



## MEMOIRE DE MASTER

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

**Option: CONCEPTION DES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT**

**THEME :**

**Analyse comparative de coefficient de ruissellement  
par approche empirique et par SIG.**

**Présenté par :**

**BOUREZIG MOKHTARIA DOUNYA**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
MOKRANE Wahiba	M.C.B	Président
SALHI Chahrazed	M.C.B	Examineur
KADI Latifa	M.A.A	Examineur
AMMARI Abdelhadi	M.C.A	Promoteur

**Session : Septembre 2024**

# *Dédicace*

## *À MON PERE*

*Votre amour, votre soutien et vos sacrifices m'ont été indispensables tout au long de ce parcours. Je vous dédie ce projet avec toute ma gratitude et mon affection.*

*Que Allah vous bénisse et vous récompense pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

## *À MA MERE*

*Un symbole d'excellence et de bienveillance, une source de tendresse. Vos prières et vos bénédictions m'ont beaucoup aidé pour mener à bien mes études. Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.*

*Le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse. Vos prières et vos bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.*

## *À MA FAMILLE*

*À mes sœurs Kheira, Fatima, Aicha et surtout sœur Asma et mes chers frères Sid-Ahmed et Djilali et mon neveu Riyad, vos encouragements m'ont été précieux à chaque étape.*

## *A MES CAMARADES*

*Tout particulièrement à Baya, pour leur solidarité, leur amitié et leur soutien et BELLAHSENE. A pour tout l'aide qui m'a apporté tout au long de cette aventure.*

**BOUREZIG Mokhtaria Dounya**

# *Remerciement*

*Alhamdulillah, toutes les louanges sont dues à Allah, le Seigneur des mondes, le Clément, le Miséricordieux, qui m'a guidé et soutenu tout au long de mes études. C'est par Sa volonté que j'ai pu accomplir ce travail.*

*Je remercie mes chers du fond du cœur. Vous êtes les architectes de ma vie, me soutenant sans relâche et m'encourageant à poursuivre mes rêves, Ce succès est le vôtre autant que le mien.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude profonde à mon encadrant, Mr.AMMARI Abdelhadi, dont l'expertise, la disponibilité et la bienveillance ont été des piliers essentiels dans la réalisation de ce projet. Ses encouragements et sa confiance en mes capacités m'ont permis de surmonter les défis rencontrés et de m'épanouir dans ma recherche.*

*Un merci spécial est adressé aux membres du jury, pour leur temps, leur expertise et leurs précieuses remarques qui ont grandement contribué à l'enrichissement de ce travail.*

*Ainsi que je remercie également l'ensemble des enseignants de l'ENSH pour leur guidance, et les moments partagés durant tout le parcours.*

*Un grand merci pour mes amis qui m'ont beaucoup encouragé, et toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

**BOUREZIG Mokhtaria Dounya**

## ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو مقارنة فعالية الأساليب التجريبية ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تقدير معاملات الجريان السطحي، وذلك بعد عملية شاملة لجمع البيانات الهيدرولوجية وتحليلها. يتم أولاً تقدير معامل الجريان السطحي باستخدام الأساليب التجريبية، ثم يتم تطبيق نمذجة جغرافية مكانية أكثر دقة من خلال نموذج SCS-CN (نموذج رقم منحنى خدمة الحفاظ على التربة - رقم المنحنى) باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية.

تهدف دراسة الحالة في مدينة مرين إلى تحليل فعالية وقيود كل نهج في تقييم معاملات الجريان السطحي.

**الكلمات المفتاحية:** معامل الجريان السطحي، النهج التجريبي، نظم المعلومات الجغرافية، نظم المعلومات الجغرافية، نموذج رقم منحنى خدمة الحفاظ على التربة - رقم المنحنى، ميرين.

## Résumé :

Le but de cette étude est de comparer l'efficacité des méthodes empiriques et des systèmes d'information géographique (SIG) dans l'estimation des coefficients de ruissellement, en suivant un processus complet de collecte et d'analyse des données hydrologiques. Le coefficient de ruissellement est d'abord estimé à l'aide de méthodes empiriques, puis une modélisation géospatiale plus précise est appliquée via le modèle SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number) grâce aux outils SIG. L'étude de cas dans la commune de Merine vise à analyser l'efficacité et les limites de chaque approche dans l'évaluation de coefficient de ruissellement.

**Mots clés :** Coefficient de ruissellement, Approches empiriques, systèmes d'information géographique, SCS-CN, Merine.

## Abstract:

The aim of this study is to compare the effectiveness of empirical methods and geographic information systems (GIS) in estimating runoff coefficients, following a comprehensive process of hydrological data collection and analysis. The runoff coefficient is first estimated using empirical methods, then more precise geospatial modelling is applied via the SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number) model using GIS tools.

The case study in the city of Merine aims to analyze the effectiveness and limitations of each approach in the evaluation of runoff coefficients.

**Keywords:** Runoff coefficient, Empirical approaches, Geographic information systems, SCS-CN, Merine.

## Table des matières :

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des planches

Introduction générale

### CHAPITRE I : GENERALITES SUR COEFFICIENT DE RUISSELEMENT

Introduction :	3
I.1 Définition:	3
I.2 Facteurs influant sur le coefficient de ruissellement :	3
I.3 Méthodes d'estimation du coefficient de ruissellement :	9
3.1 Approches empiriques :	9
3.2 L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG):	10
3.3 Modèles hydrologiques :	11
I.4 Application du coefficient de ruissellement :	16
Conclusion :	17

### CHAPITRE II : ESTIMATION DE COEFFICIENT DE RUISSELEMENT PAR APPROCHES EMPIRIQUES

Introduction :	19
II .1 Origine des approches empiriques :	19
II .2 Evaluation du coefficient de ruissellement :	19
II .3 Comparaison des méthodes :	28
Conclusion :	29

### CHAPITRE III : ESTIMATION DE COEFFICIENT DE RUISSELEMENT PAR SIG

Introduction :	31
III.1 Aperçu sur les systèmes d'information géographique (SIG) :	31
III.2 Modélisation et représentation des entités géographiques :	32
2.1 Notion des couches :	32
III.3 Application en hydrologie :	33

III.4 Estimation du coefficient de ruissellement par SIG :	34
4.1 Méthode du service de conservation des sols (SCS-CN) :	34
4.2 L'application de la méthode SCS-CN :	35
4.3 Les limites d'application de la méthode SCS-CN :	36
III.5 Modélisation du coefficient de ruissellement :	36
5.1 Contribution du SIG pour l'estimation de coefficient de ruissellement :	37
III.6 Les limites des systèmes informatiques géographiques :	37
Conclusion :	38

## **CHAPITRE IV : COMPARAISON DES METHODES EMPIRIQUES ET SIG POUR L'ESTIMATION DE COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENTS**

Introduction :	40
IV.1 Situation et description de la zone d'étude :	40
1.1 Localisation de la zone d'étude :	40
1.2 Géologie :	41
1.3 Topographie :	41
1.4 Climat :	42
IV.2 Sélection des méthodes empiriques :	42
2.1 Application des méthodes empiriques à la zone d'étude :	43
IV.3 Estimation de coefficient de ruissellement par SIG :	44
3.1 Les données géospaciales :	44
IV.4 Synthèse de la comparaison :	47
Conclusion :	49

**Conclusion générale**

**Références bibliographiques**

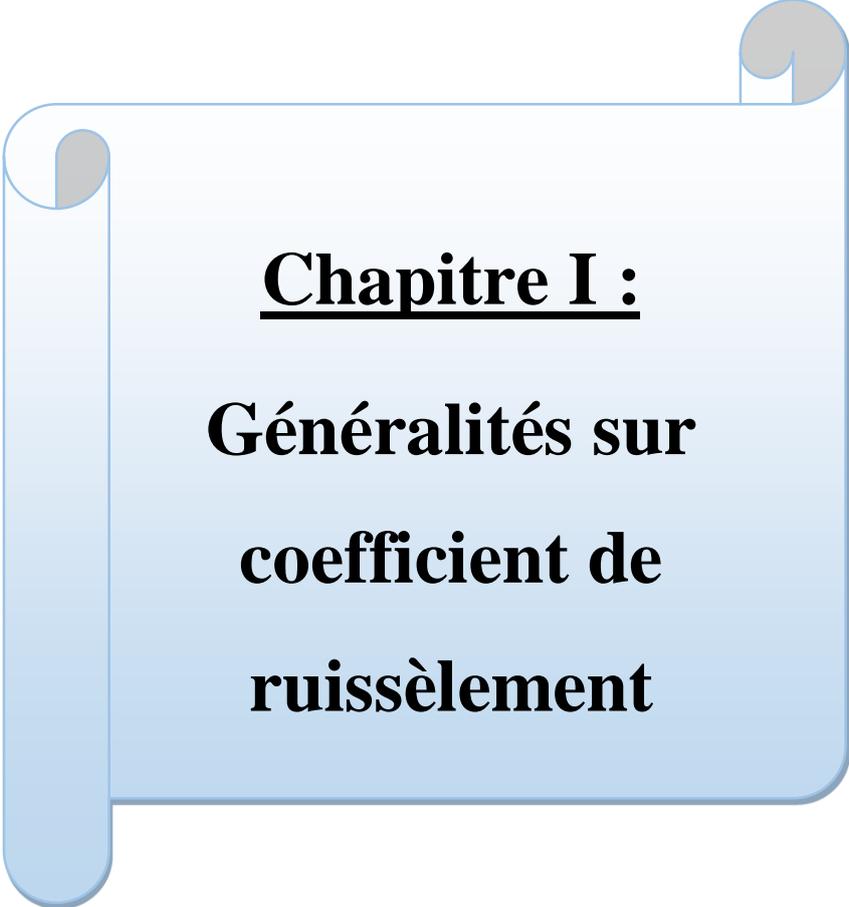
**Annexes**

## **Introduction générale :**

L'estimation du coefficient de ruissellement est importante dans la modélisation des écoulements hydrologiques, car elle permet de déterminer la proportion des précipitations se transformant en écoulement de surface. Ce coefficient joue un rôle central dans la conception des ouvrages hydrauliques et la gestion des risques d'inondation. Les méthodes d'estimation du coefficient de ruissellement se diversifient en approches empiriques et techniques modernes basées sur les Systèmes d'Information Géographique (SIG).

Les approches empiriques reposent sur des observations de terrain et des paramètres hydrologiques pour estimer le ruissellement. Bien qu'elles soient largement utilisées pour leur simplicité, l'avènement des technologies géospatiales a fait des SIG un outil puissant en hydrologie. En permettant une modélisation spatiale plus précise des facteurs influençant le ruissellement (comme l'occupation des sols, la topographie et l'imperméabilisation), les SIG offrent une alternative flexible.

Ce travail se concentre sur l'estimation du coefficient de ruissellement par approches empiriques et par SIG à travers une étude de cas, afin de réaliser une analyse comparative de ces méthodes d'estimation.



**Chapitre I :**  
**Généralités sur**  
**coefficient de**  
**ruissèlement**

## **Introduction :**

En hydrologie, le coefficient de ruissellement est un paramètre fondamental qui permet de mesurer la fraction des précipitations qui se transforment en écoulement de surface dans un bassin versant. Le concept concerne la gestion des ressources en eau, la prévention des inondations et la préservation des sols. Ce paramètre est indispensable à tout projet d'aménagement du territoire ou d'infrastructure hydraulique. Tout de même l'estimation du rapport de ruissellement reste basée sur des approches empiriques, qui ne décrivent pas fidèlement la distribution spatiale du ruissellement qui est en réalité très complexe vue la complexité du milieu récepteur.

### **I.1 Définition:**

Le coefficient de ruissellement est un facteur important dans les études hydrologiques de nombreux projets d'ingénierie dans les zones urbaines et rurales. (S en, 2006)

Il peut indiquer la quantité d'eau provenant de précipitations particulières et refléter l'impact des éléments géomorphologiques naturels sur l'écoulement. En outre, les coefficients de ruissellement sont utiles pour la comparaison avec d'autres bassins versants afin de comprendre comment différents paysages transforment les précipitations en événements pluvieux. (Blume, 2007)

Le rapport de ruissellement ( $C_r$ ) est défini comme le rapport entre le volume d'eau superficiellement drainé pendant les précipitations et le volume total des précipitations pendant une certaine période. (Bedient, 2013)

Le coefficient de ruissellement est un facteur adimensionnel utilisé pour convertir les quantités de pluie en ruissellement. Il représente l'effet intégré des pertes du bassin versant et dépend donc de la nature de la surface du sol, de la pente, du degré de saturation et de l'intensité des précipitations. Il est également influencé par la proximité de la nappe phréatique, le degré de compactage et la porosité du sol, la végétation et le stockage en dépression. (Mutreja, 1990)

On définit le coefficient de ruissellement comme suit : le coefficient de ruissellement ( $C_r$ ) est un coefficient sans dimension qui relie la quantité de précipitations nettes à la quantité de précipitations brutes. Il est plus élevé pour les zones à faible infiltration et plus faible pour les zones perméables et bien végétalisées.

### **I.2 Facteurs influant sur le coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement revêt une importance considérable et est influencé par des facteurs géomorphologiques et anthropiques. Les principaux facteurs influant sont décrits ci-dessous :

## 2.1 Anthropiques :

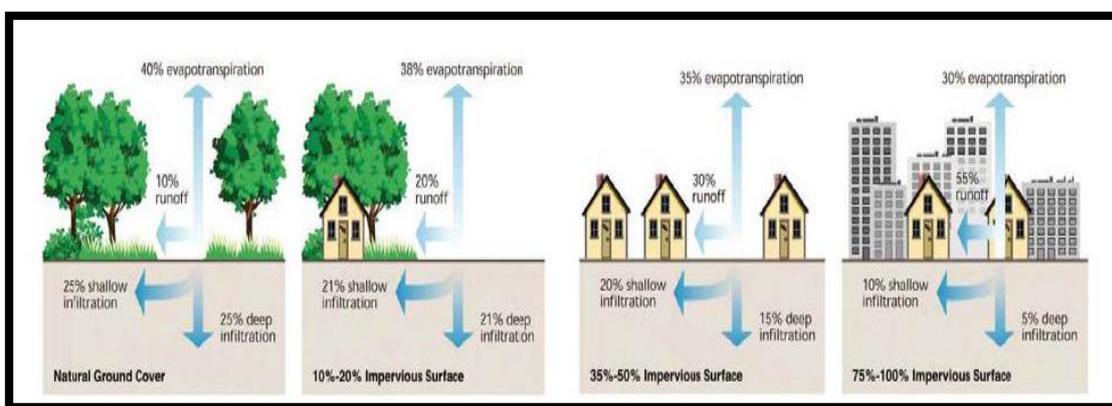
Les activités humaines, notamment l'urbanisation et les pratiques agricoles, ont un impact significatif sur la production de ruissellement dans les bassins versants urbains. Ces impacts anthropogéniques, souvent étudiés en lien avec le changement climatique, ont modifié l'utilisation et la couverture des sols, influençant ainsi la variabilité du ruissellement. L'urbanisation, en particulier, entraîne des changements dans l'imperméabilité des sols, affectant fortement le ruissellement de surface. (Abdul Razaq Rezaeia, 2019)

### a. urbanisation :

L'urbanisation entraîne une artificialisation des sols, avec une expansion significative des surfaces imperméables, réduisant ainsi les zones naturelles ou agricoles.

L'urbanisation conduit à l'artificialisation des sols, avec une extension considérable des surfaces drainantes, diminuant les espaces naturels ou agricoles.

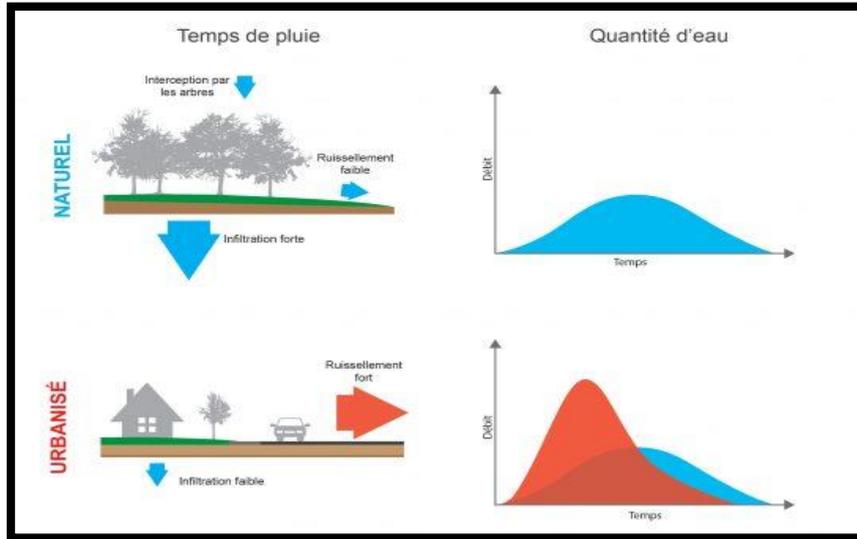
La gestion des eaux pluviales est indissociable des processus d'urbanisation et entraîne une modification en profondeur des sols urbains, y compris une diminution des infiltrations profondes limitant la recharge des eaux souterraines, des infiltrations de sub-surface qui peuvent alimenter la végétation et préserver une certaine humidité du sol, de l'évapotranspiration et d'une augmentation des ruissellements superficiels, la figure suivante montre ces modifications engendrées par l'imperméabilisation.



**Figure (I.1) :** Effets de l'imperméabilisation sur les phénomènes hydrologiques

(Source: Federal Interagency Stream Restoration Working Group; 1998)

L'urbanisation permet de réduire les débits de base et d'augmenter le débit de pointe, qui est atteint plus rapidement. En d'autres termes, les crues sont plus fortes et plus rapides, comme on peut le constater sur la figure suivante. (Abdul Razaq Rezaeia, 2019)



**Figure (I.2) :** Impacts de l'urbanisation sur le régime hydrique

(Source : <https://agirop.org/>, 2024)

## 2.2 Géomorphologiques :

Les caractéristiques géomorphologiques et physiques des surfaces urbaines comme le compactage de la couche arable dû à l'urbanisation réduit l'infiltration et augmente le ruissellement de surface. La rugosité de la surface contribue également à la vitesse du ruissellement. Sur les pentes raides, l'eau se déplace plus rapidement, ce qui réduit le temps de concentration. (Abdul Razaq Rezaeia, 2019)

### a. Topographie :

Le volume des eaux de ruissellement est directement proportionnel à la pente ; les pentes raides entraînent un écoulement plus important, tandis que les pentes faibles favorisent l'infiltration (Y. Liu, 2006). La pente du terrain, l'imperméabilité et la couverture végétale influencent à la fois le volume de ruissellement et le temps de concentration par rapport aux débits de crue maximaux.

### b. Stockage en dépression :

Une partie des précipitations reste à la surface du sol sous forme d'étangs, de flaques et de fossés. C'est ce que l'on appelle généralement le stockage en dépression. Le reste de l'écoulement terrestre se transforme en ruissellement de surface.

Le stockage en dépression se réfère aux zones où l'eau de pluie s'accumule temporairement, comme les petites dépressions naturelles, les fossés, ou les bassins d'infiltration. Ce stockage réduit le volume d'eau disponible pour le ruissellement, ce qui diminue le coefficient de ruissellement. En retenant l'eau, ces dépressions permettent une infiltration accrue et retardent le ruissellement, atténuant ainsi les pics de débit dans les cours d'eau après de fortes précipitations. Par conséquent, la présence de zones de stockage en dépression dans un bassin versant peut significativement réduire le coefficient de ruissellement global. (Abdul Razaq Rezaeia, 2019)

**c. Caractéristiques du sol :**

Lorsque le décapage de la terre végétale et le compactage des terres dans des zones perméables des bassins versants urbains et qu'elle est également compactée (en raison de la construction, de la circulation, de la perte de matière organique et de la végétation), le ruissellement pluvial a un comportement incertain. (Abdul Razaq Rezaeia Z. B., 2019)

Un autre facteur influençant la réponse du ruissellement de surface aux précipitations est l'humidité antérieure du sol. Dans un sol humide, le ruissellement est en moyenne deux fois plus élevé que dans un sol sec, le coefficient de ruissellement augmente avec la teneur en eau du sol antérieur. Ils ont conclu que la modification de l'utilisation des sols sera moins efficace sur le ruissellement si l'humidité du sol antécédent augmente. (P.-J. Shi, 2007)

L'influence de différents types d'utilisation des sols sur le ruissellement dans un bassin versant, Ils ont indiqué que la contribution la plus importante au ruissellement provient des zones urbaines, qui contribuent principalement au ruissellement direct et qu'il s'agit donc du principal facteur contribuant aux inondations dans les zones urbaines, par rapport à d'autres types d'utilisation des sols (B. Lin, 2015).

De même, il convient de mentionner que la quantité de ruissellement générée est directement proportionnelle à l'intensité de la modification de l'utilisation des sols. En

d'autres termes, le ruissellement de surface augmentera avec l'augmentation des modifications de l'utilisation des sols (Y. Liu, 2006).

**d. Infiltration :**

L'ampleur de l'infiltration est déterminée par les caractéristiques du sol et l'imperméabilité de la couverture terrestre. Plus le revêtement de surface est scellé, plus le ruissellement de surface sera important. Par conséquent, l'infiltration de surface est une partie importante du processus de ruissellement de surface, même pour les surfaces superficiellement imperméables (M. Mansell, 2009).

Pour les scénarios d'infiltration, dans lesquels le profil est contrôlé, le taux d'infiltration dans les surfaces perméables est plus élevé que dans les autres scénarios.

Le taux d'infiltration dans les surfaces perméables diminue avec le temps, car la capacité de stockage de l'eau dans le sol diminue (M.L. Terstriep, 1976). En ce qui concerne les surfaces perméables, qui sont variables et que le ruissellement a lieu en fonction de l'infiltration contrôlée par le profil, nous pourrions avoir besoin de déterminer la dynamique de l'eau du sol ainsi que la capacité de stockage de l'eau du sol, la conductivité hydraulique de la couche inférieure non saturée du sol. Ces éléments seront également importants pour la prédiction du ruissellement également important pour la prédiction du volume et du moment du ruissellement. Néanmoins, il convient de noter que lorsque le pourcentage de surfaces imperméables augmente, le nombre de possibilités de stockage de l'eau dans le sol peut également diminuer (Booth, 2000).

**2.3 Météorologiques :**

Bien que les activités humaines et les caractéristiques physiques du sol aient entraîné de nombreuses modifications dans la production du ruissellement de surface, les impacts météorologiques ont également joué un rôle important à cet égard.

**a. Changement climatique :**

Le changement climatique a récemment fait l'objet de beaucoup d'attention en raison de son influence significative, en particulier sur l'hydrologie urbaine. Il est donc urgent de comprendre l'altération du comportement des précipitations à l'échelle urbaine. Nous devons également évaluer les effets de ces modifications sur l'efficacité

des systèmes de gestion des eaux pluviales pour contrôler les inondations, (T. Fletcher, 2013).

On s'attend généralement à ce que le changement climatique modifie le calendrier et l'ampleur du ruissellement, qui est un facteur important dans la gestion des ressources en eau (J. Zhang G. W., 2012).

En outre, l'intensité des précipitations peut également être affectée par le changement climatique, qui peut être augmenté hydrologiquement par la modification de l'utilisation des terres et le compactage du sol. Toutes les augmentations de précipitations résultant du changement climatique mondial sont dues en grande partie à l'augmentation de l'intensité des précipitations (D.R. Easterling, 2000).

Les études qui ont évalué la réponse hydrologique à la modification de l'utilisation des sols, en tenant compte des variations climatiques à long terme, ont prouvé que la réponse hydrologique à la modification de l'utilisation des sols est beaucoup plus sévère que les fluctuations climatiques (Smakhtin, 2001).

#### **b. Précipitations :**

L'intensité et la durée des précipitations, ainsi que leur variabilité spatio-temporelle, jouent également un rôle important dans l'étendue et le volume du ruissellement de surface. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain s'est également accentué dans les zones urbanisées, entraînant une augmentation de l'évapotranspiration, une zone de basse pression locale et, en fin de compte, une augmentation des précipitations.

Les précipitations sont un facteur météorologique important qui affecte le processus hydrologique (Y. Liu, 2006). L'altération des précipitations et de la température affecte de manière significative le ruissellement. Des études ont prouvé qu'un changement de 10 % des précipitations peut entraîner des modifications de 15 à 25 % du ruissellement (G. Wang, 2011). En outre, l'effet du changement climatique sur le ruissellement dans les zones arides ou semi-arides est beaucoup plus important que dans les zones humides (J. Zhang, 2007).

Le coefficient d'écoulement et la quantité de ruissellement générés à partir de différentes zones sont largement proportionnels à l'intensité, à la durée, au volume et à la forme d'un orage. Par exemple, si l'humidité antécédente du sol est similaire, un orage important et de longue durée avec une forte intensité générera plus de ruissellement (Y. Liu, 2006).

**c. Température et évapotranspiration :**

Outre les précipitations, la température est un facteur météorologique important qui influe sur le processus hydrologique (Y. Liu, 2006). On estime que lorsque la température augmente de 2 degrés, le ruissellement diminue de 5 à 12 % (G. Fu, 2007). L'évaporation de la surface du sol est également une autre composante majeure du ruissellement de surface, même pour les surfaces nominalement imperméables (M. Mansell, 2009).

Le ruissellement pourrait diminuer chaque année à l'avenir, même si les précipitations pourraient augmenter. Cependant, l'avantage de l'augmentation des précipitations serait éclipsé par l'augmentation de l'évaporation qui est principalement due à l'augmentation de la température. Ils ont également déclaré que la répartition du ruissellement saisonnier à l'avenir serait également plus uniforme. Cela serait principalement dû à l'augmentation de la température, qui peut entraîner une plus grande évapotranspiration (Y. Liu, 2006).

**I.3 Méthodes d'estimation du coefficient de ruissellement :**

En l'hydrologie, le coefficient de ruissellement revêt une importance considérable car il permet d'estimer la part des précipitations qui devient plutôt un écoulement de surface. Une estimation précise de cette valeur est essentielle pour une gestion efficace des ressources en eau, la conception des infrastructures de drainage et la prévision des crues. Diverses techniques sont disponibles pour estimer le coefficient de ruissellement, telles que les méthodes empiriques, les approches utilisant les systèmes d'information géographique (SIG) et les modèles hydrologiques.

**3.1 Approches empiriques :**

Les approches empiriques sont des méthodes qui s'appuient sur l'observation et l'expérience pour estimer des paramètres comme le coefficient de ruissellement. Elles utilisent

des formules simples et des coefficients dérivés de données historiques pour fournir des estimations rapides.

Le coefficient de ruissellement est le paramètre le plus subjectif à évaluer dans l'application de cette méthode ; par conséquent, une quantification adéquate nécessite un bon jugement et une expérience minimale de la part du concepteur. Son utilisation dans une méthode signifie une valeur constante pour une surface élémentaire donnée.

En réalité, le coefficient représente l'effet intégré de plusieurs facteurs dont les plus importants sont la nature de la surface, la pente, le stockage possible en surface, le degré de saturation et l'intensité de pluie (Gray, 1972), on accorde habituellement assez d'attention aux ces facteurs lorsqu'on choisit une valeur de Cr à partir de tableaux typiques.

### **3.2 L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG):**

L'estimation des coefficients de ruissellement permet une intégration et une analyse précises et détaillées des données spatiales et environnementales. Le SIG est un outil puissant qui facilite la gestion, l'analyse et la visualisation des données géographiques, et est particulièrement utile en hydrologie pour évaluer le ruissellement à l'échelle du bassin (GANDON, 1991). Voici comment utiliser le SIG pour estimer le coefficient de ruissellement :

#### **a. Collecte et Intégration des Données Spatiales (GANDON, 1991):**

Le SIG peut collecter et superposer diverses couches de données géospatiales qui affectent le ruissellement, telles que :

- **Topographie** : Pour évaluer l'impact des pentes et des formes des terres sur le ruissellement de surface, des modèles numériques de terrain (MNT) sont utilisés.
- **Occupation des sols** : des cartes illustrant l'utilisation des terres et la couverture végétale sont combinées pour comprendre les effets de diverses surfaces, telles que les régions urbaines, les terrains agricoles, sur le ruissellement.
- **Propriétés et le types de sol** : telles que la perméabilité, la capacité d'infiltration sont identifiées grâce à des cartes des sols, qui sont essentielles pour évaluer l'infiltration et le ruissellement.

- **Données climatiques** : notamment les précipitations et d'autres paramètres météorologiques, peuvent être intégrées pour simuler les effets des événements météorologiques sur le ruissellement.

#### **b. Modélisation et cartographie du Ruissellement :**

Grâce à ces informations, le SIG peut simuler le ruissellement en utilisant des algorithmes particuliers ou des modèles hydrologiques intégrés, les SIG facilitent l'analyse spatiale pour identifier les zones à haut risque de ruissellement (FAO, 2024). Par exemple :

- **Cartes de susceptibilité au ruissellement** : En combinant des données sur la pente, l'utilisation du sol, et la perméabilité des sols, les SIG peuvent produire des cartes qui montrent les zones où le ruissellement est le plus susceptible de se produire.
- **Délimitation des bassins versants** : Les SIG permettent de délimiter avec précision les bassins versants en fonction de la topographie et d'analyser comment l'eau se déplace dans ces zones.
- **Planification urbaine** : Les SIG aident à identifier les zones où l'urbanisation pourrait augmenter le ruissellement, permettant ainsi la gestion des eaux pluviales plus efficaces.
- **Gestion des risques d'inondation** : En modélisant les scénarios de pluie intense et le ruissellement associé, les SIG permettent de cartographier les zones à risque d'inondation.
- **Conservation des sols et de l'eau** : Les SIG aident à concevoir des stratégies de conservation pour réduire le ruissellement et l'érosion dans les bassins versants.

L'intégration des SIG dans l'estimation du coefficient de ruissellement permet une analyse précise en tenant compte de la variabilité spatiale des facteurs environnementaux. Cela aide à mieux comprendre et gérer les dynamiques du ruissellement dans un bassin versant. (GANDON, 1991)

### **3.3 Modèles hydrologiques :**

Les modèles hydrologiques sont des outils complexes qui ont pour but d'évaluer le coefficient de ruissellement en simulant les processus physiques du cycle de l'eau dans un bassin versant. Ces modèles, contrairement aux approches empiriques, prennent en considération des facteurs tels que l'infiltration, l'évapotranspiration, la redistribution des eaux

de surface, et la dynamique des précipitations. Voici un aperçu des principaux modèles hydrologiques qui permettent d'évaluer le coefficient de ruissellement.

**a. Modèle de Horton** (Jean Albergell, (Décembre 2003)) :

Le modèle de Horton se fonde sur l'observation que la capacité d'infiltration d'un sol diminue au cours d'un événement pluvieux. Ce modèle détermine l'infiltration en fonction du temps et permet de déterminer le moment où l'infiltration devient insuffisante, ce qui entraîne le ruissellement. Le coefficient de ruissellement est alors estimé en fonction de l'intensité de la pluie par rapport à cette capacité d'infiltration.

Ce modèle consiste à exprimer la capacité d'infiltration d'un sol au temps  $t$  sous la forme suivante :

$$i(t) = i_f + (i_0 - i_f) \cdot e^{-\gamma t} \quad (\mathbf{I.1})$$

Tel que :

- $i(t)$  : capacité d'infiltration au temps  $t$  [mm/h],
- $i_0$  : capacité d'infiltration initiale [mm/h],
- $i_f$  : capacité d'infiltration finale [mm/h],
- $t$  : temps écoulé depuis le début de l'averse [h],
- $\gamma$  : constante empirique, fonction de la nature du sol [ $\text{min}^{-1}$ ].

**Remarque** : L'utilisation de ce type d'équation, quoique répandue, reste limitée, car la détermination des paramètres,  $i_0$ ,  $i_f$ , et  $\gamma$  présente certaines difficultés pratiques.

Ensuite, on détermine le coefficient de ruissellement  $C_r$  est défini par le rapport entre la quantité d'eau écoulee à la surface du sol et celles des précipitations.

$$C_r = \frac{E_r}{P} \quad (\mathbf{I.2})$$

Où :

- $E_r$  : la quantité d'eau écoulee à la surface du sol (mm) ;
- $P$  : la précipitation (mm).

Horton fait l'hypothèse que l'écoulement de surface apparaît lorsque l'intensité de la pluie dépasse la capacité maximale du sol à absorber l'eau.

**i. Applications du modèle de Horton** (Jean Albergel, (Décembre 2003)) :

Ce modèle hortonien est appliqué dans divers aspects, comme suit :

- Estimation de débit de ruissellement pour conception des systèmes de drainage urbain.
- **Prévision des inondations** et identification des zones à risque élevé en estimant la vitesse de ruissellement.
- Modélisation de l'infiltration et la prévention de l'érosion.

**ii. Limites du Modèle de Horton** (Jean Albergel, (Décembre 2003)) :

Voici les limites importantes qui doivent être prises en compte :

- Diminution rapide (la fonction exponentielle) des taux d'infiltration ne reflète pas toujours l'état réel du sol.
- Suppose une infiltration constante à long terme, ce qui peut être inexact.
- Ne tient pas compte des variations spatiales des propriétés du sol.
- Adaptation que pour les événements pluviaux simple et moins adapté aux précipitations complexes ou prolongées.
- Surestimer le ruissellement en sous-estimant l'infiltration initiale rapide dans le cas des régions semi-arides ou arides.

**b. Modèle de Green-Ampt** (Green, 1911):

Le modèle Green-Ampt est un modèle hydrologique qui simule l'infiltration de l'eau dans le sol, ce qui permet d'estimer le coefficient de ruissellement. Ce modèle, développé par Green et Ampt en 1911, est particulièrement utile pour les événements pluvieux sur des sols non saturés, Nous pouvons facilement assimiler ses paramètres à des caractéristiques physiques du sol, contrairement à ce que Horton propose. Voici le fonctionnement du modèle et comment il est utilisé pour estimer le coefficient de ruissellement :

**a. Principe du Modèle de Green-Ampt** (Green, 1911) :

Le modèle de Green-Ampt repose sur l'idée que l'infiltration dans le sol se produit en deux phases :

1. **Phase d'infiltration initiale** : L'eau s'infiltré rapidement dans le sol au début d'un événement pluvieux en raison de la grande différence de pression entre l'eau de surface et le sol sec.
2. **Phase d'infiltration décroissante** : À mesure que l'eau s'infiltré, le sol devient saturé près de la surface, ce qui réduit le taux d'infiltration au fil du temps.

Le modèle de Green et Ampt s'écrit de la façon suivante par unité de surface infiltrante :

$$f(t) = K \cdot \left[ \frac{\Psi (\theta_s - \theta_i)}{F(t)} + 1 \right] \quad (\mathbf{I.3})$$

Avec :

- **f(t)** : taux d'infiltration à l'instant t (m/s) ;
- **K** : conductivité hydraulique du sol (supposée constante) (m/s) ;
- **Ψ** : succion ou la pression capillaire (supposée constante) (m) ;
- **θ<sub>s</sub>** : teneur en eau du sol saturé (m/m) ;
- **θ<sub>i</sub>** : teneur initiale en eau (m/m) ;
- **F(t)** : hauteur d'eau infiltrée depuis le début de l'événement (m).

✓ **Estimation du Coefficient de Ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement est estimé en comparant l'intensité de la pluie I(t) avec le taux d'infiltration f(t). Si l'intensité de la pluie dépasse le taux d'infiltration, l'excès d'eau devient du ruissellement. Le volume total de ruissellement R peut être exprimé comme :

$$R = P - F \quad (\mathbf{I.4})$$

Où :

- **P** : la précipitation totale (mm) ;
- **F** : l'infiltration cumulative totale pendant l'événement.

Le coefficient de ruissellement  $C_r$  peut alors être calculé comme le ratio du volume de ruissellement sur la précipitation totale :

$$C_r = \frac{R}{P} \quad \text{(I.5)}$$

Où :

- **R** : le volume de ruissellement (mm) ;
- **P** : la précipitation (mm).

**ii. Applications du Modèle de Green-Ampt :**

Le modèle de Green-Ampt est appliqué dans divers aspects, comme suit :

- Estimation de l'infiltration et du ruissellement pour concevoir des systèmes de drainage.
- Utilisé dans les modèles hydrologiques pour simuler l'infiltration pendant des événements pluvieux. (Jahanshir Mohammadzadeh-Habili, 2015)
- Planification de l'irrigation en évaluant la capacité d'infiltration des sols. (Jahanshir Mohammadzadeh-Habili, 2015)
- Évaluation du potentiel de ruissellement et de l'érosion des sols en fonction de la saturation initiale des sols. (Jahanshir Mohammadzadeh-Habili, 2015)
- Estimation du ruissellement rapide dans des conditions de pluie intense, utile pour la gestion des risques d'inondation. (Jahanshir Mohammadzadeh-Habili, 2015)

**iii. Limites du Modèle de Green-Ampt :**

Lors de l'évaluation des modèles de saturation des sols, il est primordial de prendre en compte plusieurs limites significatives :

- **Hypothèse de saturation homogène** qui peut ne pas exister dans des sols hétérogènes. (Ampt., 1911)
- **Nécessité de données précises** (conductivité hydraulique, pression capillaire), qui ne sont pas toujours facilement disponibles. (Ampt., 1911)
- **Adaptation limitée aux pluies longues** et moins précis pour des événements pluvieux prolongés. (Ampt., 1911)

- **Simplification des processus d'infiltration** et ne prend pas en compte les phénomènes de macropores ou de flux préférentiels, qui peuvent être importants dans certains types de sols. (Ampt., 1911)
- Fonctionnement limité dans des conditions extrêmes de sol, comme des sols très secs ou saturés. (Ampt., 1911)

#### **I.4 Application du coefficient de ruissellement :**

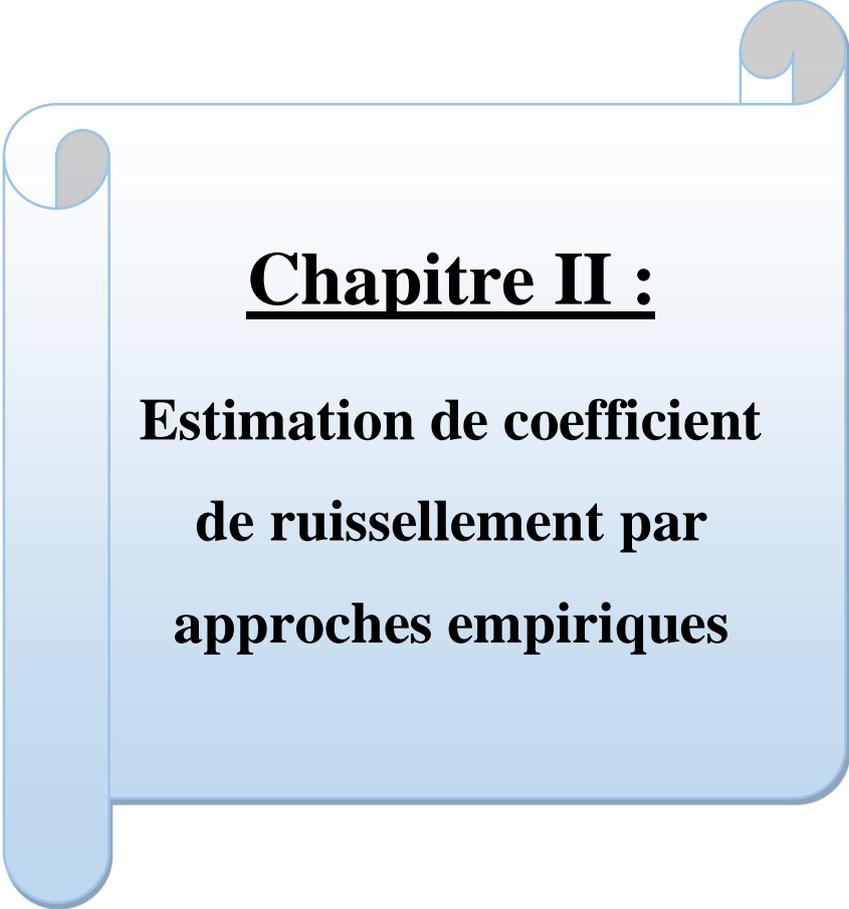
Le rapport de ruissellement est utilisé dans plusieurs domaines, comme suit :

- a. Conceptions des systèmes de drainage :** Le coefficient de ruissellement est essentiel pour évaluer le débit qui devra transporter par les infrastructures de drainage, telles que les canalisations, les égouts pluviaux, les déversoirs d'orage et les bassins de rétention. En fonction de ce coefficient, les ingénieurs peuvent déterminer les dimensions nécessaires pour éviter les débordements et les inondations. (Chow, 2003)
- b. Gestion des eaux pluviales :** En milieu urbain, où une grande partie du sol est imperméable, le coefficient de ruissellement est élevé. Les systèmes de gestion des eaux pluviales ont pour but de collecter rapidement cette eau, ce qui réduit les risques de stagnation et d'inondation.
- c. Prévention des inondations :** En intégrant le coefficient de ruissellement dans des modèles hydrologiques, il est possible de prédire les volumes d'eau de ruissellement produits par des événements pluvieux, particulièrement lors de fortes pluies. Cela permet d'identifier les zones à haut risque d'inondation.
- d. Aménagement Urbain :** Dans le cadre du développement durable, les aménageurs cherchent à réduire le ruissellement en augmentant les zones vertes et en créant des infrastructures capables d'infiltrer ou de retenir l'eau sur place. (Chow, 2003)
- e. Évaluation de l'impact des changements d'utilisation des terres :** L'urbanisation, la déforestation, ou les changements dans les pratiques agricoles peuvent modifier le coefficient de ruissellement d'une région. Les études environnementales utilisent ce coefficient pour évaluer l'impact de ces changements sur le régime hydrologique local, y compris les effets sur l'érosion des sols et les régimes des cours d'eau. (Marsalek, 2002)
- f. Conservation des Sols :** En terme de Modélisation de l'érosion, ce coefficient de ruissellement est utilisé pour modéliser l'érosion des sols, particulièrement dans les régions agricoles ou les zones déboisées. Un coefficient élevé indique un potentiel accru

pour l'érosion, car plus d'eau ruisselle en surface, emportant avec elle les couches supérieures du sol. (Chow, 2003)

**Conclusion :**

Le coefficient de ruissellement, s'il apparaît comme une mesure simple, englobe une complexité déterminée par de nombreux paramètres tels que la nature du sol, la topographie, l'occupation du sol. Les techniques d'estimation de ce coefficient, empiriques ou hydrologiques, répondent à des besoins différents en matière de gestion des eaux pluviales et d'aménagement urbain, et en somme, une bonne maîtrise du coefficient de ruissellement est indispensable pour aborder efficacement les défis hydrologiques contemporains. Tout de même les approches basées sur la télédétection ont pris de l'ampleur avec la multiplication des outils SIG disponible en libre accès, et les recherches qui ont été lancées dessus, et qui ont aboutis à des résultats très intéressants. Dans ce qui suivra, on fera un comparatif des différentes approches.



## **Chapitre II :**

**Estimation de coefficient  
de ruissellement par  
approches empiriques**

---

## **Introduction :**

Les méthodes empiriques d'estimation des coefficients de ruissellement sont basées sur des observations expérimentales et des formules établies à partir de données historiques. Leur objectif est de fournir des estimations rapides et relativement simples du ruissellement basées sur divers paramètres tels que l'occupation de sol, les propriétés du sol, la pente et les précipitations.

### **II.1 Origine des approches empiriques :**

Les premières méthodes empiriques d'estimation des coefficients de ruissellement sont apparues à la fin du XIXe et au début du XXe siècle, dans le contexte des développements des modèles hydrologiques, relatifs à l'estimation des débits de ruissellement, où elles ont été principalement développées en réponse à des besoins pratiques, tels que le contrôle des crues et la conception d'ouvrages de drainage urbain...etc. Sur la base d'observations sur le terrain, des relations empiriques entre les précipitations, les caractéristiques des bassins versants et le ruissellement sont établies.

### **II.2 Evaluation du coefficient de ruissellement :**

La méthode empirique est l'une des méthodes les plus courantes pour estimer ce coefficient en raison de sa simplicité et de son efficacité. Ces méthodes s'appuient sur des tableaux typiques et des équations basées sur des observations et des formules empiriques entre les caractéristiques des bassins versants et le ruissellement.

#### **i. Méthode analogique :**

Cette méthode repose sur l'utilisation de tableaux qui attribuent des coefficients de ruissellement à différents types de surfaces (urbaines, rurales, etc. En raison de sa simplicité et de sa disponibilité des données dans de nombreux guides et manuels, elle est largement utilisée.

Selon (Gray, 1972) on accorde habituellement assez d'attention aux ces facteurs tel que le type de surface, l'occupation du sol, la période de retour et le pourcentage d'imperméabilité, lorsqu'on choisit une valeur de  $C_r$  à partir de tableaux typiques.

Le coefficient de ruissellement ( $C_r$ ) est un rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface considérée (appelée « pluie nette ») et la hauteur d'eau précipitée (appelée « pluie brute », selon le (Sidesa, 2012) du Syndicat interdépartemental de l'eau Seine Aval. La

penne, le cloisonnement des surfaces de ruissellement (murs, remblais) ou la fréquence de la pluie ont une grande influence sur ce coefficient.

$$C_r = \frac{H_r}{H_p} \quad (\text{II.1})$$

$H_r$  : la hauteur d'eau ruisselée en mm.

$H_p$  : la hauteur d'eau précipitée en mm.

Selon Lallam et al. (2018) Il est possible d'estimer le coefficient de ruissellement en utilisant des tableaux où le ruissellement est lié à la nature de la surface où il se produit.

L'approche la plus courante de choisir les coefficients est d'associer le coefficient à un type de surface, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

**Tableau (II.1):** Gamme usuelle de valeurs pour le coefficient de ruissellement

Type de surface	Coefficient de ruissellement
<b>Pavage</b>	0.7-0.95
<b>Toits</b>	0.7-0.95
<b>Pelouses, sols sablonneux</b>	
- <b>Faible pente (2%)</b>	0.05-0.1
- <b>Pente moyenne (2 à 7 %)</b>	0.1-0.15
- <b>Pente forte (7%-et plus)</b>	0.15-0.2
<b>Pelouses, sols argileux</b>	
- <b>Faible pente (2%)</b>	0.13-0.17
- <b>Pente moyenne (2% à 7%)</b>	0.18-0.22
- <b>Pente forte (7%-et plus)</b>	0.25-0.35
<b>Valeurs typiques pour des périodes de retour de 2-10 ans. Des valeurs plus élevées sont appropriées pour des événements plus rares.</b>	

(Adapté d'ASCE/WEF, 1992).

On peut combiner les différents coefficients pour chaque type de surface et considérer le pourcentage de chaque type, ou utiliser directement les valeurs fournies dans les tableaux suivants qui résument les valeurs proposées pour les bassins versants non développés ou ruraux.

**Tableau (II.2):** Gamme usuelle de valeurs pour le coefficient de ruissellement en fonction du type d'occupation du sol.

Type d'occupation du sol	Coefficient de ruissellement
<b>Commercial</b>	
- Centre-ville	0.7-0.95
- Banlieue	0.5-0.7
<b>Résidentielle</b>	
- Maisons de banlieue	0.25-0.4
- Maisons détachées	0.3-0.5
- Unités jumelées	0.4-0.6
- Maison de ville	0.6-0.75
- Blocs appartement	0.5-0.7
<b>Industrielle</b>	
- Légère	0.5-0.8
- Lourde	0.6-0.9
<b>Parcs, cimetières</b>	0.1-0.25
<b>Terrains de jeux</b>	0.2-0.35
<b>Champs</b>	0.1-0.3
<b>Valeurs typiques pour des périodes de retour de 2-10 ans. Des valeurs plus élevées sont appropriées pour des événements plus rares.</b>	

(Adapté d'ASCE/WEF, 1992).

Dans le tableau ci-dessus on peut estimer le coefficient de ruissellement en tenant compte de la texture de sol et l'utilisation de sol.

**Tableau (II.3):** Coefficients de ruissellement typiques pour des secteurs ruraux

Description des sols	Utilisation des sols		
	Champs	Culture	Boisé
Sol argileux, bon drainage de surface	<b>0,55</b>	<b>0,45</b>	<b>0,40</b>
Sol limoneux, bien drainé	<b>0,40</b>	<b>0,35</b>	<b>0,30</b>
Sol sablonneux	<b>0,30</b>	<b>0,35</b>	<b>0,20</b>
Sol sablonneux et gravier, bien drainé	<b>0,25</b>	<b>0,15</b>	<b>0,05</b>

(ARTC, 1982).

Comme on l'a déjà souligné, cette approche suppose que le coefficient de ruissellement ne varie pas en fonction de la récurrence de conception choisie. Or, comme l'ont démontré les mesures et analyses complétées par (Schaake, 1967) et (McLaughlin, 1991), le coefficient augmente avec la récurrence sélectionnée. Si on sélectionne des valeurs à partir des tableaux I.1 à I.3, on devra multiplier par des facteurs de majoration données au tableau suivant :

**Tableau (II.4):** Facteurs de correction.

Période de retour	Coefficient d'ajustement
2-10 ans	1,0
25 ans	1,1
50 ans	1,2
100 ans	1,25

Le tableau I.5, tiré de (McLaughlin, 1991), tient compte par ailleurs directement de cet aspect.

**Tableau (II.5):** Coefficients de ruissellement typiques en fonction du pourcentage imperméable et de la période de retour

Utilisation du sol ou utilisation de la surface	Imperméabilité %	Période de retour (ans)			
		2	5	10	100
<b>Commercial</b>					
- Centre-ville	95	0.87	0.87	0.88	0.89
- Banlieue	70	0.6	0.65	0.7	0.8
<b>Résidentielle</b>					
- Maisons de banlieue	30	0.4	0.45	0.5	0.6
- Maisons détachées	50	0.45	0.5	0.6	0.7
- Unités jumelées	70	0.6	0.65	0.7	0.8
- Maison de ville	25	0.3	0.35	0.4	0.6
- Blocs appartement	70	0.65	0.7	0.7	0.8
<b>Industrielle</b>					
- Légère	80	0.71	0.72	0.76	0.82
- Lourde	90	0.8	0.8	0.85	0.9
<b>Parcs, cimetières</b>	7	0.1	0.18	0.25	0.45
<b>Terrains de jeux</b>	13	0.15	0.2	0.3	0.5
<b>Ecoles</b>	50	0.45	0.5	0.6	0.7
<b>Cours de chemins de fer</b>	20	0.2	0.25	0.35	0.45
<b>Rues</b>					
- Pavées	100	0.87	0.88	0.9	0.93
- Gravier	40	0.4	0.45	0.5	0.6
<b>Entrée d'auto</b>	96	0.87	0.87	0.88	0.89
<b>Toits</b>	90	0.8	0.85	0.9	0.9
<b>Pelouses, sol sablonneux</b>	0	0.0	0.01	0.05	0.2
<b>Pelouses, sol sablonneux</b>	0	0.05	0.15	0.25	0.5

(Adapté de Wright et MacLaughlin, 1991).

De même le guide SETRA (2012) a réalisé les tableaux indicatifs des coefficients de ruissellement ci-dessous :

**Tableau (II.6):** Valeur du coefficient de ruissellement en fonction de l'affectation du sol

Couverture végétale	Morphologie	Pente (%)	Terrain sableux	Terrain alluvial	Terrain argileux
<b>Boisé</b>	Plaine	$i < 5$	0,10	0,3	0,4
	Colline	$5 < i < 10$	0,25	0,35	0,5
	Escarapé	$10 < i < 30$	0,30	0,5	0,6
<b>Prairie</b>	Plaine	$i < 5$	0,10	0,3	0,4
	Colline	$5 < i < 10$	0,15	0,36	0,55
	Escarapé	$10 < i < 30$	0,22	0,42	0,6
<b>Culture</b>	Plaine	$i < 5$	0,20	0,3	0,6
	Colline	$5 < i < 10$	0,40	0,6	0,7
	Escarapé	$10 < i < 30$	0,52	0,72	0,82

(Source : (SETRA, 2012))

**ii. A partir des formules empiriques :**

L'estimation des coefficients de ruissellement au moyen de formules empiriques repose sur des équations simples dérivées de données expérimentales. Ces formules sont souvent utilisées pour fournir des estimations rapides qui tiennent compte des attributs du bassin versant et des conditions climatiques.

**a. En fonction de pourcentage de perméabilité :**

Le coefficient de ruissellement est estimé en fonction du pourcentage de surfaces imperméables dans le bassin versant dans cette méthode. L'approche est particulièrement adaptée aux zones urbaines où les surfaces imperméables sont dominantes.

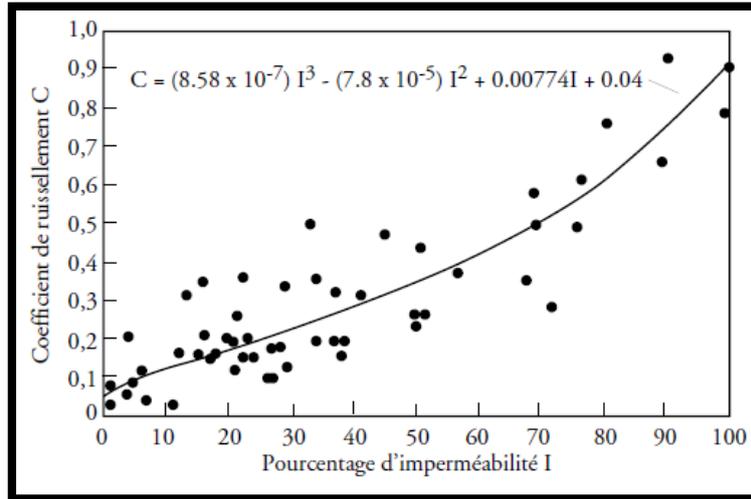
Une autre méthode consiste à utiliser l'équation ci-dessous, qui relie directement le coefficient au pourcentage d'imperméabilité.

$$C = 0,2(1 - \text{Imp}) + 0,9 \text{ Imp} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

**Imp** : le pourcentage de surface imperméable.

Cette approche est la même que celle montrée à la figure I.1, ou on peut voir une autre relation entre le pourcentage d'imperméabilité et le coefficient C. Il va sans dire que ces équations sont valides dans la mesure où un pourcentage significatif du bassin urbanisé. La valeur obtenue représente une valeur moyenne qui ne tient pas compte des conditions antécédentes de pluie, des durées variables de pluie ou des périodes de retour choisies.



**Figure (II.1) :** Coefficient de ruissellement en fonction du pourcentage D'imperméabilité (Urbonas et Roesner, 1993).

➤ **La méthode du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (2006) :**

Cette méthode est basée sur des comportements à effet de seuil : le ruissellement superficiel se manifeste après la satisfaction d'un seuil de rétention initial  $P_0$ .

$$C_r = 0,8 \left(1 - \frac{P_0}{P_j(T)}\right) \quad \text{(II.3)}$$

Ou :

$P_j(T)$  est la pluie journalière en mm pour une occurrence donnée T.

$P_0$  correspond à un seuil de rétention initial et est fourni dans le tableau suivant :

**Tableau (II.7) :** Valeur du seuil de rétention initial selon l'affectation du sol

Couvert	Morphologie	Pente (%)	Nature de sol		
			Sableux	Limoneux	Argileux compact
Boisé	plat	0-5	90	65	50
	vallonné	5-10	75	55	35
	pentu	10-30	60	45	25
Prairie	plat	0-5	85	60	50
	vallonné	5-10	80	50	30
	pentu	10-30	70	40	25
Culture	plat	0-5	65	35	25
	vallonné	5-10	50	25	10
	pentu	10-30	35	10	0

(Source : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2006)

Pour un sous bassin versant composé de multiples utilisations de sols, le coefficient de ruissellement pondéré  $C_P$  devrait être déterminé en tenant compte du coefficient de ruissellement de chaque surface correspondante selon l'équation suivante.

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^N (C_i A_i)}{\sum_{i=1}^N (A_i)} \quad (\text{II.4})$$

Il existe aussi une formule qui permet d'estimer  $C_r$  dans une zone urbanisée en fonction de la durée de l'averse et du pourcentage d'imperméabilité du bassin.

$$C_r = \frac{0,98(t)}{4,53+t} \times p + \frac{0,78t}{31,17+t} \times (1 - p) \quad (\text{II.5})$$

Où :

$t$  : temps écoulé à partir du début de l'averse en minutes.

$p$  : proportion de l'aire totale occupée par des surfaces imperméables.

## **b. En fonction des précipitations :**

### **1) La méthode rationnelle :**

La plupart des méthodes pour estimer le coefficient de ruissellement à partir des enregistrements de précipitation de ces approches sont empiriques, avec des exigences d'entrée de divers paramètres géomorphologiques tels que la zone de captage, la pente du chenal principal, la densité du drainage, etc. Elles sont couramment utilisées de façon assez arbitraire (Chow, Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins, 1962). Mathématiquement, la méthode rationnelle la plus simple relie le taux de ruissellement à la surface de drainage et l'intensité des précipitations par le coefficient de ruissellement. (McCuen, 1989) a déclaré que l'intensité des précipitations est obtenu à partir d'une courbe intensité-durée-fréquence. (WW, 1936), (VT, 1988), et (DH, 1993) appuient également cette affirmation. Avec  $Q$  comme taux de ruissellement, (Chow, Handbook of Hydrology. , 1964) affirme que « on doit supposer que le débit, en raison d'une certaine intensité des précipitations sur la zone de drainage, est produit par cette pluviométrie qui se maintient pendant une durée égale à la période de concentration du débit au point considéré. Toutefois, quelle que soit la formulation, la zone de drainage  $A$  est le facteur géomorphologique primaire, étant donné qu'il représente la zone qui recueille les précipitations, qui peut être exprimée simplement comme :

$$Q = C_r i A \quad (\text{II.6})$$

Où  $i$  est l'intensité et  $C_r$  est le coefficient de ruissellement, qui est défini comme le rapport entre le ruissellement prévu et les précipitations prévues. Cette formule peut être exprimée en termes de variables hydrologiques uniquement en divisant les deux côtés de l'équation précédente par  $A$ , et on obtient  $q$  au lieu de  $Q$ , comme rendement de la zone de drainage, ce qui équivaut à la profondeur directe du ruissellement sur la zone de captage par unité.

---

Par conséquent, l'équation (II.6) devient :

$$q = C_r i \quad (\text{II.7})$$

Il est également possible de définir le coefficient de ruissellement comme un rapport :

$$C_r = \frac{q}{i} \quad (\text{II.8})$$

$C_r$  est considéré comme une constante. Cependant, dans la nature,  $q$  et  $i$  ont des caractéristiques stochastiques; Pour les applications habituelles, les ingénieurs considèrent le coefficient de ruissellement comme une valeur déterministe; ensuite, selon les caractéristiques du bassin versant, la valeur de  $C_r$  est tabulée pour une utilisation pratique. Parmi les caractéristiques importantes utilisées pour déterminer  $C_r$ , on compte les pourcentages de la superficie imperméable, du couvert végétal et du type de sol (Chow, Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins, 1962).

Cependant, il est difficile d'obtenir la fonction de distribution de coefficient  $C$ ; mais, dans le cas où l'intensité des précipitations et le taux de ruissellement résultant sont mesurés, il est possible d'approximer la distribution de  $C$ . Alors le rapport de ruissellement peut être obtenue à partir de l'équation (II.8).

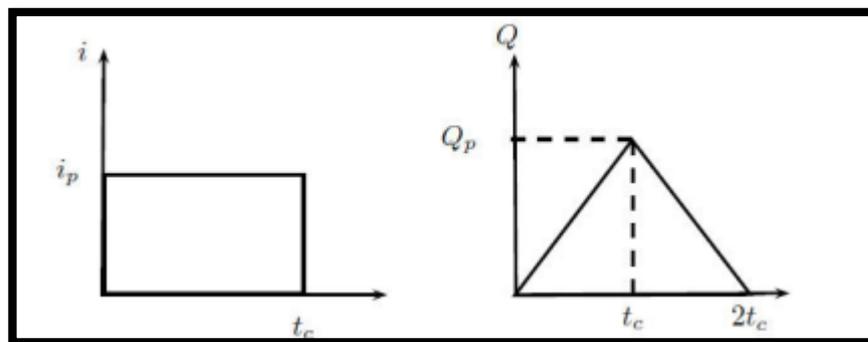
### 1.1) Les hypothèses de bases :

Il convient aussi de tenir compte des hypothèses, commentaires hydrologiques ci-après :

- Le débit de pointe est directement proportionnel à la surface tributaire et à l'intensité de précipitation moyenne durant le temps de concentration. Quoique certaines études aient tenté de vérifier cette hypothèse de base (Schaake, Experimental examination of the rational method, 1967), il n'existe pas de données suffisantes pour l'appuyer ou la contredire de façon définitive.
- La méthode rationnelle repose sur l'hypothèse selon laquelle la probabilité du débit de pointe déterminé par cette approche correspond à celle de l'intensité moyenne appliquée dans le calcul. Cette hypothèse n'est cependant pas universellement exacte en raison des variations importantes des conditions d'humidité antérieures au fil du temps. Néanmoins, des études menées dans les années 1960 ont révélé que cette hypothèse présente un degré raisonnable de validité (Schaake, Experimental examination of the rational method, 1967).
- Les variables significatives ( $C$ ,  $i$  et  $A$ ) sont évaluées indépendamment les unes des autres. Les mesures effectuées par (Schaake, Experimental examination of the rational method, 1967) ont démontré que le coefficient  $C_r$  présente une interdépendance avec l'intensité des

précipitations, en particulier que  $C_r$  augmente parallèlement à l'intensité des précipitations. Ce facteur, qui est négligé dans les documents de référence standard ((ASCE), 1969)), est abordé dans les principales recommandations formulées par (McLaughlin, 1991) concernant le choix du coefficient  $C$ .

- L'intensité reste constante pendant la durée égale au temps de concentration. Il suffit d'analyser les hyétogrammes de plusieurs grandes précipitations pour voir que cette hypothèse n'est valable que pour de brèves périodes, généralement de quelques minutes. Cependant, moins cette hypothèse reste valide, plus la période de temps augmente.



**Figure (II.2) :** Hydrogramme unitaire de la méthode rationnelle

La pluie est supposée d'intensité  $i$  constante sur une durée  $t = t_c$  et le volume de crue est proportionnel au volume de pluie. La réponse en débit est un hydrogramme triangulaire, de durée  $2t_c$  (le temps de réponse) et de débit de pointe  $Q_p$ .

- L'intensité moyenne de pluie choisie est l'intensité d'une averse qui a une durée égale au temps de concentration du bassin. Cette hypothèse n'est pas valide et peut porter à confusion. Bien qu'il soit possible qu'une averse ait une durée exactement égale au temps de concentration, il est plus probable que la durée totale de l'averse soit plus longue que le temps de concentration utilisé. De plus, la période choisie pour le temps de concentration peut se produire au début, au milieu ou à la fin de l'averse.

### 1.2) Domaine d'application de la méthode :

La méthode rationnelle est largement utilisée en hydrologie urbaine et dans la gestion des eaux pluviales, mais son application est limitée à certaines conditions spécifiques :

- Idéalement adaptée aux petits bassins versants, et particulièrement adaptée aux zones urbaines et périurbaines.
- Utilisée pour les études de drainage routier et d'assainissement pluvial.

- Applicable pour des durées de pluie relativement courtes, généralement inférieures ou égale au temps de concentration du bassin versant.
- Plus précise pour les bassins versants relativement homogènes en termes d'occupation du sol et de pente.

### 1.3) Les limites :

La méthode rationnelle, qui est utilisée pour estimer les débits pluviaux, présente plusieurs limites :

- La méthode est généralement recommandée pour des petits bassins, car elle ne prend pas en compte les effets de stockage et d'atténuation dans les grands bassins, selon (Bennis, 2003): La méthode rationnelle traditionnelle se limite à des bassins d'une superficie maximale de quelques centaines d'hectares.
- La méthode ne tient pas compte explicitement du temps de concentration du bassin versant, ce qui peut conduire à des surestimations du débit de pointe.
- La méthode est mal adaptée pour modéliser des événements pluvieux complexes ou des séries d'orages successifs.
- La méthode ne considère pas l'état d'humidité du sol avant l'événement pluvieux, qui peut grandement influencer le ruissellement.

### II.3 Comparaison des méthodes :

Chacune des méthodes empiriques d'estimation du coefficient de ruissellement a ses points forts et ses faiblesses en fonction du contexte d'application. Ci-dessous, une comparaison des principales approches exposées dans ce chapitre :

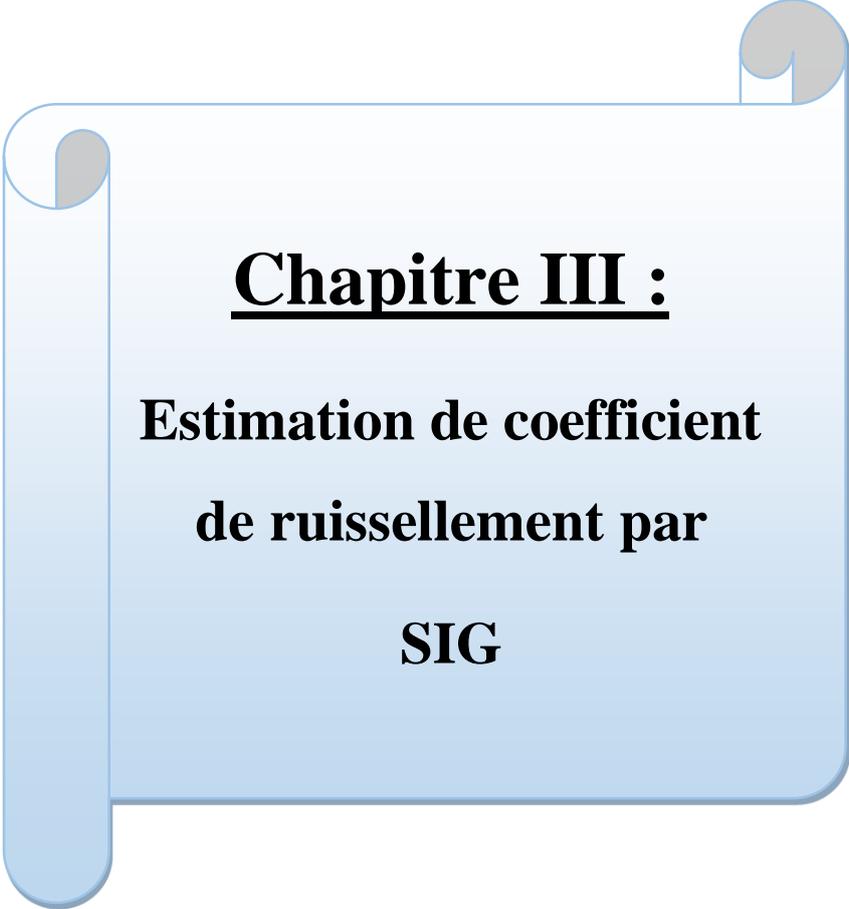
**Tableau (II.8) :** Tableau comparatif des méthodes empiriques

Méthodes	Avantages	Inconvénients	Contexte d'application
<b>Tableaux Typiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Très simple à utiliser, avec des valeurs de coefficient déjà prêtes.</li> <li>- Adaptée aux petites études hydrologiques où des estimations rapides sont nécessaires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manque de précision pour des événements météorologiques extrêmes.</li> <li>- Les coefficients peuvent ne pas être adaptés à des bassins versants complexes avec des caractéristiques.</li> </ul>	Petits bassins versants urbains et ruraux.

<b>En Fonction du Pourcentage d'Imperméabilité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Très utile pour les zones urbaines où la proportion de surfaces imperméables est élevée.</li> <li>- Fournit une estimation rapide en fonction de la couverture du sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne prend pas en compte la variabilité spatiale et temporelle des précipitations.</li> <li>- Peut-être moins précise dans les zones rurales ou pour des bassins versants naturels.</li> </ul>	Zones urbaines avec une forte proportion de surfaces imperméables.
<b>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (2006)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prend en compte un seuil de rétention initial, améliorant ainsi la précision dans des conditions spécifiques.</li> <li>- Appropriée pour des zones avec peu de données, grâce à des équations simples basées sur des observations.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins adaptée aux zones urbaines ou à des bassins versants complexes.</li> <li>- Requiert des ajustements pour des conditions climatiques extrêmes.</li> </ul>	Zones rurales ou semi-urbaines avec des caractéristiques de sol spécifiques.
<b>Méthode rationnelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplicité d'utilisation, permet d'estimer rapidement les débits d'écoulement dans des bassins versants.</li> <li>- Peut être utilisée pour des zones de petite à moyenne taille.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ne prend pas en compte les conditions spécifiques de l'infiltration ou de l'évaporation.</li> <li>-Moins précise dans les grands bassins versants.</li> <li>-Ne considère pas la variabilité temporelle des événements pluvieux.</li> </ul>	Applicable dans les zones urbaines ou rurales, en particulier pour des périodes de retour spécifiques .

### Conclusion :

Les méthodes empiriques pour estimer le coefficient de ruissellement offrent des solutions pratiques adaptées à divers contextes hydrologiques, notamment lorsque les données sont limitées. Chaque méthode comporte des avantages et des limites qui doivent être prises en compte selon les caractéristiques spécifiques du bassin versant et les objectifs de l'étude. Bien que ces approches aient pour but de simplifier des processus complexes, elles sont importantes pour fournir des estimations rapides et efficaces du ruissellement. Une application rigoureuse, associée à des vérifications sur le terrain, est essentielle pour assurer la précision des résultats.



## **Chapitre III :**

**Estimation de coefficient  
de ruissellement par**

**SIG**

---

## **Introduction :**

L'évaluation du coefficient de ruissellement constitue une étape essentielle dans la modélisation hydrologique, car elle permet de quantifier la part des précipitations qui s'écoule en surface. Avec les avancées des technologies de traitement des données spatiales, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) se sont révélés être des outils indispensables pour cette estimation. Ils offrent la possibilité de combiner diverses informations géographiques afin de réaliser des analyses précises et dynamiques du comportement des eaux de surface. Ce chapitre traite de l'utilisation des SIG dans l'estimation du coefficient de ruissellement, en soulignant leur aptitude à intégrer et à analyser des données spatiales complexes.

### **III.1 Aperçu sur les systèmes d'information géographique (SIG) :**

SIG (système d'information géographique, en français) a été utilisé pour la première fois par Roger Tomlinson en 1963, alors que le premier SIG a été développé au début des années 1960 par Howard T. Fisher de l'Université Harvard (Chakhar S, 2006), cette technologie qui permet de gérer et de traiter des informations liées à des emplacements spécifiques.

Le concept d'information localisée ou d'information spatiale fait référence à toute donnée associée à un point ou un ensemble de points géographiquement référencés sur la surface terrestre, par exemple : la répartition des ressources naturelles (sols, végétation, eau, ...), la localisation d'infrastructures (routes, réseaux, habitations, ...), les limites politiques, et les données statistiques relatives à la population (emploi, délinquance, ...) (GANDON, 1991).

Étant donné la définition d'un système d'information géographique et sa fonctionnalité peut être divisée en quatre composantes principales qui ont illustrés dans la figure ci-dessous :

- ✓ Entrée et sortie de données,
- ✓ Stockage et gestion des données,
- ✓ Manipulation des données et analyse,
- ✓ Interaction avec l'utilisateur.

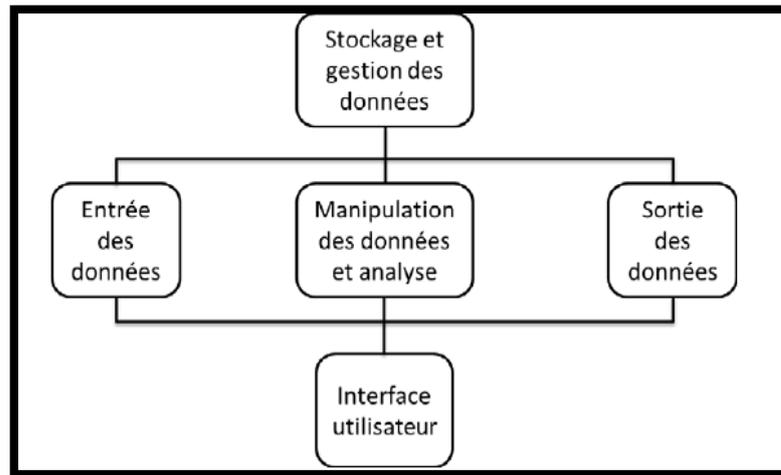


Figure (III.1) : Structure d'un SIG. Source (Malczewski, 1999).

### III.2 Modélisation et représentation des entités géographiques :

Les représentations spatiales dans les SIG se divisent en deux catégories : Vecteur et Raster, ces deux modes illustrent une dualité relative à la limitation et au remplissage de l'espace.

- **Mode Raster** : Dans ce type d'espace appelé Raster ou encore maille, trame, matriciel... etc. l'espace est régulièrement découpé en cellules élémentaires (BEKHTARI, 2016).
- **Mode vecteur** : Le mode vecteur permet une représentation de la géométrie des objets peu coûteuse en mémoire : un point est représenté par ses coordonnées, une ligne est représentée par une liste de points et un polygone par la liste des lignes constituant sa frontière (BEKHTARI, 2016).

#### 2.1 Notion des couches :

Une couche représente un groupe d'un ou plusieurs thèmes ayant une couverture spatiale identique. Cela désigne également un ensemble d'objets géographiques occupant un même territoire (BEKHTARI, 2016) .

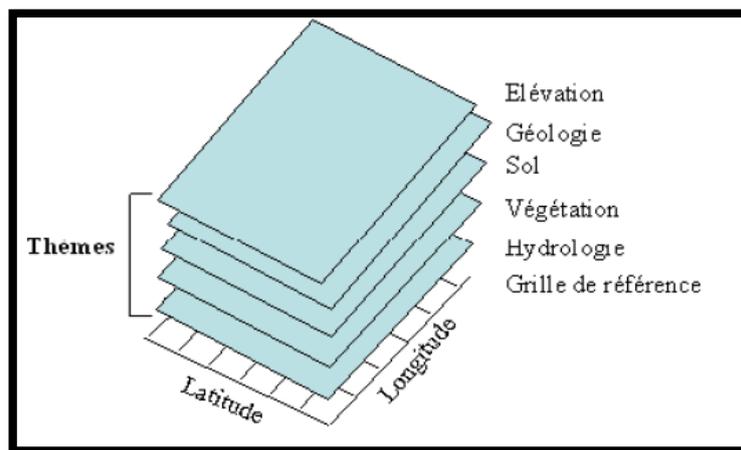


Figure (III.2) : Représentation d'une couche. Source (Chakhar S, 2006).

### III.3 Application en hydrologie :

Le terme hydrologie est extrêmement vaste, mais ce qui nous intéresse ici est la modélisation de l'espace pour déterminer les écoulements et faire de la prévision de crues, par d'autres moyens que les modèles déterministes ou probabilistes et en utilisant l'outil SIG.

(Zhang, 1990) et (Schultz, 1993) ont présenté des aperçus de la situation hydrologique et modélisation avec le SIG, et (Feldman, 1993) ont examiné les applications du SIG dans la modélisation hydrologique, en particulier les modèles de précipitations-ruissellement, gestion et prévision de l'eau, prévision et contrôle de l'érosion, qualité de l'eau Prévision et contrôle de la qualité et mise en œuvre des services publics de drainage. (Wallis, 1988) A mis en évidence les applications hydrologiques du SIG et a commenté ses perspectives d'avenir. L'intégration des SIG avec le modèle hydrologique facilite de plus en plus leur conception, étalonnage, modification et comparaison.

Puisque l'eau ruisselle toujours en pente ce paramètre est fondamental pour estimer le rapport de ruissellement. Comme l'analyse de terrain de base d'un modèle numérique d'élévation implique le calcul de la pente et de l'aspect, ces modèles numériques d'élévation sont très utiles pour les analyses hydrologiques (Heywood, 2006), Il est possible d'évaluer le coefficient de ruissellement en combinant des données spatiales sur les précipitations, la pente et la couverture du sol (Chen, 2013).

Les SIG permettent de simuler les zones qui peuvent être inondées en tenant compte des précipitations extrêmes et de la morphologie du terrain. Cela permet de prévoir les crues et de gérer les risques (Maidment, 2002).

---

### **III.4 Estimation du coefficient de ruissellement par SIG :**

L'estimation du coefficient de ruissellement à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) s'appuie sur des données spatiales et des méthodes d'analyse géographique pour déterminer la quantité de ruissellement qu'une surface peut produire, certes ; l'estimation ne reflète pas exactement la réalité du terrain vu la complexité du phénomène. Le ruissellement est lié à plusieurs facteurs tel que, la durée et l'intensité des précipitations, le type de sol, l'occupation du sol, le couvert végétal, la pente et la densité du réseau hydrographique (MISHRA S.K., 2003), En général, des quantités importantes de ruissellement proviennent des bassins versants naturels. Ces bassins sont des systèmes physiques extrêmement hétérogènes et complexes qui convertissent les précipitations en flux dans les rivières et de canaux vers des exutoires, souvent en zone urbaine (BROOKS N.K., 2013), vu la complexité d'estimations de plusieurs variables relatives au ruissellement, alors l'utilisation des systèmes informatiques géographiques est indispensable, l'une des méthodes utilisées pour estimer le ruissellement dans les bassins versants non jaugés, la méthode SCS-CN (Soil Conservation Service - Curve Number) (USDA, 1986).

#### **4.1 Méthode du service de conservation des sols (SCS-CN) :**

La méthode du nombre de courbes du service de conservation des sols (SCS-CN) mise au point par le National Resources Conservation Service (NRSC), ministère de l'Agriculture des États-Unis (USDA) en 1969 est une méthode simple, méthode conceptuelle prévisible et stable pour l'estimation de la hauteur du ruissellement direct, fondée sur la profondeur des pluies orageuses. Les caractéristiques numériques du bassin versant sont le fondement de la détermination des eaux de ruissellement dans cette méthode.

Le processus vise à déterminer le nombre précis de la courbe d'écoulement (CN) qui définit le potentiel d'écoulement, il est déterminé en considérant essentiellement les types de sol en présence dans le bassin et le couvert végétal, L'une des méthodes de calcul les plus courantes pour estimer la lame de ruissellement dans les bassins versants pour un événement pluvieux donné est la méthode SCS-CN. Cette méthode nécessite l'utilisation d'une formule empirique de base et de tableaux et courbes facilement accessibles. Un nombre élevé de courbes signifie un ruissellement élevé et une infiltration faible (zones urbaines), tandis qu'un nombre faible de courbes signifie un ruissellement faible et une infiltration élevée (sol sec) (Shadeed, 2010).

Cette méthode a par ailleurs classé les sols en quatre catégories en ce qui concerne le potentiel d'infiltration :

- 
- ❖ Groupe A (faible potentiel de ruissellement) : Sols présentant des taux élevés d'infiltration même lorsque saturés et étant principalement constitués en profondeur de sable ou gravier bien drainés ou excessivement bien drainés. Ces sols possèdent un haut taux de transmission de l'eau infiltrée.
  - ❖ Groupe B : Sols avec des taux d'infiltration moyen lorsque saturés, composés essentiellement de sable ou gravier modérément drainés à bien drainés sur des profondeurs modérées à importantes, avec des textures modérément fines à modérément grossières. Ces sols possèdent un taux modéré de transmission de l'eau.
  - ❖ Groupe C : Sols présentant des taux d'infiltration lents lorsque saturés, composés principalement de sols avec une couche qui retarde le mouvement vertical de l'eau ou de sols avec une texture modérément fine à fine. Ces sols ont un taux de transmission de l'eau qu'on peut qualifier de faible.
  - ❖ Groupe D (potentiel élevé de ruissellement) : Sols avec de très faibles taux d'infiltration lorsque saturés, constitués principalement d'argile en surface ou à une faible profondeur ou de sols avec une nappe phréatique haute en permanence. Ces sols présentent un très faible taux de transmission de l'eau.

La méthode SCS-CN (Soil Conservation Service - Curve Number), qui est largement utilisée pour estimer le ruissellement, peut être facilement intégrée aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour estimer spatialement les coefficients de ruissellement. Le SIG permet de superposer et d'analyser les données géospatiales, telles que l'occupation des sols, le type de sol et la pente, et de calculer le Curve Number (CN) pour chaque cellule de la zone d'étude. Ce processus permet d'améliorer l'estimation par rapport aux autres modèles qui traitent les bassins versants comme des unités homogènes (Melesse, 2002). En associant le SIG à la méthode SCS, il est possible d'estimer le ruissellement de manière plus détaillée et à des échelles spatiales variées (Ramakrishnan, 2009).

#### **4.2 L'application de la méthode SCS-CN :**

L'application de la Méthode SCS recouvre deux aspects, le premier concernant la taille des bassins-versants et le second le type d'événements pluvieux à considérer (USDA, 2004). Les pertes initiales peuvent être déterminées à partir de données observées de précipitation et de ruissellement pour de petits bassins-versant où l'augmentation des débits est rapide (USDA, 2004), (Ponce, 2003) affirme par ailleurs que les pertes initiales et le stockage aurait été estimé à l'origine à partir de données provenant de bassins versants de moins de de petite taille.

Cette méthode reste pas moins utile et applicable principalement pour des bassins à vocation essentiellement rurale et non développés (MTQ, 1995).

---

### 4.3 Les limites d'application de la méthode SCS-CN :

La méthode SCS développée par le National Resources Conservation Service des États-Unis nécessite une compréhension approfondie d'un paramètre fondamental pour son application, qui dépend principalement de trois facteurs : le groupe hydrologique du sol, utilisation de sols, conditions d'humidité antérieures, de ce fait, l'approche est très gourmande en données de très bonne qualité. En pratique, les informations disponibles sur ces facteurs pour un bassin versant spécifique sont souvent imprécises ou erronées en raison de l'hétérogénéité du bassin versant d'une part et du manque de ressources ou d'une mauvaise interprétation d'autre part. Par conséquent, les estimations du CN demeurent incertaines. Cette incertitude a des effets différents sur le coefficient de ruissellement et le débit de pointe à l'exutoire du bassin (SELMOUNI, 2005).

Il ressort de cette étude qu'avant de débiter la modélisation, il faut absolument prêter une attention particulière aux valeurs des paramètres CN et vérifier si les précipitations sont bien supérieures aux pertes initiales.

### III.5 Modélisation du coefficient de ruissellement :

Pour évaluer l'infiltration et le ruissellement, un algorithme a été conçu en utilisant une méthode développée dans le système informatique géographique (SCS-CN - Soil Conservation Service-Curve Number).

Afin d'estimer ces paramètres SCS (Soil Conservation Service) propose une relation en la quantité de précipitations (P), les pertes initiales (I<sub>a</sub>), et la rétention potentielle maximale (S). Dans sa forme originale, le modèle est basé sur l'utilisation des équations suivantes (Musy, 1998):

$$F = \frac{S \cdot (P - I_a)}{P - I_a + S} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad I_a = 0,2 \cdot S \quad (III.1)$$

D'où :

F : rétention produite dans le bassin en mm.

P : Précipitation en mm.

I<sub>a</sub> : pertes initiales en mm.

S : Rétention potentielle maximale en mm.

CN en fonction de (Utilisation de sols, pente, couvert végétal).

Afin d'améliorer le modèle, il est indispensable de prendre en compte la capacité de pente et d'écoulement qui caractérisait chaque zone. De cette considération, nous trouvons utile d'intégrer dans l'équation un coefficient théorique de ruissellement ( $\alpha$ ) estimé en fonction de

---

la pente, de la texture du sol, de l'utilisation des sols. Ainsi, l'équation de l'infiltration cumulative aurait la forme suivante :

$$F = \frac{S \cdot (P \cdot I_a)}{P - I_a + S} (1 - \alpha) \quad (\text{III.2})$$

En utilisant une équation basée sur l'équilibre, nous avons évalué la lame de ruissellement de la façon suivante :

$$H_r = P - F - I_a \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$H_r$  : lame ruisselée en mm.

$P$  : Précipitation en mm.

$I_a$  : Pertes initiales en mm.

En utilisant le rapport entre la profondeur du ruissellement et la profondeur des précipitations, pour obtenir le coefficient de ruissellement ( $C_r$ ).

$$C_r = \frac{H_r}{P} \quad (\text{III.4})$$

### **5.1 Contribution du SIG pour l'estimation de coefficient de ruissellement :**

La première étape consiste en une acquisition initiale de base de données (situation géographique, cartes topographiques, utilisation des sols etc.); le prochain composant de l'algorithme se réfère à la géo référence de la base cartographique initiale et à la génération d'une base vectorielle.

En ce qui concerne le paramètre  $P$  (précipitations), les valeurs enregistrées à l'aide d'une station météorologique la plus proche, Le paramètre  $\alpha$  a été obtenu selon l'utilisation des sols, la pente et la texture du sol (Diaconu C., 1994), en utilisant un outil d'analyse spatiale basé sur l'accès à certaines fonctions de conversion vecteur-raster, classification, L'indice CN est déterminé en fonction de l'utilisation des terres, du groupe hydrologique du sol (A, B, C, D) et des conditions d'humidité antérieures (voir l'annexe I) (Crăciun A.I., 2009).

Une fois la base de données raster réalisée, en intégrant dans le SIG l'équation présentée au-dessus, Après obtention des couches d'infiltration on passe à déterminer la lame de ruissellement et le coefficient de ruissellement en appliquant les équations qui ont au-dessus.

### **III.6 Les limites des systèmes informatiques géographiques :**

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont des outils puissants en l'hydrologie, mais ils présentent également certaines limites. Voici quelques principales limites :

- Le SIG dépend fortement de la qualité et de la précision des données d'entrée. Des données inexactes ou obsolètes peuvent entraîner des erreurs d'analyse hydrologique et

---

de modélisation (N. Dorfigher, 2016). Par exemple : Par exemple, les données topographiques, les précipitations et les caractéristiques du sol doivent être régulièrement mises à jour pour garantir des résultats fiables (GANDON, 1991).

- La modélisation des processus hydrologiques tels que l'infiltration, le ruissellement et l'évapotranspiration peut être difficile à représenter avec précision dans le SIG (GANDON, 1991).
- Les dynamiques des modèles doivent souvent être simplifiées, ce qui réduit la précision des prévisions et des analyses, comme les variations saisonnières des précipitations et des débits des rivières (Gourmelon, 2005).
- Ils peuvent fournir des analyses précieuses basées sur les données disponibles, mais lorsqu'il s'agit de prévoir des événements futurs ou des changements, leurs capacités sont limitées.

**Conclusion :**

L'utilisation des SIG pour estimer le coefficient de ruissellement représente une avancée significative en hydrologie. Ces outils permettent une modélisation précise en intégrant divers facteurs hydrologiques. Cependant, ils dépendent de la qualité des données et présentent des limites dans l'évaluation des paramètres liés au futur.

Pour mieux comprendre l'efficacité des SIG, il est essentiel de les comparer aux approches empiriques. Cette comparaison mettra en lumière les points forts et les faiblesses de chaque méthode, offrant ainsi une perspective plus complète et nuancée sur l'estimation du coefficient de ruissellement. Cette analyse sera détaillée dans le prochain chapitre.

## **Chapitre IV:**

**Comparaison des méthodes  
empiriques et SIG pour  
l'estimation de coefficients de  
ruissellements**

---

## **Introduction :**

L'estimation du coefficient de ruissellement a un impact significatif sur la conception des ouvrages des eaux pluviales et des ouvrages hydrauliques. Deux méthodes principales sont développées pour cette estimation : les méthodes empiriques, qui s'appuient sur des formules et des tableaux courants dérivés de données observées, et les SIG, qui offrent une approche plus précise et spatialisée. Ce chapitre évaluera les similitudes et les différences entre ces deux approches en évaluant leurs avantages, leurs limites. Cette comparaison sur notre zone d'étude de Merine permet de clarifier les situations dans lesquelles chaque méthode est la plus avantageuse, ce qui conduit à une meilleure compréhension de la façon de gérer les eaux pluviales.

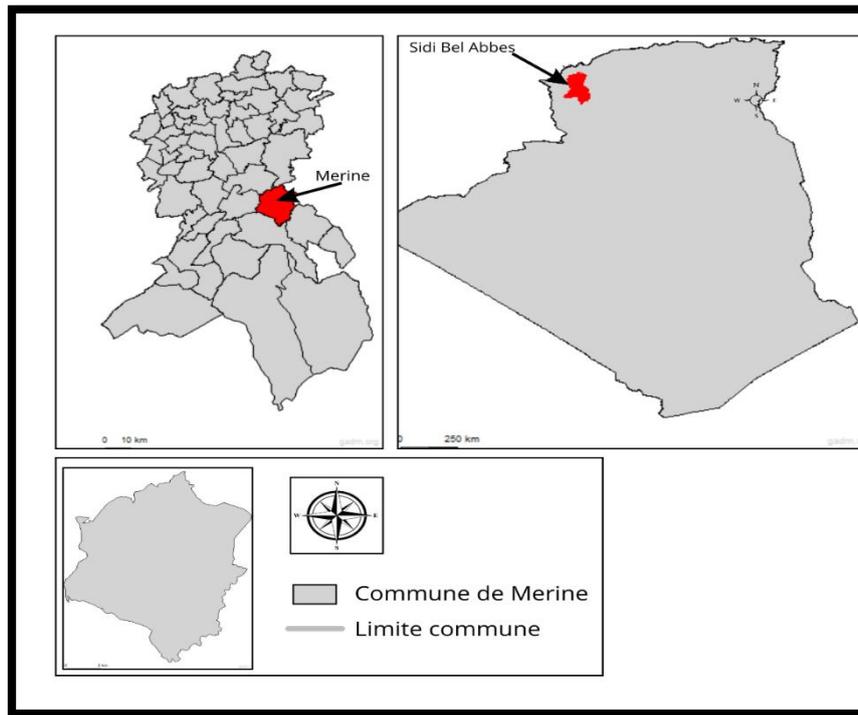
### **IV.1 Situation et description de la zone d'étude :**

#### **1.1 Localisation de la zone d'étude :**

Notre zone d'étude d'une superficie **1,57 km<sup>2</sup>** située au sein de la commune de **Merine**, l'une des communes appartenant à la daïra de Merine, elle se situe au sud-est du chef-lieu de la **Wilaya Sidi Bel Abbes**.

C'est l'une des communes de la Wilaya De Sidi Bel Abbes distante de 49 km avec une superficie totale de **189.35 km<sup>2</sup>**, elle est limitée comme suit :

- La commune de Teghalimet et la commune d'Oued Sefioune au nord.
- La commune de Telagh à l'ouest.
- La willaya de Saida à l'est.
- La commune de Tafissour au sud-est.
- La commune d'Oued Taourira au sud.



**Figure IV.1** : Carte de situation de la zone d'étude

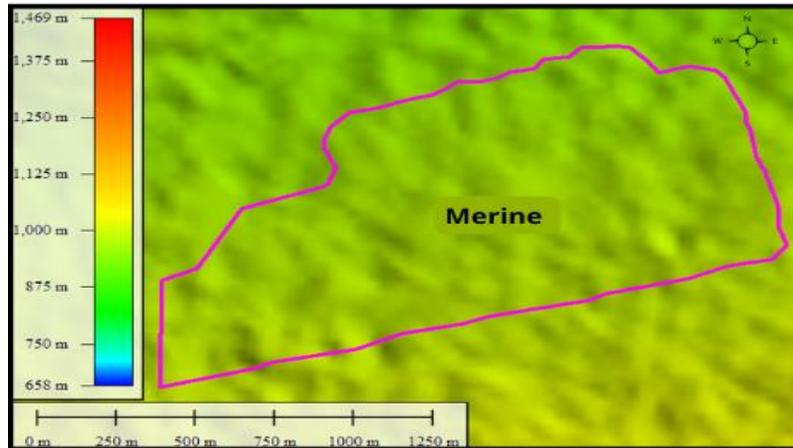
### 1.2 Géologie :

Les plaines de notre région sont des zones de subsidence traversée en leur centre par l'oued MEKERRA dont le bassin versant est constitué essentiellement d'affleurements crétacés où dominant les grés et les marnes gréseuses avec assez peu d'affleurements calcaires. Il en résulte que les alluvions déposées dans la plaine sont peu calcaires.

Les hautes plaines de Sidi Bel Abbès se situent dans les derniers contreforts tabulaires du versant sud de l'atlas tellien qui est formé par les monts de Tlemcen, de Dhaya et de Saïda et au seuil des hautes plaines steppiques des hauts plateaux, elle est située entre l'extrémité des monts de Dhaya au nord et la région des hauts plateaux au sud.

### 1.3 Topographie :

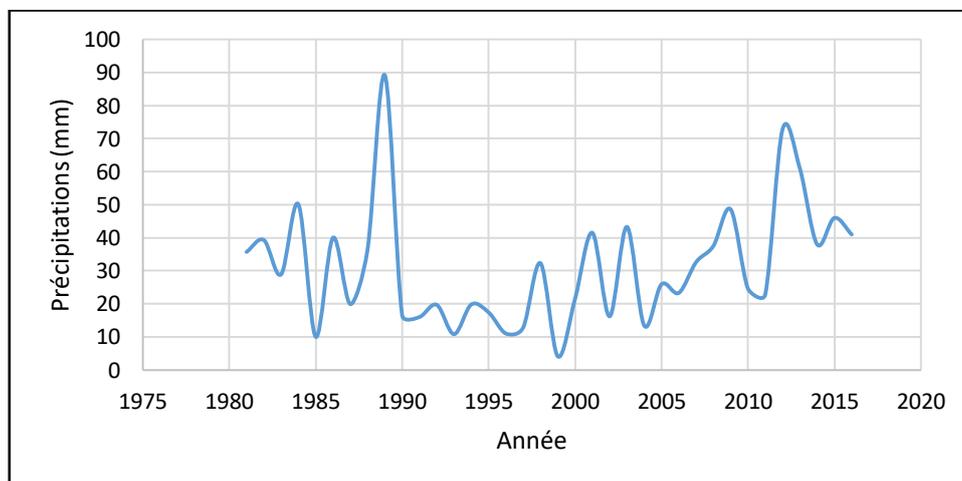
Notre site d'étude se situe à une altitude moyenne 957m sur un glacis incliné du sud-est vers le nord-ouest, et une altitude minimale de 728 m et maximale de 1388 m, et caractérisée par un terrain accidenté présentant des pentes irrégulières.



**Figure IV.2 :** Carte topographique de la zone d'étude

#### 1.4 Climat :

Notre zone d'étude se situe dans la région semi-aride du Nord-Ouest algérien avec la transition entre la variante froide et fraîche et un climat méditerranéen, les observations météorologiques disponibles sont celles de la station de Telagh comme référence de code 110502, comme représente la figure ci-dessous. Quant aux températures, elles ont enregistrées une moyenne de 17,38 °C, avec un maxima de 37°C (Juillet) et un minima de 3 (Février). L'humidité relative moyenne est de 67%.



**Figure IV.3 :** Précipitations journalières maximales à la station de Telagh (1981-2016)

(Source :ANRH)

#### IV.2 Sélection des méthodes empiriques :

Dans cette étude, nous avons opté une méthode d'estimation du coefficient de ruissellement basée sur des tables typiques. Ce choix méthodologique est attribué à deux

avantages majeurs : d'une part, offrant des valeurs de coefficients prédéterminés, et d'autre part, son adéquation aux études hydrologiques à petite échelle qui nécessitent des estimations rapides. Bien que notre zone d'étude présente un caractère urbain, cela suggère une certaine homogénéité de surface, nous avons donc choisi d'élargir notre approche en utilisant la méthode du coefficient de ruissellement pondéré. Cette démarche consiste d'abord à découper la zone en surfaces élémentaires, ce qui permet une estimation plus détaillée et plus précise.

Cette approche, simple à appréhender et à mettre en œuvre, permet de prendre en compte les variations locales au sein de la commune de Merine, en trouvant un équilibre entre la facilité d'utilisation et la signification des résultats dans le contexte urbain spécifique.

### 2.1 Application des méthodes empiriques à la zone d'étude :

Pour déterminer le coefficient de ruissellement pour notre site, la première étape consiste à identifier les différentes classes d'utilisation du sol, telles que les surfaces résidentielles, agricoles, forestières et imperméables, au moyen d'un plan de masse (voir la planche n° 1). Ensuite, la zone est segmentée en surfaces élémentaires homogènes. Un coefficient de ruissellement est ensuite attribué à chaque surface. Le taux de ruissellement global de la zone est calculé de manière pondérée en fonction de ces surfaces élémentaires, comme le montre le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.1** : Valeurs de coefficient de ruissellement

Surface élémentaire	A <sub>i</sub> (Km <sup>2</sup> )	Cr
1	0,2697	0,5
2	0,3082	0,56
3	0,1883	0,4
4	0,8083	0,9

Le taux de ruissellement global se calcule comme suit :

$$C_p = \frac{A_i \times C_r}{A_i}$$

$$C_p = \frac{0,2697 \times 0,5 + 0,3082 \times 0,56 + 0,1883 \times 0,4 + 0,8083 \times 0,9}{1,57} = 0,707 \cong 0,71$$

---

Un coefficient de ruissellement de 0,71 reflète une faible capacité d'infiltration du sol, ce qui peut être attribué à une imperméabilisation importante ou à des sols ayant une faible perméabilité. Cette valeur reflète une surface avec une capacité modérée d'infiltration, souvent caractéristique des zones semi-imperméables comme les quartiers résidentiels ou les espaces urbains mixtes. En termes de gestion des eaux pluviales, cela implique qu'une proportion significative des eaux de pluie contribue au ruissellement, nécessitant des mesures appropriées pour prévenir les problèmes d'inondation et de surcharge des systèmes de d'assainissement.

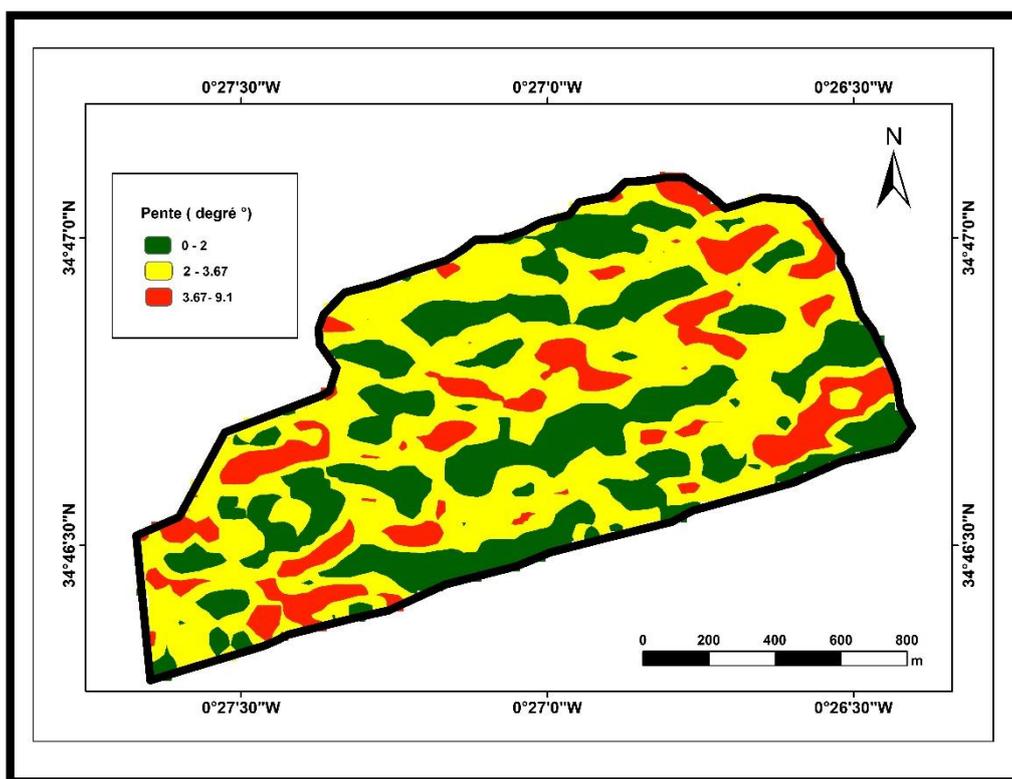
### **IV.3 Estimation de coefficient de ruissellement par SIG :**

La démarche globale consiste à utiliser une méthode d'estimation du ruissellement de surface basée sur des bases de données spatiales détaillant l'occupation des sols et les données topographiques, établies à l'aide du SIG. Cette méthode intègre des techniques d'investigation et utilise le modèle SCS-CN détaillé déjà dans le chapitre précédent, qui repose sur le bilan hydrologique.

L'objectif est de parvenir à une estimation précise du coefficient de ruissellement, cet approche a été utilisée sur les bassins versants ruraux non jaugés, elle a évolué de son objectif initial pour être adoptée à l'estimation de ruissellement dans les bassins versant urbains et forestiers (HAWKINS, 2009).

#### **3.1 Les données géospaciales :**

L'approche conventionnelle de délimitation des bassins versants à l'aide de cartes topographiques est à la fois imprécise et nécessite beaucoup de temps. Récemment, cette technique a été remplacée par l'extraction de données à partir d'un modèle numérique du terrain (KHADDOR, 2014), Ces données ont été utilisées pour obtenir les caractéristiques topographiques comme la pente du terrain (figure IV.4), les altitudes (figure IV.2).



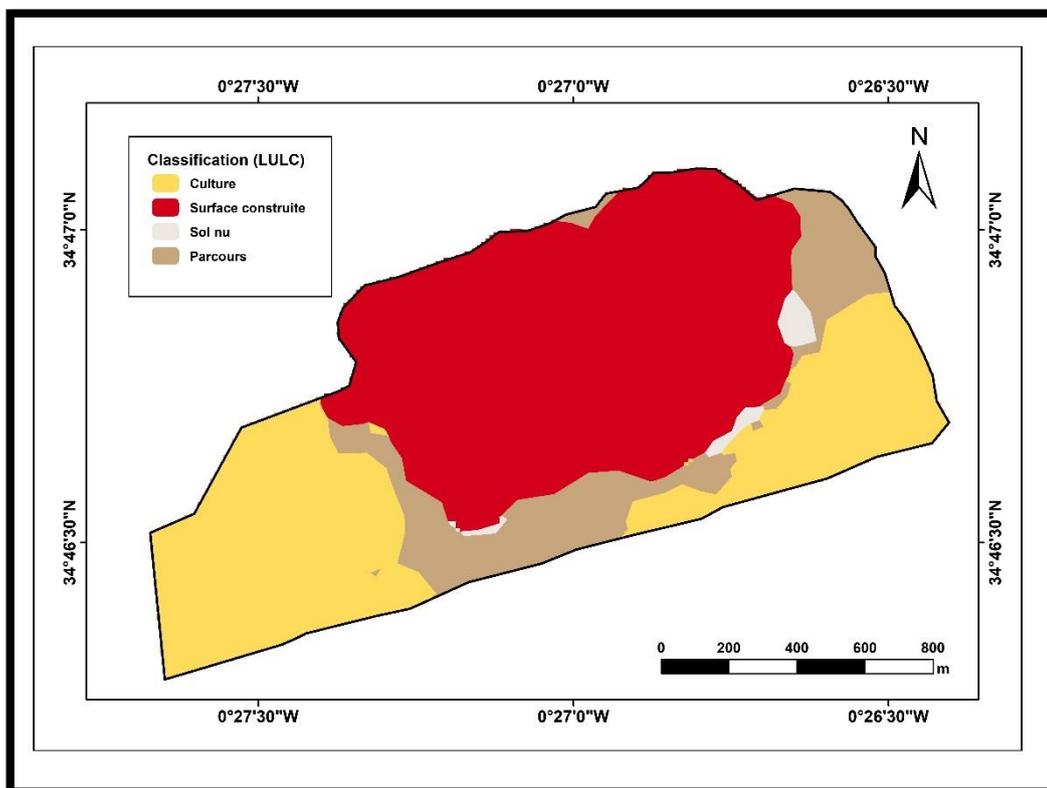
**Figure IV.4** : Carte des pentes

Les classes des pentes sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.2** : Classes numérique des pentes

Pente en degré	Pourcentage (%)	Surface (Km <sup>2</sup> )
<b>0-2</b>	36,72	0,576
<b>2-3,67</b>	38,82	0,61
<b>3,67-9,1</b>	24,46	0,384

Pour la base de données d'occupation de sols, l'effet de ces données sur l'hydrologie a été un important domaine de recherche au cours de la dernière décennie, particulièrement, sur la genèse du ruissellement (LIU, 2012), afin de passer par la détermination CN dépend du type et de l'occupation du sol, la figure suivante la carte d'occupation de sols.



**Figure IV.5 :** Carte d'occupation des sols

Les fractions de chaque surface de sols en % et en Km<sup>2</sup> sont détaillées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.3 :** Fractions d'occupation des sols

Classification	Pourcentage (%)	Surface (Km <sup>2</sup> )
<b>Culture</b>	34,3	0,538
<b>Surface construite</b>	49,2	0,773
<b>Sol nu</b>	6,5	0,102
<b>Parcours</b>	10	0,157

Le service de conservation des sols a identifié quatre groupes hydrologiques des sols A, B, C et D sur la base de la texture, la capacité d'infiltration, partant du potentiel de ruissellement le plus faible vers le plus élevé. Le groupe hydrologique du sol est déterminé à partir du triangle de classification (Voir Annexe 2) établi par Département de l'Agriculture des États-Unis en 1986, donné ci-dessous :

**Tableau IV.4 :** Les groupes hydrologiques des sols

Groupes hydrologiques des sols	Texture des sols
<b>A</b>	Sable, Sable Limoneux ou Limon Sableux.
<b>B</b>	Limon fin ou Limon
<b>C</b>	Limon Argileux Sableux. Limon Argileux, Limon Argileux fin, Argile
<b>D</b>	Sableux, Argile Limoneux ou Argile.

Notre site est caractérisé par deux types de sols dominants, sableux et argileux limoneux ou dominant les éléments grossiers réparti d'une façon déséquilibrée. Ces types de sol représentent le groupe hydrologique du sol "D", ce groupe caractérisé par un potentiel élevé de ruissellement et faible taux d'infiltration et les CN varient de 80-95 selon l'occupation de sol, le tableau suivant illustre les résultats :

**Tableau IV.5:** CN pour chaque utilisation de sol.

Occupation de sols	Surface (Km <sup>2</sup> )	CN
<b>Culture</b>	0,538	85
<b>Surface construite</b>	0,773	92
<b>Sol nu</b>	0,102	84
<b>Parcours</b>	0,157	85

Ensuite, on passe par la détermination du CN pondéré, en appliquant cette formule :

$$CN = \frac{A_i \times CN_i}{A_i} \quad (IV.5)$$

$$CN = \frac{85 \times 0,538 + 92 \times 0,773 + 84 \times 0,102 + 85 \times 0,157}{1,57} = 88,38$$

La valeur du coefficient de ruissellement est égale à 78% grâce à la simulation de modèle SCS-CN.

#### **IV.4 Synthèse de la comparaison:**

Dans cette comparaison, même si les résultats obtenus par les deux méthodes sont relativement proches, l'utilisation des approches empiriques pour estimer les coefficients de

ruissellement présente plusieurs avantages significatifs. Les méthodes empiriques reposent sur des formules et des tableaux prédéfinis, sont plus simples à mettre en œuvre et nécessitent moins de paramètres pour être estimés. Cela permet de réduire les incertitudes, telles que types de sol ou d'autres paramètres, qui peuvent avoir un impact négatif sur la précision du modèle SIG.

Voici un tableau comparatif entre les méthodes empiriques et les modèles SIG pour l'estimation du coefficient de ruissellement :

**Tableau IV.6 :** Comparaison entre les méthodes empiriques et les modèles SIG pour l'estimation du coefficient de ruissellement

Critère	Méthodes Empiriques	Modèles SIG
Simplicité d'utilisation	Très simple, utilise des formules et tableaux préexistants	Complexe, nécessite des outils logiciels avancés
Paramètres à estimer	Moins de paramètres (ex : occupation du sol, pentes)	Plusieurs bases de données (type de sol, pente, occupation du sol, etc.)
Précision	Précision correcte, surtout dans des contextes homogènes	Haute précision, particulièrement adaptée aux environnements complexes
Temps et coût	Rapide et peu coûteux à mettre en œuvre	Plus long et nécessite des ressources (temps, logiciels, compétences)
Dépendance aux données	Moins dépendant des données détaillées	Fortement dépendant de la qualité et de la disponibilité des données géospatiales
Adaptabilité	Bien adapté aux petites zones ou études rapides	Mieux adapté aux grandes zones avec des variations spatiales importantes
Sources d'incertitude	Peu de sources d'incertitude	Plus sensible aux erreurs dues aux données (ex : type de sol, MNT)
Estimation futur	Facilement adaptable aux scénarios futurs (période de retour), comme représentent les tableaux (II.5) et (II.4).	Facilement adaptable aux scénarios futurs (urbanisation, climat)

---

**Conclusion :**

En conclusion, cette étude montre que les méthodes empiriques sont plus simples et flexibles pour estimer le coefficient de ruissellement, notamment dans des contextes où les données sont limitées. Elles sont adaptées aux zones urbaines. Bien que les modèles SIG offrent une meilleure précision spatiale, leur complexité et leur dépendance aux données les rendent moins pratiques. Pour la zone d'étude de Merine, les approches empiriques apparaissent plus efficaces et adaptées à une gestion efficace des eaux pluviales.

## **Conclusion générale :**

L'estimation du coefficient de ruissellement est un enjeu fondamental dans la prévention des risques d'inondation. Dans ce travail, nous avons analysé deux méthodes principales : les approches empiriques, appréciées pour leur simplicité, et les Systèmes d'Information Géographique (SIG), qui permettent une modélisation fine et spatialisée.

Les approches empiriques, bien qu'efficaces dans certaines situations, montrent leurs limites lorsqu'il s'agit de prendre en compte les particularités locales ou de traiter des zones complexes. En revanche, les SIG, grâce à leur capacité à intégrer de multiples variables spatiales et à fournir une représentation précise des conditions environnementales, améliorent la précision des estimations du coefficient de ruissellement.

Ces deux méthodes ne s'excluent pas mutuellement. L'analyse comparative montre que les approches empiriques sont utiles pour les études préliminaires ou lorsque les données géospatiales sont limitées, tandis que les SIG constituent un outil puissant pour affiner les modèles et obtenir des résultats plus fiables, surtout à l'échelle locale.

Ainsi, l'intégration des deux approches peut offrir une solution complète et adaptée aux besoins variés des projets hydrologiques. Ce travail ouvre également la voie à de futures recherches, notamment pour améliorer les modèles SIG afin de mieux représenter les processus hydrologiques et pour collecter des données précises.

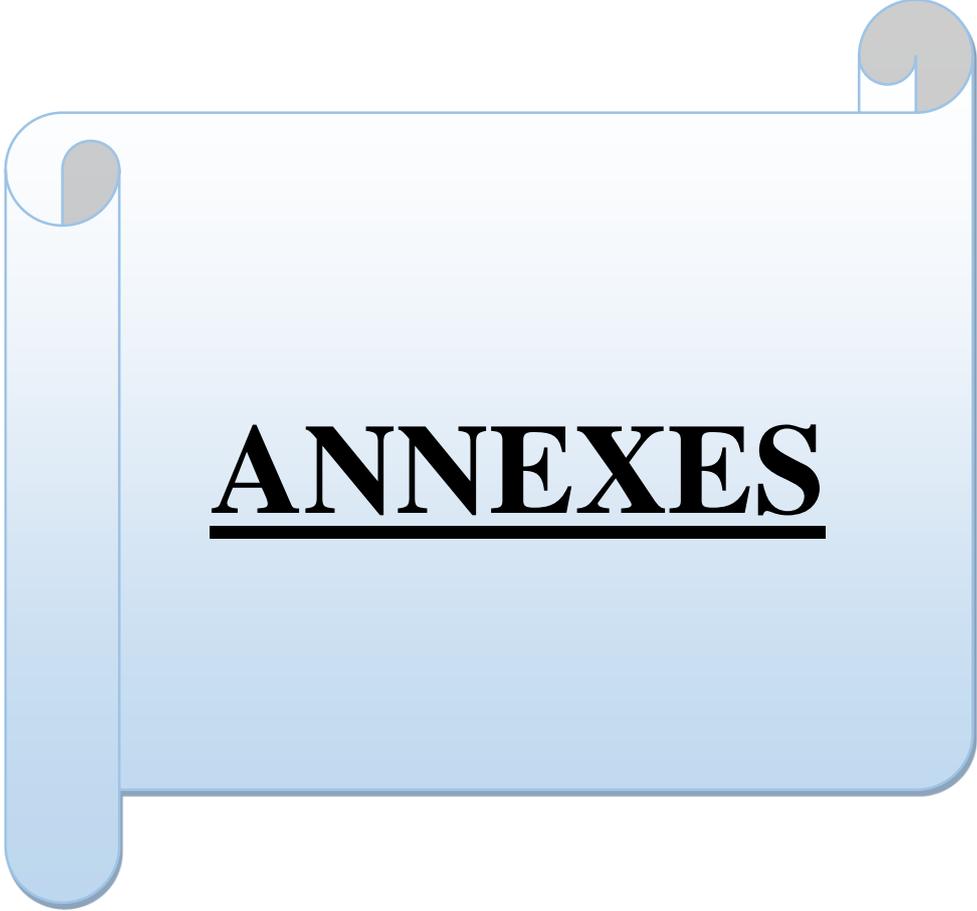
## Références bibliographiques :

- Abdul Razaq Rezaeia, Z. B. (2019). Investigating the effective factors influencing surface runoff generation in urban. *Desalination and Water Treatment*, 164, 276–292.
- Ampt., W. G. (1911). Studies on soil physics Part I . *The flow of air and water through*, 1-24.
- B. Lin, X. C. (2015). *Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model*.
- Bedient, P. H. (2013). Hydrology and floodplain analysis (5th ed). *Elementos de Hidrologia Aplicada - UFOP*, 92-155.
- BEKHTARI, M. C. (2016). *Intégration des Méthodes Multicritères et des Ensembles Flous dans un SIG pour Analyser l'Adaptabilité des Terres Agricoles : Application au Maïs Grain en Languedoc—Roussillon*. MONTPELLIER , (FRANCE).
- Bennis. (2003). *Hydraulique et hydrologie*. Montreal: École de technologie supérieure.
- Blume, T. E. (2007). Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrological Sciences Journal*, 52, 843-862.
- Booth, D. (2000). *Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of urbanization impacts in King County*. Wash-ington: University of Washington, Department of Civil and Environmental Engineering,.
- BROOKS N.K., F. P. (2013). Hydrology and the management of watersheds, fourth edition. USA: John Wiley& Sons. 545.
- Chakhar S. (2006). Cartographie décisionnelle multicritère: formalisation et implémentation informatique. *SCIENCES DES ORGANISATIONS*, 288.
- Chen, J. C. (2013). A comprehensive study on the application of GIS in hydrological modeling. *Water Resources Management*, 27(3), 881-899.
- Chow. (1964). *Handbook of Hydrology*. . New York: McGraw-Hill.
- chow, V. (1959). *Open channel hydraulic*. New York: Mc Graw Hill .
- Chow, V. T.-H.-A. (2003). Urban hydrology, hydraulics, and stormwater quality: Engineering. *Engineering applications and computer modeling*.
- Crăciun A.I., H. I. (2009). Estimation of soil water infiltration using CN (Curve Number) index and G.I.S techniques. *Application: Săcuieu Hydrographic Basin, Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Series Geographia, ISSN: 1221-079X, no. 3, 178-185*.
- D.R. Easterling, T. K. (2000). Observed climate variability and change of relevance to the biosphere, . *J. Geophys. Res.-Atmos. (1984– 2012)*, 105 , 20101–20114.
- DH, P. (1993). Flood runoff. In *Handbook of Hydrology*. 9.1–9.42.
- Diaconu C., Ş. P. (1994). *Sinteze și regionalizări hidrologice*. Edit. Tehnică, București.

- 
- Feldman, D. e. (1993). Review of GIS application in hydrologic modeling . *Water resources planning ang management vol 119 n° 2* , 246-261.
- G. Fu, M. B. (2007). Impacts of climate change on regional hydrological regimes in the Spokane River Water. *Hydrol. Eng.*, .
- G. Wang, J. Z. (2011). Identifying con-tributions of climate change and human activity to changes in runoff using Epoch detection and hydrologic simulation. *J.Hydrol. Eng.*, 18, 1385–1392.
- GANDON, F. (1991). *Synthèse sur les SIG et perspectives d'utilisation en hydrologie* . Montpellier : ORSTOM Montpellier .
- Gourmelon, M. R. (2005). La télédétection et les SIG dans les espaces côtiers. *Géographie du littoral : approche géomatique*, 11-21.
- Gray, D. M. (1972). *Manuel des principes d'hydrologie, Conseil National de recherche.*, Ottawa.
- Green, W. A. (1911). Studies of soil physics, part I. *the flow of air and water through soils ; J. Ag. Sci. 4* , 1-24.
- HAWKINS. (2009). Curve number hydrology, The American Society of Civil Engineers. 117p.
- Heywood. (2006). An introduction to Geographical Information Systems. *Harlow, Pearson Education.*
- J. Zhang, G. W. (2007). Impacts of climate change on hydrology and water resources . *Sci. Press*, 138-181.
- J. Zhang, G. W. (2012). Using hydrologic simulation to explore the impacts of cli-mate change on runoff in the Huaihe River basin of Chin. *J. Hydrol. Eng.*, 18 , 1393–1399.
- Jahanshir Mohammadzadeh-Habili, M. H. (2015). Application of the Green–Ampt model for infiltration into layered soils. *Journal of hydrology*, 824-832.
- Jean Albergel, R. M. ((Décembre 2003)). Les processus hortonien et leur importance dans la genèse et le développement des crues en zones semi-arides. *La Houille Blanche*, N°6, 65-73.
- KHADDOR. (2014). Production of a Curve Number map for Hydrological simulation - Case study: Kalaya Watershed located in Northern Morocco. *International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 9 No. , 9.*
- LIU. (2012). *Land use and climate changes and their impacts on runoff in the yarlung zangbo river basin, china Land degradation & development.*
- M. Mansell, F. R. (2009). The effect of surface texture on evapo-ration. *infiltration and storage properties of paved surfaces, Water Sci. Technol.*, 60 , 71.
- M.L. Terstriep, M. V. (1976). Conventional Urbanization and Its Effect on Storm Runoff. *Illinois State Water Survey.*,.

- 
- Maidment, D. (2002). Arc Hydro. *GIS for Water Resources*. ESRI Press.
- Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. *John Wiley & Sons*.
- Marsalek, J. & -7. (2002). Stormwater management. . *Water Science and Technology*, B 46(6-7).
- McCuen. (1989). *Hydrologic analysis and design*. New Jersey.
- McLaughlin, W. (1991). ÉVALUATION QUANTITATIVE DU RUISSELLEMENT – ASPECTS HYDROLOGIQUES.
- Melesse, A. M. (2002). Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37(1-3), 173-183.
- MISHRA S.K., S. V. ( 2003). Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology. *Water Science and Technology Library volume* , 42, 534.
- MTQ. (1995). *le Manuel de conception des ponceaux du ministère des Transports*. Québec.
- Musy, A. H. (1998). *Utilizarea Sistemelor de Informații Geografice în modelarea și simularea proceselor hidrologice*. Edit. Lux Libris, Braşov.
- Mutreja, K. N. (1990). *Applied Hydrology*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- N. Dorfigher, E. M. (2016). *La modélisation hydrologique : comprendre et analyser le fonctionnement des hydrosystèmes face au changement climatique*. France.
- Ouarda, T. B. (2001). *Synthèse des méthodes simples de régionalisation*. Québec: INRS-Eau.
- P.-J. Shi, Y. Y.-A.-Y. (2007). *The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen*. China, Catena.
- Ponce, V. H. (2003). Runoff curve number: Has it reached maturity. *J.Hydrol. Eng.*, 1(1), 11-19.
- Ramakrishnan, D. B. (2009). SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Kali watershed, Gujarat, India. *Journal of Earth System Science* ,118(6), 507-520.
- S en, Z. &. (2006). A comparative fuzzy logic approach to runoff coefficient and runoff estimation. *Hydrological Processes* 20, 1993-2009.
- Schaake. (1967). ÉVALUATION QUANTITATIVE DU RUISSELLEMENT – ASPECTS HYDROLOGIQUES.
- Schaake. (1967). Experimental examination of the rational method. *hydraulics Division, ASCE*, 353-363.
- Schultz. (1993). Application of GIS and remote sensing in hydrology. . *IAHS Publication, No. 21*, 127-140.
- SELMOUNI. (2005). *Analyse de sensibilité du ruissellement et du débit de pointe aux incertitudes d'estimation du paramètre CN de la méthode SCS*. CANADA: Université de Sherbrooke.

- 
- Shadeed, S. A. (2010). Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments. *Palestine. Water Sci. Eng.* 3 (1), 1-13.
- Sidesa. (2012). *LES METHODES UTILISEES, LES DIFFICULTES RENCONTREES*.
- Smakhtin, V. (2001). Low flow hydrology. *a review, J. Hydrol.*, 240 , 147-186.
- T. Fletcher, H. A. (2013). agement and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: . *A state of the art, Adv. Water Resour.*, 51 , 261–279.
- USDA. (2004). *Natural Resources Conservation Service* .
- USDA, U. S. (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds* , TR-55. Second Edition, June 1986, 164p.
- VT, C. (1962). *Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins*. University of Illinois, Engineering Experimental Station Bulletin.
- VT, C. (1988). New York. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Wallis. (1988). The GIS/hydrology interface . *the present anf future. environmental Softwar* , vol 3 n° 4, 171-173.
- WW, H. (1936). Relation between rainfall and runoff from small urban areas. 140–183.
- Y. Liu, S. G. (2006). Predicting storm runoff from different land-use classes using a geographical information system-based distributed model. *Hydrol. Process.*, 20, 533-548.
- Zhang. (1990). Hydrologic modeling with GIS. *plied Engineering in Agriculture* , ASAE, Vol.6, N.4 pp, 453-458.



**ANNEXES**

## Annexe n° 1:

Indices de ruissellement CN pour différentes occupations du sol  
(Conditions antécédentes d'humidité moyennes (II), Ia = 0,2S (adapté de Chow et al. (1988); Rivard, 2005).

Type d'utilisation du sol	Groupe hydrologique du sol			
	A	B	C	D
Terrain cultivé <sup>1</sup> : sans traitement de conservation	72	81	88	91
Terrain cultivé: avec traitement de conservation	62	71	78	81
Pâturage: mauvaise condition	68	79	86	89
Pâturage: bonne condition	39	61	74	80
Champs ou prairie: bonne condition	30	58	71	78
Boisé ou forêt: mauvais couvert	45	66	77	83
Boisé ou forêt: bon couvert <sup>2</sup>	25	55	70	77
Espaces verts, pelouses, parcs, cimetières, etc.				
bonne condition: 75 % ou plus en gazon	39	61	74	80
condition moyenne: 50 à 75 % en gazon	49	69	79	84
Secteurs commerciaux (85 % imperméable)	89	92	94	95
Secteurs industriels (72 % imperméable)	81	88	91	93
Résidentiel <sup>3</sup> :				
Dimensions moy. des lots	% imperméable <sup>4</sup>			
0,05 hectare ou moins	65	77	85	90
0,1 hectare	38	61	75	83
0,13 hectare	30	57	72	81
0,2 hectare	25	54	70	80
0,4 hectare	20	51	68	84
Stationnements pavés, toits, entrées d'autos	98	98	98	98
Rues				
pavées avec bordures et égout pluvial	98	98	98	98
gravier	76	85	89	91
non aménagée	72	82	87	89

1. Pour une description plus détaillée des indices de ruissellement pour des secteurs ruraux, on pourra consulter certaines références américaines (McCuen, 1989; Hoggan, 1989). Le Manuel de conception des ponceaux du Ministère des Transports du Québec fournit également des tableaux présentant des valeurs pour les conditions québécoises.
2. Un bon couvert est protégé par des broussailles.
3. Les indices sont évalués en assumant que le ruissellement sur la maison et l'entrée d'auto est dirigé vers la rue, avec un minimum de l'eau provenant du toit qui est dirigée vers le gazon où de l'infiltration peut se produire.
4. Les surfaces perméables (pelouses) sont considérées comme étant des pâturages avec de bonnes conditions.

## Annexe n° 2:

Classes de sols appropriées pour des PGO avec infiltration (adapté de Washington, 2005).

