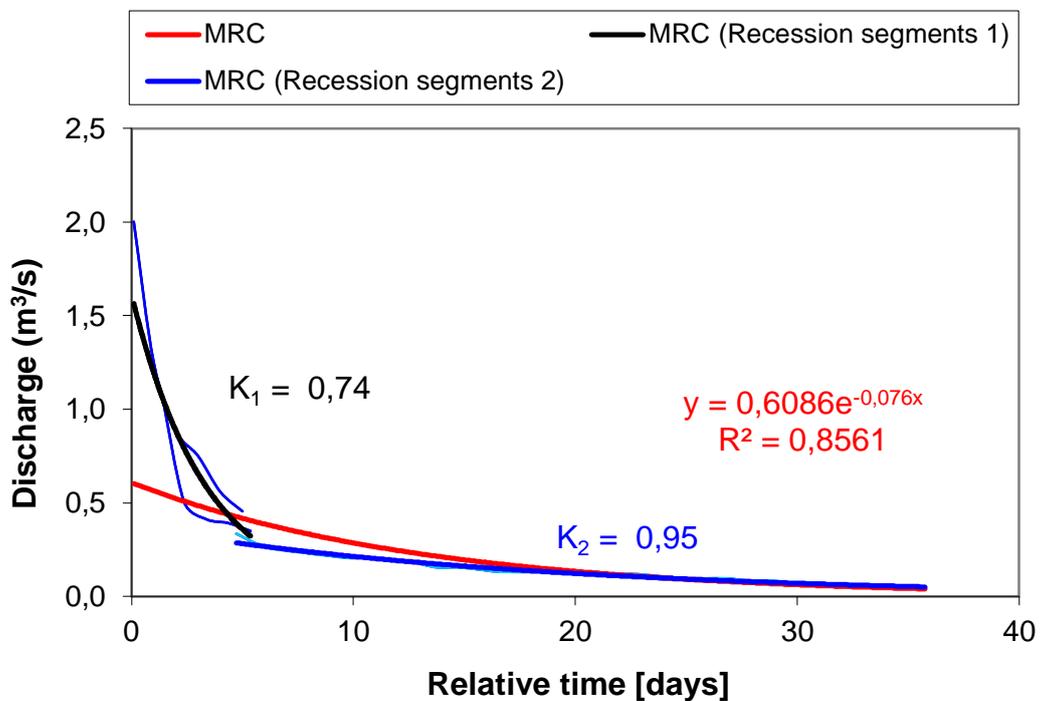


Figure 36 : Séparation des courbes de récession en deux composantes à la station d'Ain Berda

La figure 36 montre deux courbes de récession contient une composante différente à celle de l'année 1999, la ligne noire du premier segment représente la composante du ruissellement de surface avec une valeur de $K_1 = 0.74$, et la ligne bleu avec une valeur de $K_2 = 0.95$ représente la composante de l'écoulement de base en absence de l'écoulement hypodermique. Cela démontre un processus différent de formation de ces crues.

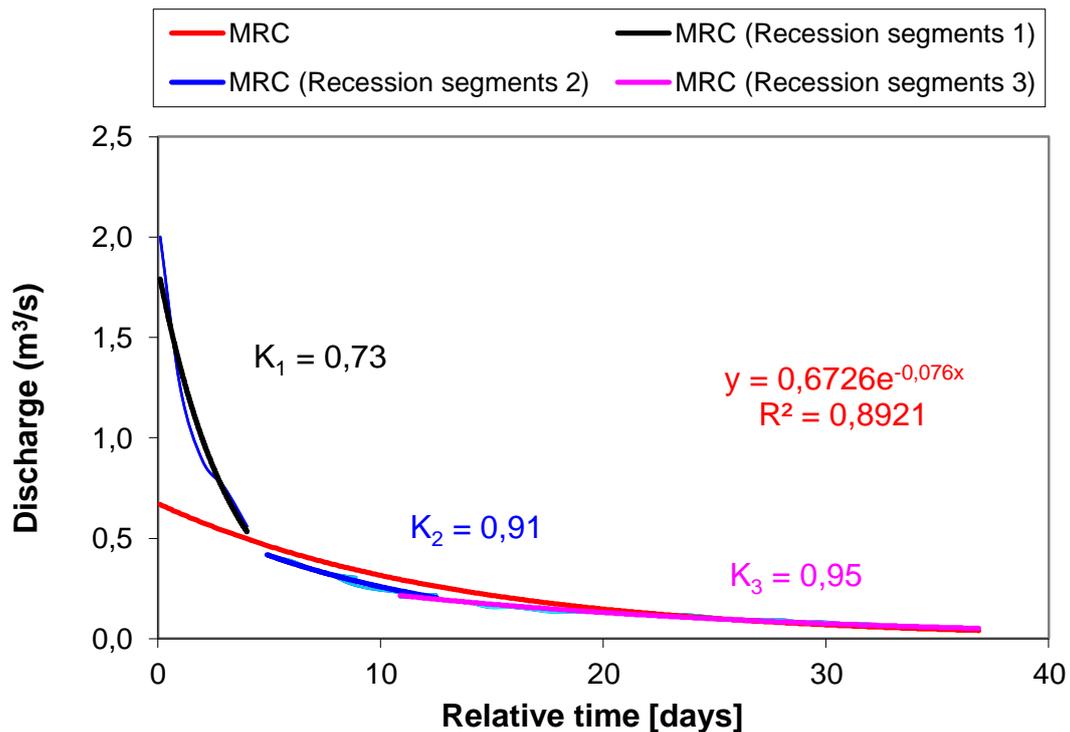


Figure 37 : Séparation des courbes de récession en trois composantes à la station d'Ain Berda

La figure 37 illustre le résultat de trois composantes de l'écoulement : ruissellement de surface, écoulement hypodermique et écoulement de base selon les valeurs typiques de la constante de récession K .

4. Interprétation graphique des composantes de l'écoulement sur l'hydrogramme du débit total

Basé sur les figures 29, 30, 32 et 33 nous pouvons représenter sur l'hydrogramme du débit total la contribution de chaque composante de l'écoulement dans la formation des crues.

a) Représentation des deux composantes de l'écoulement

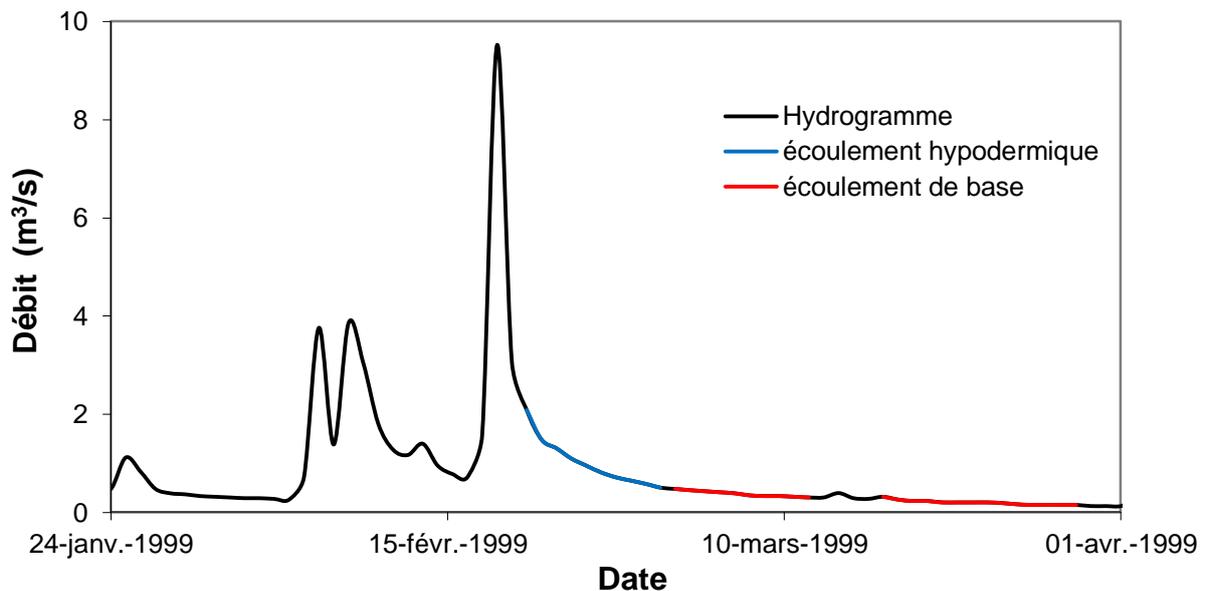


Figure 38 : La contribution des deux composantes de l'écoulement séparé pour la crue du 24/01/1999

Conformément à la figure 38, nous observons que le débit mesuré à la pointe de crue est principalement assuré par de l'eau issue des couches souterraines du sol (18.71%).

En revanche, la crue du 23 janvier 2006 (figure 39) la participation de l'écoulement de surface au pic de crue est de (17.67%) pendant la décrue, tandis que la participation de l'écoulement de base lors du tarissement est de 9.87 % par rapport au débit total.

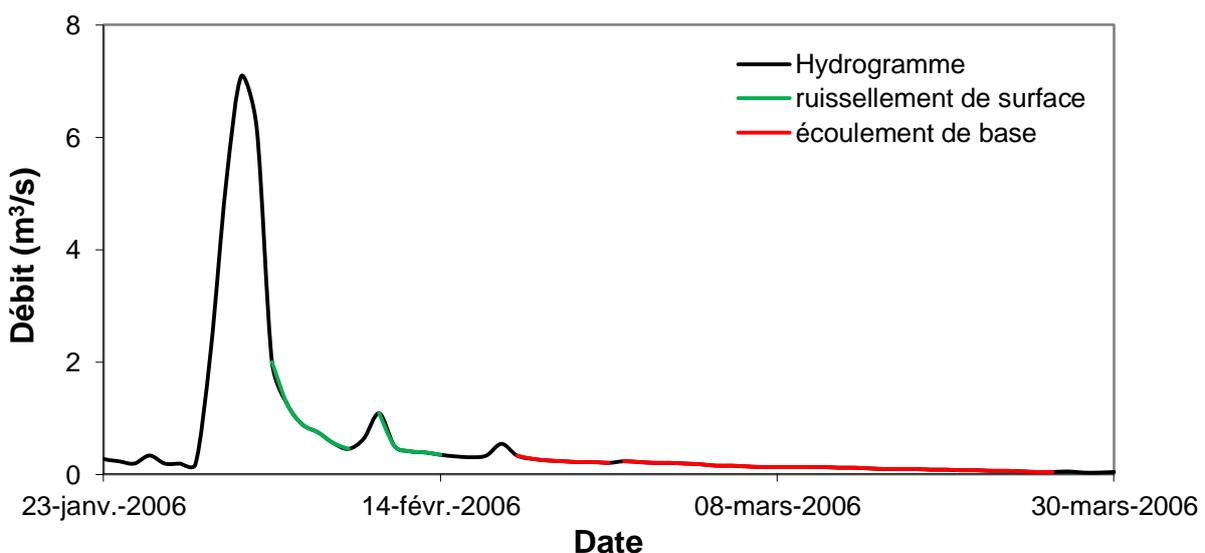


Figure 39 : La contribution des deux composantes de l'écoulement séparé pour la crue du 23/01/2006

b) représentation des trois composantes de l'écoulement

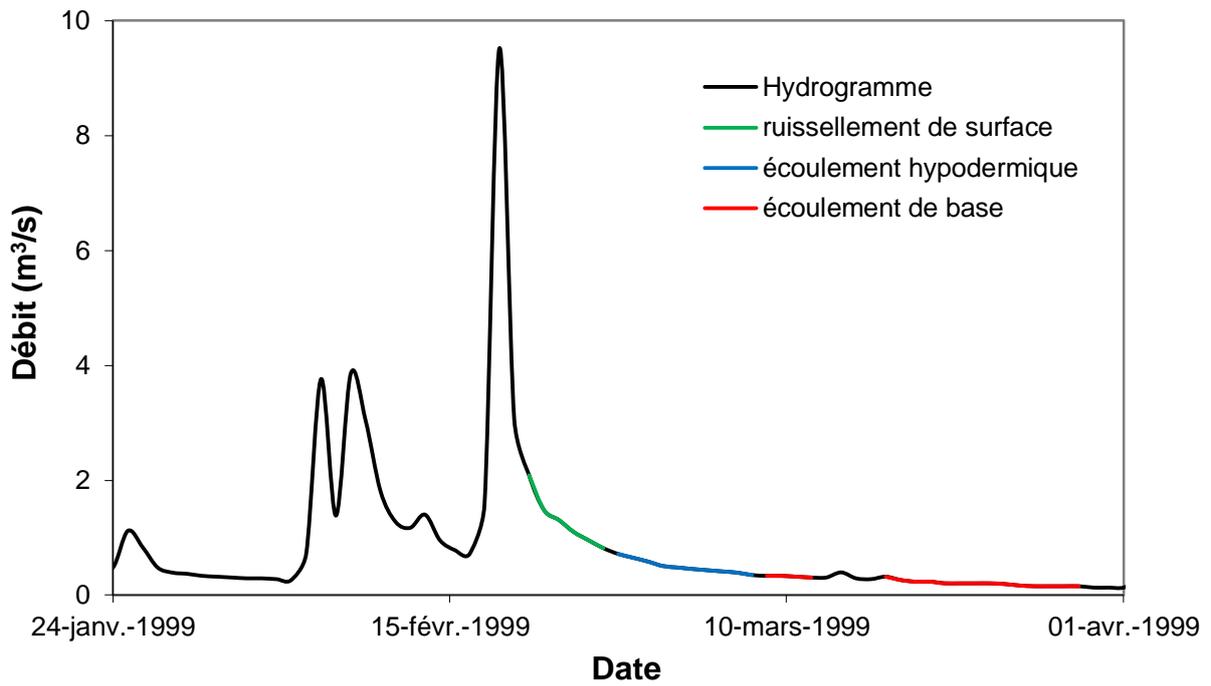


Figure 40 : La contribution des trois composantes de l'écoulement séparé pour la crue du 24/01/1999

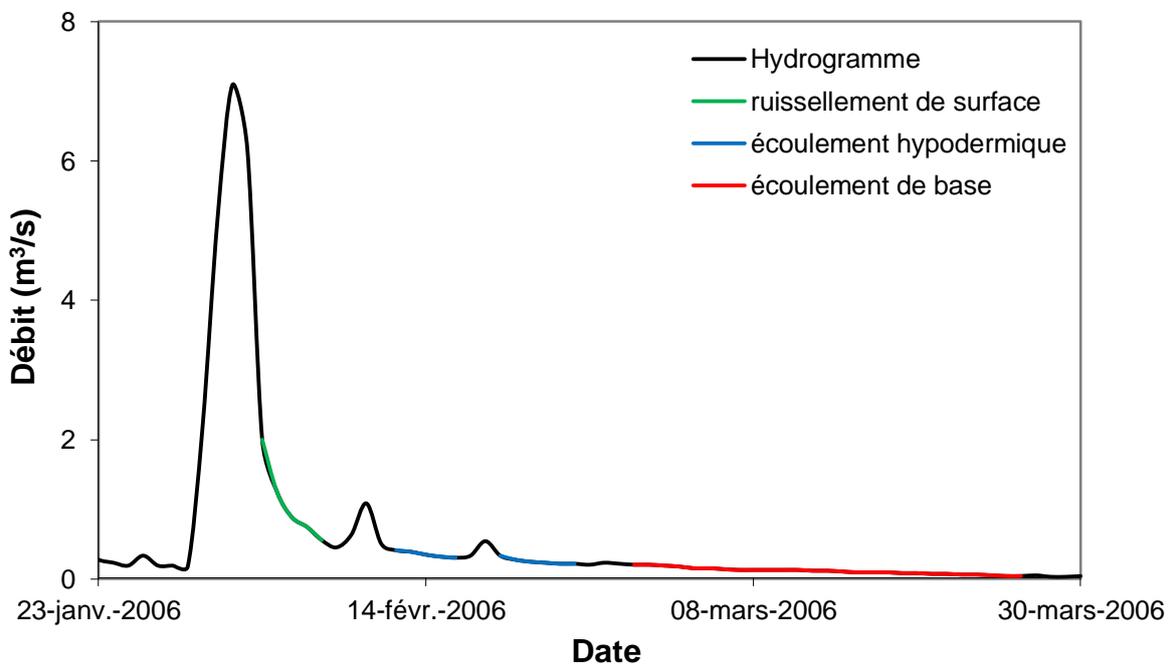


Figure 41 : La contribution des trois composantes de l'écoulement séparé pour la crue du 23/01/2006

Les figures (40 et 41) illustrent les différentes composantes de l'hydrogramme. Pour la phase de crue, les deux composantes qui alimentent le débit de pointe sont le ruissellement de surface et l'écoulement hypodermique. Tandis que pour la phase de décrue, c'est le tarissement de l'écoulement hypodermique et l'écoulement de base qui y participent.

Nous relevons que l'hydrogramme des crues enregistré à la station de Ain Berda durant la période du 24/01/1999 au 01/04/1999 provoquée par des processus souterrains, c'est la composante de l'écoulement de subsurface qui domine (15 jours) avec une participation de 12.09% du débit total.

En revanche, on observe que l'hydrogramme de crues enregistré du 23/01/2006 au 30/03/2006 provoquée par des processus superficiels, la participation de l'écoulement de surface est important que celle de l'année 1999.

Ce qu'on peut dire pour conclure sur la contribution de chaque composante de l'écoulement pour les deux hydrogrammes enregistré à la station d'Ain Berda, c'est que la formation des crues résulte la conjonction de deux familles de processus, superficiels et souterrains.

Conclusion

La séparation des composantes de l'hydrogramme est reliée à la compréhension des processus générateurs d'écoulement de crue dans les bassins versants. Dans notre étude nous avons fondé la séparation de ces composantes à partir de la courbe de récession, l'utilisation des valeurs typiques des constantes de récession nous a permis de retrouver la composition de chaque crue et l'origine des écoulements de la crue.

L'importance de ces résultats vient du fait qu'il n'existe pas de méthode rapide permettant simultanément de séparer les hydrogrammes de crue en trois composantes. Cette technique allie justement fiabilité et rapidité dans l'identification de ces composantes pendant la crue. Elle pourrait de ce fait rapidement devenir un outil indispensable, en particulier lorsqu'il s'agit de grands ensembles de données par rapport aux méthodes traditionnelles.

Conclusion générale

Dans cette recherche nous avons abordé le sujet des processus hydrologiques de production à l'intérieur du bassin versant et les méthodes de leurs analyses. Nous avons fait une recherche bibliographique sur les principaux processus d'écoulement ainsi que les facteurs contrôlant leur apparition. Il apparaît dans la littérature scientifique qu'il existe plusieurs processus et cheminement que prend l'eau dans un bassin versant avant d'arriver à son exutoire.

La connaissance de ses processus est essentielle avant toute modélisation de la transformation pluie-débit. Dans le modèle pluie-débit conceptuel le bassin versant est divisé en un ensemble de réservoirs qui se remplissent et se vidangent de différentes façons selon l'état hydrique du bassin versant et la nature des forçages climatiques.

La séparation des composantes de l'hydrogramme de crue a pour objectif de quantifier la participation des différents types d'écoulement aux débits mesurés à l'exutoire d'un bassin versant lors d'une crue. Dans notre étude nous avons fondé la séparation de ces composantes à partir de la courbe de récession, l'utilisation de la technique du Master Récession Curves et la constante de récession K nous a permis de retrouver la composition de chaque crue et l'origine des écoulements dans le bassin versant de l'Oued Ressoul.

L'emploi de cette procédure permet d'extraire successivement une composante de ruissellement superficiel, puis d'écoulement hypodermique et enfin, une composante d'écoulement souterrain. Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- L'analyse des Master Recession Curves nous a permis de déterminer les composantes de la courbe de récession.
- Dans certaines situations il y a deux composantes dans l'écoulement : écoulement hypodermique et écoulement de base la crue est dite de fond.
- D'autres événements présentent des courbes de récessions à trois composantes : ruissellement de surface, écoulement hypodermique et écoulement de base.
- Le modèle de transformation pluie-débit sera un modèle à trois composantes.
- Certaines mesures donnent des résultats aberrants, c'est probablement dû à la qualité des mesures (erreur de mesure ou de stockage).

En perspective du travail nous proposons de continuer l'analyse des processus de formation des écoulements en utilisant les valeurs de la constante de récession (K) et le débit initial (Q_0) obtenus pour chaque événement de crue comme paramètre d'entrée avec le module du débit de base sous la plateforme HEC-HMS pour faire la simulation hydrologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Ward R.C ET Robinson M.**,1990; Principles of hydrology, McGraw-Hill Book Company, London.365 pp
- [2] **Musy A et Higy C.**,1998 ; Hydrologie appliquée, HGA, Bucarest. 366 pp
- [3] **Horton R.E.**,1933; the role of infiltration in the hydrologic cycle. Transactions, American Geophysical Union.14: 446-460
- [4] **Hewlett J.D ET Hibbert A.R.**, 1967; Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: W.E. Sopper ET H.W. Lull (Editors), International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Oxford. Pp 275-290
- [5] **Jordan J.P.**, 1994a ; Bassin de recherche et modélisation des processus de formation des crues, proposition d'une approche couplée. La Houille Blanche. 3 : 15-22
- [6] **Ambroise B.**,1998 ; Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré, 1 - Processus et facteurs. Revue des Sciences de l'Eau.11 : 471-495
- [7] **Cappus P.**,1960; Bassin expérimental d'Alrance, Etude des lois de l'écoulement. Application au calcul et à la prévision des débits. La Houille Blanche. A : 493-520
- [8] **Hursh C R.**, 1936; Storm-water and absorption. Transactions, American Geophysical Union. 17: 301-302
- [9] **BOISP.**, (2000) ; Hydrologie générale, Institut National Polytechnique de Grenoble
- [10] **Latron J.**, 2003 ; Etude du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant méditerranéen de montagne (Vallcebre, Pyrénées Catalanes), Thèse de doctorat.,Université de Barcelone
- [11] **Benkhaled A Remini B & Mhaiguene M.**, (2004); Influence of antecedent precipitation index on the hydrograph shape. Hydrology Science and Practice for the 21st Century. 1, 81-87

- [12] **Cosandey C & Didon-Lescot J.**, (1990) ; Etude des crues cévenoles : conditions d'apparition dans un petit bassin forestier sur le versant sud du Mont Lozère, France. Regionalisation in Hydrology, IAHS Publication, Ljubljana, Slovenia. 191, 103-115
- [13] **Remenerias G.**, (1976) ; Hydrologie de l'ingénieur, Ed Eyrolles, Paris
- [14] **Ven Te Chow .**, Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology: McGraw-Hill; 1964
- [15] **BLAVOUX B.**, (1978) ; Etude du cycle de l'eau au moyen de l'oxygène 18 et du tritium, possibilités et limites de la méthode des isotopes du milieu en hydrologie de la zone tempérée. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles : Université Pierre et Marie Curie. Paris 6. 333 p
- [16] **LLAMAS J.**, (1993) ; Hydrologie générale, principes et applications. Québec Canada Gaëtan
- [17] **Gnouma R.**, 2002 ; Etude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de Grézieu-La-Varenne à l'aide de traceurs isotopiques (oxygène 18). Rapport de DEA. 51 p
- [18] HEC-HMS00., Hydrologic Engineering Center , Hhydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical reference manual., march 2000.
- [19] **Nathan R J and McMahon, T A.**, 1990; Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis, Water Resources Research Vol. 26, No. 7, pp. 1465–1473
- [20] **Linsley RK, Kohler MA, Paulhus JLH.**, 1958 ; Hydrology for Engineers. McGraw-Hill New York. Morin éditeur 2ième edition. 527 p
- [21] **Tallaksen L M.**, 1995; A review of baseflow recession analysis, Journal of Hydrology, Vol. 165, No. 1–4. Pp.349–370
- [22] **Chapman T.**, 1999; a comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation, Hydrological Processes 13: 701–714
- [23] **Smakhtin VU.**, 2001; Low flow hydrology a review, Journal of Hydrology 240: 147–186

- [24] **Vogel R M and Kroll C. N.**, 1992; Regional hydrologic and geomorphologic relationships for estimation of low-flow statistics. *Water Resource Research*.28(9), 2451–2458
- [25] **Bates BC, Davies PK.**, 1988; Effect of baseflow separation procedures on surface runoff models, *Journal of Hydrology* 103: 309–322
- [26] **Kottegoda NT, Natale L, Raiteri E.**, 2000 ; Daily streamflow simulation using recession characteristics, *Journal of Hydrologic Engineering*. 5(1): 17–24
- [27] **Sri Harto Br.**, 1985; a study of the unit hydrograph characteristics of rivers on the island of Jawa for flood estimation. Doctoral Thesis, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia
- [28] **Hino M, Hasebe M.**, 1984; Identification and prediction of nonlinear hydrologic systems by the filter-separation autoregressive (AR) method, extension to hourly hydrologic data. *Journal of Hydrology*. 68: 181–210
- [29] **Cappus, P.**, 1960 ; Bassin expérimental d'Alrance. Etude des lois de l'écoulement. Application au calcul et à la prévision des débits, *La Houille Blanche*. A: 493-520
- [30] **Sujono J Shikasho S Hiramatsu K.**, 2001; Hydrograph recession analysis using wavelet transforms, *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 45(2): 557–564
- [31] **Tallaksen L M & Lanen H A J van.**, (2004); (Eds) *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater Developments in Water Sciences* 48. Elsevier B.V the Netherlands. 580p
- [32] **Johnson E A and Dils R E.**, 1956; Outline for compiling precipitation, runoff, and ground water data from small watersheds, U.S. Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Station Paper 068, 41 p.
- [33] **Langbein WB.**, 1938; some channel-storage studies and their application to the determination of infiltration, *Trans Am Geophys. Union*. 19 435-445
- [34] **Toebes C Strang DD.**, 1964; on recession curves 1 Recession equations, *J. Hydrology, New Zealand* 3(2), 2-15

- [35] **Posavec K Parlov J and Bačani A.**, 2009; A Visual Basic spreadsheet macro for estimating groundwater recharge, Rud-geol.-naft. Zb, Vol. 21, No. 1. Pp.19–23
- [36] **Sujono J Shikasho S and Hiramatsu K.**, 2004; A comparison of techniques for hydrograph recession analysis, Hydrological Processes. 18 403–413.
- [37] **Boughton WC.**, 1995; Baseflow recessions, Australian Civil Engineering Transactions CE37 (1): 9–13
- [38] **Singh VP.**, 1989; Hydrologic Systems, Vol. II: Watershed Modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ
- [39] **Khanchoul K.**, 2006 ; Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants du Nord-Est algérien. Thèse de Doctorat, Université Annaba, Algérie
- [40] **S. Berhail, L. Ouerdachi and H. Boutaghane.**, 2012 ; The use of the recession index as indicator for components of flow, Energy Procedia journal – Elsevier, Volume 18, pp : 741–750
- [41] **Mebarki A.**, 2005 ; Hydrologie des bassins de l'Est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantine. 360 p.