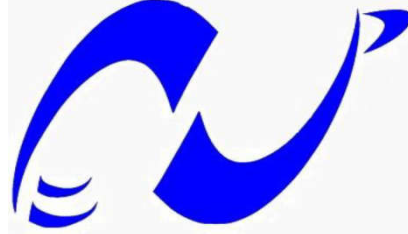


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'Etat en Hydraulique

Sur l'estimation du bilan hydrologique en zones urbaines : Infiltration et ruissellement à l'échelle de la ville d'Alger

Présenté et soutenu publiquement le 19/06/2017

Par Mr **BACHIOUA Yassine**

Sous la direction du **Dr. BOUKHEMACHA Mohamed Amine**

Composition du Jury :

<i>Président</i>	M. Abdelmalek BERMAD	Professeur	ENP
<i>Promoteur</i>	M. Mohamed Amine BOUKHEMACHA	Docteur	ENP
<i>Examineur</i>	M. Abdelouaheb LEFKIR	MCA	ENSTP

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'Etat en Hydraulique

Sur l'estimation du bilan hydrologique en zones urbaines : Infiltration et ruissellement à l'échelle de la ville d'Alger

Présenté et soutenu publiquement le 19/06/2017

Par Mr **BACHIOUA Yassine**

Sous la direction du **Dr. BOUKHEMACHA Mohamed Amine**

Composition du Jury :

<i>Président</i>	M. Abdelmalek BERMAD	Professeur	ENP
<i>Promoteur</i>	M. Mohamed Amine BOUKHEMACHA	Docteur	ENP
<i>Examineur</i>	M. Abdelouaheb LEFKIR	MCA	ENSTP

ENP 2017

ملخص

من المعروف أن التنمية الحضرية، ولا سيما في المدن الكبيرة، تؤثر على الدورة الهيدرولوجية عن طريق تعديل عمليات الترشيح وإعادة تغذية المياه الجوفية، وكذلك بتعديل مسارات المياه الطبيعية. وفي هذا الإطار يأتي العمل الحالي كهدف رئيسي كمي ورسم خرائط تأثير التحضر على مكونات الدورة الهيدرولوجية: التسلل والجريان السطحي. واستند التحليل إلى النموذج سس-سن (SCS, 1956) وسلسلة من خمس نسخ معدلة من هذا النموذج باستخدام مدينة الجزائر كمنطقة للدراسة. وتعدى دراسة مقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها من قبل النماذج المستخدمة.

الكلمات المفتاحية: الترشيح, الجريان السطحي, المنطقة الحضرية, سس-سن: نموذج خدمة المحافظة على التربة رقم منحنى.

Abstract

Urban development, in particular in large cities is known to impact the hydrological cycle by modifying infiltration, groundwater recharge as well as by modifying natural water pathways. In this framework comes the present work having as main objective quantifying and mapping the effect of urbanization on components of the hydrological cycle: infiltration and runoff. The analysis was based on the SCS-CN hydrological model (SCS, 1956) and a series of five modified versions of this model using Algiers city as a study area. A comparative study between the results obtained by the used models is given.

Key words: Infiltration, runoff, urban area, SCS-CN: Soil Conservation Service –Curve Number model.

Résumé :

Le développement des zones urbaines, en particulier dans les grandes villes à des conséquences sur le cycle hydrologique en modifiant l'infiltration dans sols, la recharge des nappes, ainsi que les chemins naturels de l'eau. Dans ce contexte, la présente étude a eu comme objectif principal l'estimation et la cartographie de l'effet de l'urbanisation sur des composantes du cycle hydrologique : les infiltrations et les ruissellements. L'analyse est réalisée d'un point de vue quantitatif en basant sur le modèle hydrologique SCS-CN (SCS, 1956) et cinq autres versions modifiées de ce modèle en prenant la ville d'Alger comme zone d'étude. Une étude comparative entre les résultats obtenues par les différents modèles utilisés est présentée.

Mots clés : infiltration, ruissellement, zone urbain, SCS-CN: Soil Conservation Service – Curve Number model.

Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut. . .
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la
reconnaissance. . Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce projet de fin
d'étude....*

À la mémoire de mon père.

*Qui est toujours dans mon esprit et dans mon cœur, et qui j'aurais tant
aimé qu'il soit présent, la volonté de Dieu a décidé autrement, qu'il accueille
son âme dans Son Vaste Paradis*

*À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre ,,,
À cette source de tendresse, de patience et de générosité,,*

*À Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son
soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son
assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste
soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

À tous mes frères et sœurs pour leur appui et leur encouragement.

À tous mes amis

À toutes les personnes que je n'ai pas citées.

À toute personne qui va lire cette thèse.

*Et À tout ceux qui on collaboré de près ou de loin a l'élaboration de ce
travail*

Remerciements

J'adresse mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude à tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce travail, notamment mon promoteur :

Dr. BOUKHEMACHA Mohamed Amine, qui ma proposé ce sujet et qui a accepté de m'encadrer, en étant disponible à tout moment, pour m'apporter des conseils avisés concernant mon projet de fin d'études.

Je remercie également pour l'aide effective et l'attention que nous a portée l'ensemble du personnel du Service Climatologie de (ANRH) , Institut National des Sols de l'Irrigation et du Drainage(INSID) et la Direction de l'Urbanisme, de la Construction et de l'Habitat(DUCH).

Je tien à exprimer mon entière reconnaissance envers tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, qui ont contribué à notre réussite.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction général	12
Chapitre 1 . Phénomène d'infiltration et de ruissellement	15
1.1 Introduction	15
1.2 Phénomène d'infiltration	15
1.2.1 Définition.....	15
1.3 Processus d'infiltration.....	16
1.4 Phénomène de ruissellement.....	17
1.4.1 Définition.....	17
1.5 Facteurs affectant l'infiltration et le ruissellement	17
1.6 Le rôle de l'infiltration et du ruissellement sur le bilan hydrologique	18
1.7 Impact de l'urbanisation sur le bilan hydrologique	18
1.8 Estimation de l'infiltration	19
1.8.1 Introduction	19
1.8.2 Mesure d'infiltration	19
1.8.3 Modélisation du processus d'infiltration	21
Chapitre 2 . Modèle SCS-CN et ses révisions	26
2.1 Introduction	26
2.2 Développement du modèle original	26
2.3 Estimation du paramètre CN.....	28
2.3.1 Facteur d'estimation	28
2.4 Modifications sur le modèle SCS-CN original.....	33
2.4.1 Modèle de MISHRA-SINGH (MS)	33
2.4.2 Modèle MISHRA-SINGH modifié (MMS).....	34
2.4.3 SCS-CN modifiée par (MISHRA, et al., 2003).....	34
2.4.4 Modèle Michel SCS-CN (MSCS-CN)	36
2.4.5 Modèle MSCS-CN modifié (MMSCS-CN)	37
2.5 Évaluation du modèle SCS-CN.....	37
2.5.1 Évaluation du modèle MS	37

Table des matières

2.5.2	Évaluation des modèles SCS-CN utilisant des caractéristiques de bassins hydrographiques.....	38
2.5.3	Évaluation spatiale des impacts de l'augmentation de la surface imperméable sur le SCS-CN.....	38
2.6	L'effet de la pente du terrain sur le modèle SCS-CN.....	39
2.7	Critique des modèles SCS-CN	39
2.8	Avantages et limites de la méthode SCS-CN originale	40
2.9	Conclusion.....	41
Chapitre 3 . Méthodes et données.....		43
3.1	Introduction	43
3.2	Présentation zone d'étude:.....	43
3.2.1	Situation géographique et géomorphologique :.....	43
3.2.2	Synthèse Démographie	44
3.2.3	configuration géologique	44
3.2.4	Synthèse pédologique	44
3.2.5	Climatologie	44
3.2.6	Réseau hydrographique.....	45
3.2.7	Occupation du sol	45
3.3	Méthode et calcul	47
3.3.1	Introduction	47
3.3.2	Description du modèle	47
3.3.3	approche de calcul	47
3.3.4	Les étapes de calcul	51
3.4	Données utilisée	60
3.4.1	Présentations des données	60
3.4.2	Les données pluviométriques utilisées	60
3.4.3	Les données cartographique utilisées.....	64
Chapitre 4 . Résultats et discussion		70
4.1	Introduction	70
4.2	Bilans hydrologique	70
4.2.1	Ruissellement	70
4.2.2	d'infiltration	81
4.3	Comparaison entre les résultats obtenue a différentes échelles.....	92

Table des matières

4.3.1	Ruissellement	92
4.3.2	Infiltration	93
4.4	Distribution spatiale.....	94
4.4.1	Précipitation	94
4.4.2	Ruissellement	95
4.4.3	L'infiltration	95
Conclusion générale		99
Bibliographie		100

Liste des tableaux:

Tableau 1 : Définition des conditions antécédentes d'humidité (Mishra, et al, 2003)après adaptation et traduction en français :.....	28
Tableau 2 : Les classes hydrologiques des sols (Mishra, et al, 2003).....	29
Tableau 3 : CN de ruissellement pour les terres agricoles cultivées selon : (The U. S. Department of Agriculture (USDA), 1986).....	30
Tableau 4 : CN de ruissellement pour les terres Agricoles non cultivées selon : (The U. S. Department of Agriculture (USDA), 1986).....	31
Tableau 5 : CN de ruissellement pour les zones urbaines selon : (The U. S. Department of Agriculture (USDA), 1986).....	32
Tableau 6: Données climatiques à Alger NOAA (NOAA, 1970).....	45
Tableau 7 : Occupation du sol de la wilaya d'Alger estimée sur la base de la carte (INSID, 2011).	45
Tableau 8 :Statistique sur les valeurs de CN dans la zone d'étude pour AMC II.....	52
Tableau 9:Statistique sur les valeurs de CN correspond à chaque station pour l'intervalle (2009-2010).	55
Tableau 10 : Statistique sur les valeurs de CN correspond à chaque station pour l'intervalle(2011-2012).	57
Tableau 11 : Présentation des données pluviométriques recueillies.	60
Tableau 12: Présentation des données cartographiques recueillies.....	64
Tableau 13: Correspondance entre types de sol et la classification utilisée dans SCS-CN.	67

Liste des figures

Figure 1:Processus d'infiltration et de ruissellement.....	16
Figure 2: Facteurs affectant l'infiltration et le ruissellement (ROCHE, 1963).....	18
Figure 3: Infiltromètre de Müntz (ROCHE, 1963).....	20
Figure 4: Infiltromètre à double cylindre (MUSY, et al., 2003).....	20
Figure 5 : Concept de proportionnalité (Mishra, et al., 2003).....	27
Figure 6 : Carte limite de la zone d'étude.....	43
Figure 7 : Répartition des classes d'occupation du sol.....	46
Figure 8 : Approche de calcul, (Modèle SCS-O : modèle SCS-CN original ; modèle MS : Modèle MISHRA-SINGH ; modèle MMS : Modèle MISHRA-SINGH modifiés (MMS) ; modèle SCS-O-P : Modèle SCS-CN original avec correction topographique (pente) ; modèle MS-P : Modèle MISHRA-SINGH avec correction topographique (pente) ; modèle MMS-P : Modèle MISHRA-SINGH modifiés avec correction topographique (pente)......	48
Figure 9: Les étapes de calcul de ruissellement et de l'infiltration par les différentes modèles sans correction topographique (Mishra, et al., 2003).....	48
Figure 10: Les étapes de calcul de ruissellement et de l'infiltration par les différentes modèles avec correction topographique (Mishra, et al., 2003).....	49
Figure 11: Les étapes d'élaboration de la carte des pentes.	50
Figure 12:Carte des pentes à 750m de résolution.....	50
Figure 13 : Processus de calcul CN.	51
Figure 14 : Carte type et occupation de sol.	52
Figure 15 : Carte de distribution spéciale des valeurs de CN.....	53
Figure 16 : Carte des polygones de Thiessen correspond au 1ere intervalle.	54
Figure 17 : Carte des polygones de Thiessen correspond au 2éme intervalle.	54
Figure 18 : Carte issue de la superposition des polygones de Thiessen et de CN pour l'intervalle (2009-2010).	55
Figure 19 : Carte issue de la superposition des polygones de Thiessen et de CN pour l'intervalle (2011-2012).	57
Figure 20: Condition antécédente d'humidité d'après les classes donnée dans le Tableau 1.....	59
Figure 22 : Carte localisation des stations pluviométriques(ANRH et (tutiempo, 2001))	61
Figure 23 : Carte d'utilisation de terrain (INSID, 2011).....	65
Figure 24 : Carte des sols de la wilaya d'Alger (Selvaradjou, et al., 2005).	66
Figure 25 : Carte des sols selon la classification SCS dérivée en partant de la carte des sols de (Selvaradjou, et al., 2005).....	67
Figure 26: Modèle numérique de terrain(MNT) (ASTER GDEM , 2011).	68
Figure 27 : Variation annuel du ruissellement a l'échelle de la wilaya d'Alger estimé par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).	70
Figure 29 : Comparaison à l'échelle de la wilaya d'Alger entre le ruissellement calculer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre	

Liste des figures

la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.	73
Figure 30 : Variation annuel du ruissellement à l'échelle construit de la wilaya d'Alger estimé par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).....	74
Figure 31 : Comparaison à l'échelle construit entre le ruissellement estimer par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifier, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.....	75
Figure 32 : Comparaison à l'échelle construit entre le ruissellement calculer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.	76
Figure 33 : Variation annuel du ruissellement à l'échelle non construit estimé par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).	77
Figure 35 : Comparaison à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger entre le ruissellement calculer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.....	80
Figure 36 : Variation annuel d'infiltration à l'échelle de la wilaya d'Alger estimé par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).	81
Figure 39 : Variation annuel d'infiltration à l'échelle construit de la wilaya d'Alger estimé par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).	85
Figure 40 : Comparaison à l'échelle construit de la wilaya d'Alger entre l'infiltration estimer par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifier, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.....	86
Figure 41 : Comparaison à l'échelle construit de la wilaya d'Alger entre l'infiltration calculer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.....	87
Figure 42 : Variation annuel d'infiltration à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger estimé par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).	88

Liste des figures

Figure 43 : Comparaison à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger entre l'infiltration estimer par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifier, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.....	90
Figure 44 : Comparaison à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger entre l'infiltration calculer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.....	91
Figure 45:Ruissellement annuel à l'échelle construit et non construit estimer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique.....	92
Figure 46: Infiltration annuel à l'échelle construit et non construit estimer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique.....	93
Figure 47: Carte de distribution spatiale des précipitations annuelles (année 2009).....	94
Figure 48: Carte de distribution spatiale des précipitations annuelles (année 2010).....	94
Figure 49: Carte de distribution spatiale des précipitations annuelles (année 2011).....	94
Figure 50: Carte de distribution spatiale des précipitations annuelles (année 2011).....	95

Introduction général

L'infiltration et le ruissellement de surface représentent une partie essentielle du cycle hydrologique. L'estimation de ces derniers est important pour connaître la quantité d'eau participant à l'écoulement de surface et la celle participant à la recharge des nappes.

L'extension de la zone urbaine de la wilaya d'Alger peut avoir un impact direct sur son hydrologie, en réduisant les surfaces d'infiltration dans le sol, ce qui augmente le volume de ruissellement et sa vitesse de déplacement à la surface du sol en limitant la recharge des nappes phréatiques.

Ces modifications peuvent se combiner pour modifier les grandeurs relatives à des composantes du bilan hydrique urbain au niveau de la wilaya d'Alger par rapport aux systèmes naturels

Les bilans hydriques urbains sont généralement inconnus, mais il est nécessaire pour évaluer la disponibilité de l'eau dans un territoire habitable et pour comprendre les effets de l'urbanisation sur le cycle hydrologique.

À cet effet notre étude se base sur les deux objectifs suivants :

Le premier objectif, c'est de faire une évaluation de la variabilité spatiale et temporelle des bilans hydriques à l'échelle construit et non construit et à l'échelle globale de la wilaya d'Alger pendant l'intervalle 2009-2012, en se basant sur le modèle (SCS-CN) (SCS, 1956) et des versions modifiées de ce modèle pour estimer le volume d'eau ruisselé et infiltré et faire une évaluation temporelle des bilans hydriques.

Un système d'information géographique (SIG) est utilisé pour gérer une base de données spatiale et non spatiale, qui représente les caractéristiques hydrologiques, hydrographiques et morphologiques de notre zone d'étude notamment (la carte d'occupation du sol, la carte du sol et la carte des pentes), les données sur les précipitations qui ont été collectées à partir de différentes sources, et d'autres données dérivées.

Cette base de données constitue un support de modélisation pour réaliser une évaluation spatiale des bilans hydriques et faire une comparaison entre le bilan hydrique estimé à différentes échelles (construit, non construit et à l'échelle globale de la wilaya d'Alger).

Le deuxième objectif est de faire une comparaison entre les résultats des différents modèles utilisés dans la quantification des composantes du bilan hydrologique.

Pour réaliser ce travail, une collecte de données a été effectuée auprès de plusieurs organismes tels que le service climatologie de l'Agence National des Ressources Hydrique (ANRH) et Institut National des Sols de l'Irrigation et du Drainage (INSID), ainsi que sur des ressources en ligne.

Le premier chapitre présente le phénomène d'infiltration et de ruissellement et l'impact de l'urbanisation sur ces deux paramètres essentiels du bilan hydrique, et expose quelques techniques de mesure et de l'estimation d'infiltration.

Le second chapitre présentera en détail les modèles utilisés pour cette étude notamment, le modèle SCS-CN originale (SCS, 1956) et ces versions modifiées.

Le troisième chapitre englobe les données utilisées ainsi que l'approche suivie pour le calcul.

Le quatrième chapitre fourni une synthèse des résultats de calculs et une discussion de ces résultats suivi par une conclusion générale.

Phénomène d'infiltration et de ruissellement

1

1 Phénomène d'infiltration et de ruissellement

1.1 Introduction

L'infiltration et le ruissellement représentent une partie essentielle du cycle hydrologique. L'estimation du processus de ces derniers est importante pour connaître la quantité d'eau participe à l'écoulement de surface, et celle qui participe à la recharge des nappes.

L'évolution de l'urbanisation peut avoir un effet considérable sur l'hydrologie de surface; en réduisant les surfaces d'infiltration dans le sol, ce qui augmente le volume de ruissellement et sa vitesse de déplacement sur la surface du sol et limite la recharge des nappes phréatiques.

Il est donc nécessaire d'étudier l'impact de l'évolution de la surface construite sur le bilan hydrologique afin d'éviter les catastrophes causées par le débit de ruissellement, et de mettre en mesure des moyens de protection contre les inondations, et à fin de protéger les ressources en eaux souterraines (assurer une recharge renouvelable).

1.2 Phénomène d'infiltration

1.2.1 Définition

1.2.1.1 L'infiltration :

Il s'agit d'un processus naturel vital (André, 2005), qui désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et l'écoulement de cette eau dans le sol et le sous-sol, sous l'influence de deux principales forces. La gravité agit principalement sur l'eau libre qui se retrouve dans les macropores et qui agit vers le bas. La capillarité ou les forces de tension qui agissent sur l'eau capillaire contenue dans les micropores (ROCHE, 1963).

1.2.1.2 Capacité d'infiltration (f_p):

Ou capacité d'absorption (ou encore infiltrabilité) représente la quantité maximum d'eau que le sol est capable d'absorber à travers sa surface, lorsqu'il reçoit une pluie efficace. Elle dépend, de la conductivité hydraulique, de la texture et de la structure du sol, mais également des conditions aux limites, c'est à dire, la teneur en eau initiale du profil et la teneur en eau imposée en surface (André, 2005).

1.2.1.3 Taux d'infiltration (f) :

C'est la quantité d'eau qui s'infiltré à travers la surface du sol par unité de temps [L/T], qui dépend avant tout du régime d'alimentation (irrigation, pluie) mais également des propriétés du sol (André, 2005).

Chapitre 1. Phénomène d'infiltration et de ruissellement

1.2.1.4 Infiltration cumulée :

C'est le volume d'eau infiltré depuis le début de l'averse au temps t_0 jusqu'à l'instant t considéré (André, 2005).

1.3 Processus d'infiltration

L'importance de connaître le processus d'infiltration c'est de permettre la détermination de la fraction de pluie qui participe à l'écoulement de surface, et la fraction qui va alimenter les eaux souterraines et donc aussi participer à la recharge des nappes souterraines.

Lors d'une précipitation, la pluie s'infiltré dans le sol et se déplace à travers les pores du sol par l'action de la gravité et par la force capillaire. Comme les forces capillaires sont plus grandes lorsque le sol est le plus sec, le taux d'infiltration est plus grand immédiatement après le début d'une averse. Cependant à mesure que l'eau pénètre dans le sol pour atteindre une certaine profondeur, la résistance causée par les forces agissant sur l'eau augmente et le taux d'infiltration décroît. Cette décroissance est due essentiellement à la diminution du gradient de pression. Le taux d'infiltration devient asymptotique à une valeur constante après un certain temps (valeur minimale finale); il s'agit alors du taux constant d'infiltration. (André, 2005).

Lorsque l'intensité de précipitation dépasse la capacité d'infiltration, le surplus s'accumule en surface ou dans les micro-dépressions du sol. Dès que ces dernières deviennent pleines, elles débordent pour créer une lame d'eau qui commence à s'écouler à la surface du sol en suivant les dénivelés topographiques, ce qui est le ruissellement (André, 2005). Le ruissellement est en réalité contrôlé par le processus d'infiltration.

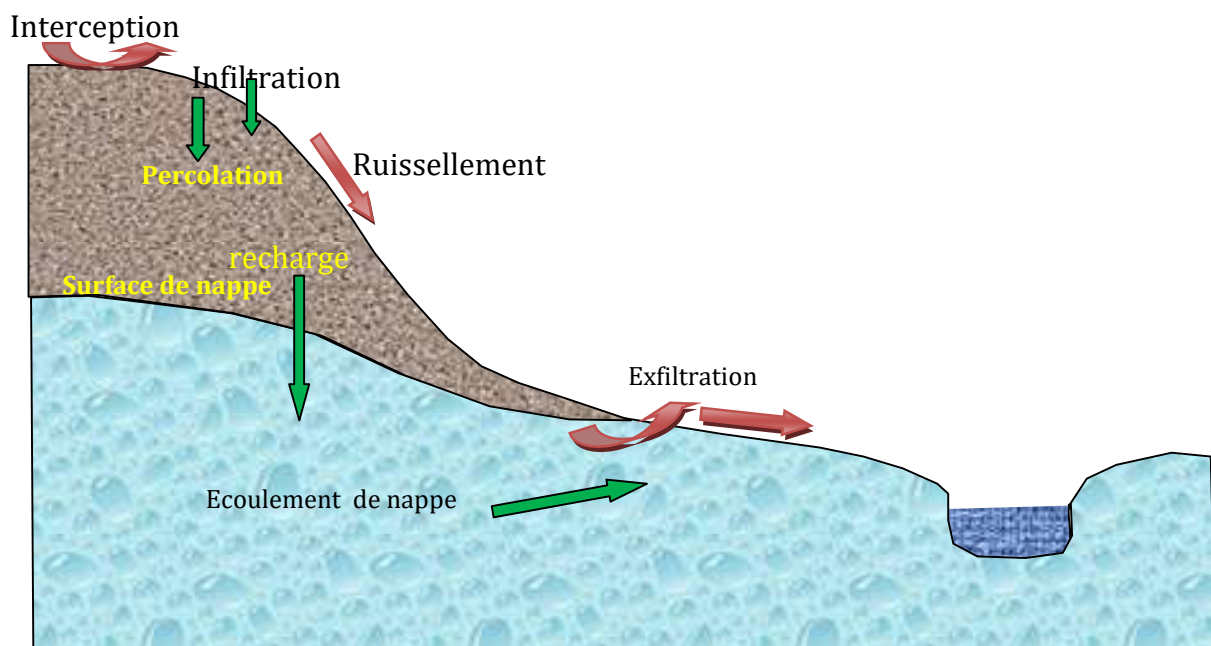


Figure 1: Processus d'infiltration et de ruissellement.

Chapitre 1. Phénomène d'infiltration et de ruissellement

1.4 Phénomène de ruissellement

1.4.1 Définition

Le ruissellement est un phénomène physique d'écoulement non organisé de l'eau sur un bassin versant suite à des chutes de pluies. Il perdure jusqu'au moment où il rencontre une rivière, un réseau d'assainissement ou un marais. Le ruissellement peut avoir plusieurs origines : ruissellement naturel pluvial, ruissellement naturel nival et ruissellement anthropique. L'ensemble ou une seule de ces origines peut produire un ruissellement à risque d'inondations. L'intensité du ruissellement dépend d'une combinaison de facteurs : l'intensité des précipitations, la pente du terrain, la densité de la couverture végétale, et surtout les activités humaines (aménagement, imperméabilisation de la surface de la terre etc.) (Elizabeth, et al., 1994).

1.5 Facteurs affectant l'infiltration et le ruissellement :

L'infiltration et le ruissellement dépendent principalement des facteurs suivants (André, 2005):

- Le type de sol (structure, texture, porosité) : Les caractéristiques de la matrice du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles-mêmes, régissent en partie l'infiltration.
- La compaction de la surface du sol: due à l'impact des gouttes de pluie (battance) ou à d'autres effets (thermiques et anthropiques) - L'utilisation de lourdes machines agricoles dans les champs peut par exemple avoir pour conséquence la dégradation de la structure de la couche de surface du sol et la formation d'une croûte dense et imperméable à une certaine profondeur (sensible au labour).
- La couverture du sol : La végétation influence positivement l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface, lui donnant ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. D'autre part, le système racinaire améliore la perméabilité des sols. Enfin, le feuillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par voie de conséquence le phénomène de battance.
- La topographique et la morphologie: La pente agit à l'opposé de la végétation. En effet, une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration.
- Le débit d'alimentation : il s'agit d'intensité de la précipitation, débit d'irrigation).
- La teneur en eau initiale du sol: (conditions antécédentes d'humidité) - L'humidité d'un sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol. Le régime d'infiltration au cours du temps évolue différemment selon que le sol est initialement sec ou humide. L'humidité d'un sol est généralement appréhendée en étudiant les précipitations tombées au cours d'une certaine période précédant un événement pluvieux.

Chapitre 1. Phénomène d'infiltration et de ruissellement

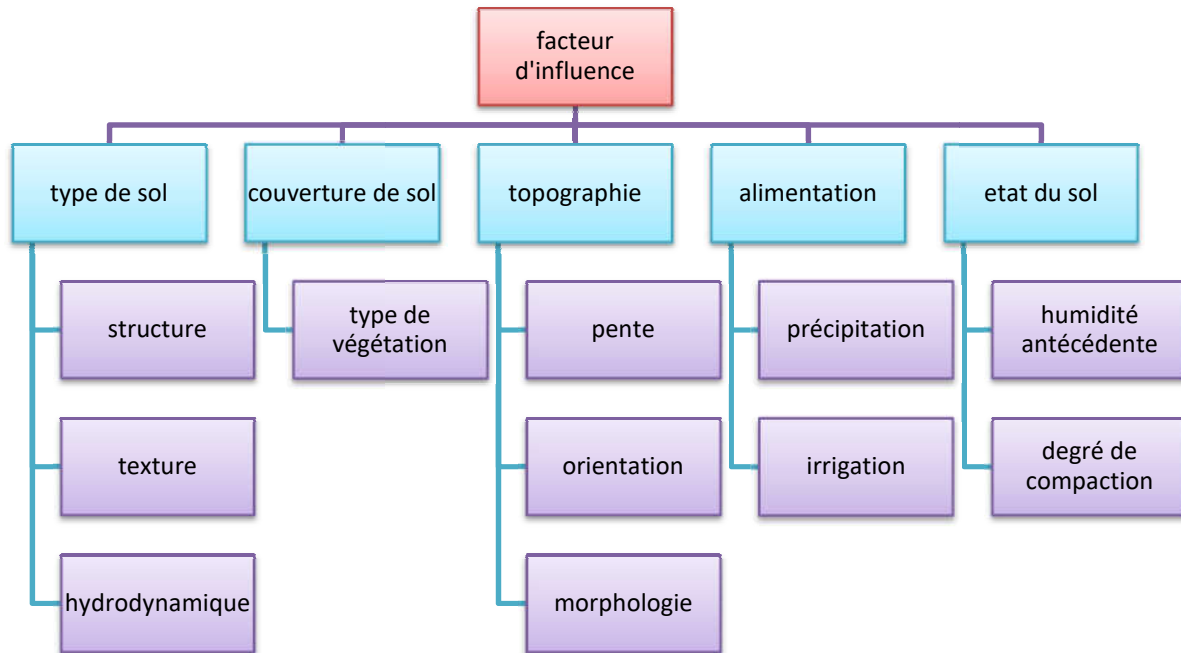


Figure 2: Facteurs affectant l'infiltration et le ruissellement (ROCHE, 1963)

1.6 Le rôle de l'infiltration et du ruissellement sur le bilan hydrologique

En favorisant l'infiltration, l'ingénieur peut contrôler les crues et augmenter les débits d'étiage des cours d'eau (André, 2005).

L'infiltration joue un rôle primordial dans l'équilibre du cycle hydrologique (André, 2005). En effet, l'infiltration est nécessaire pour alimenter la vie végétale, et pour réduire les débits de ruissellement (atténuation des crues) (ROCHE, 1963), et elle régénère une ressource en eau (les nappes)

1.7 Impact de l'urbanisation sur le bilan hydrologique

Les changements apportés à une surface de la terre par la construction d'une concentration de bâtiments peuvent avoir un important effet sur son hydrologie. En plus de la vaste couverture du sol par les bâtiments, les rues goudronnées et les parcs d'autos contribuent à l'imperméabilisation des terrains et peuvent avoir un impact négatif sur le bilan hydrologique par : (Elizabeth, et al., 1994).

- La réduction des surfaces d'infiltration dans le sol, ce qui augmente le volume de ruissellement et sa vitesse de déplacement à la surface du sol et diminue le temps de concentration.
- La réduction de l'infiltration et l'épuration des eaux de pluie, et limitation de la recharge des nappes phréatiques.
- La modification des chemins naturels de l'eau via les différents réseaux (routiers, eau potable, assainissement).

Chapitre 1. Phénomène d'infiltration et de ruissellement

1.8 Estimation de l'infiltration

1.8.1 Introduction

Étant donné que la mesure directe des infiltrations est une tâche difficile voire impossible à grande échelle, ces dernières se voient généralement estimées soit par des essais sur des bassins expérimentaux, par des modèles mathématiques ou par des formules empiriques.

1.8.2 Mesure d'infiltration

1.8.2.1 Principe de mesure

Le principe est de suivre l'évolution du niveau d'eau en fonction du temps dans un anneau pour connaître la vitesse d'infiltration sur chaque pas de temps. La vitesse d'infiltration se calcule comme la quantité d'eau qui pénètre dans le sol par surface et par unité de temps. Ce taux se calcule selon la loi de DARCY à partir des résultats des mesures. Au bout d'un certain temps un régime permanent s'installe et la vitesse d'infiltration devient constante. C'est de la valeur de cette vitesse que l'on déduit la valeur du coefficient de perméabilité en utilisant la loi de Darcy (MUSY, et al., 2003).

1.8.2.2 Infiltromètre :

Une méthode simple, pouvant être réalisée facilement en divers sites, et qui permet d'évaluer la capacité d'infiltration. Elle est basée sur l'application d'une lame d'eau sur une partie délimitée de sol. Et la mesure du débit nécessaire pour maintenir la lame d'eau à un niveau constant (méthode à charge constante), ou sur la détermination de sa vitesse d'abaissement (méthode à charge variable). Les méthodes les plus connues pour mesurer directement et ponctuellement l'infiltration sont les suivantes :

1.8.2.2.1 Infiltromètre de Müntz :

Cette méthode est fondée sur le principe de l'infiltration à charge constante. En utilisant un réservoir cylindrique en tôle épaisse gradué, de section intérieure 100 cm^2 et d'une hauteur de 25 cm. Le cylindre est enfoncé dans le sol de 5 cm environ et maintient un niveau d'eau constant de 30 mm. Les variations, en fonction du temps, du niveau de l'eau dans le réservoir d'alimentation gradué déterminent le taux d'infiltration (ROCHE, 1963).

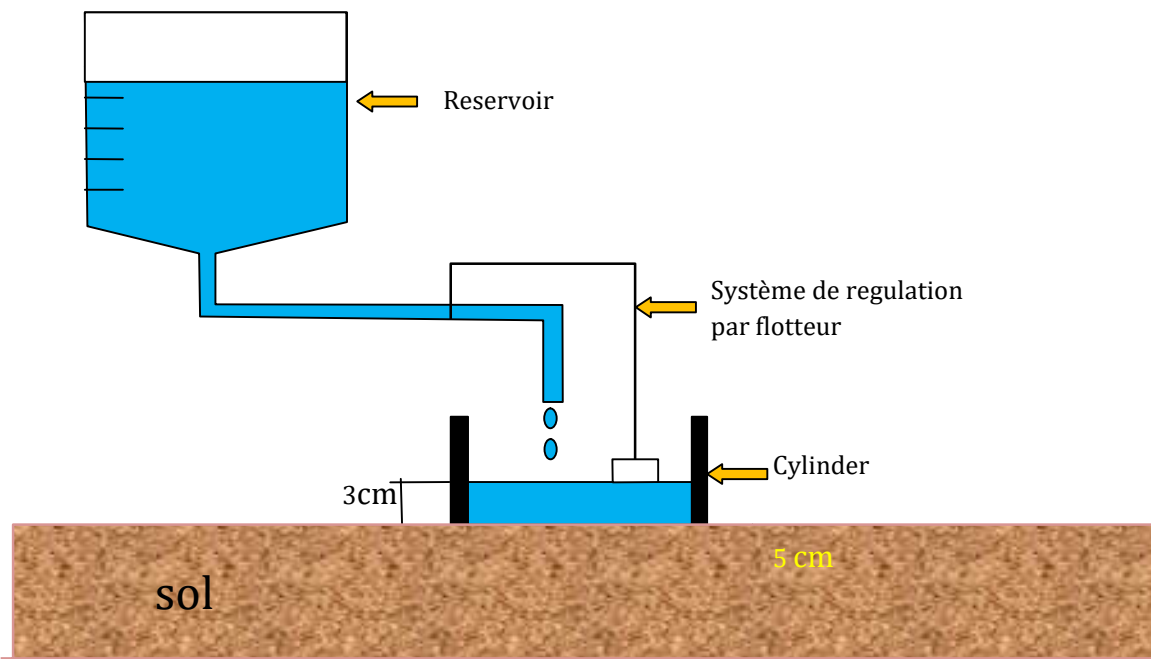


Figure 3: Infiltromètre de Müntz (ROCHE, 1963).

1.8.2.2 Infiltromètre à double cylindre :

Deux cylindres concentriques sont implantés dans le sol. Le cylindre externe est rempli d'eau de façon à saturer le sol autour du cylindre central et limiter également l'écoulement latéral de l'eau infiltrée dans le sol à partir de ce dernier. On favorise ainsi un flux vertical de l'eau. La mesure est basée sur le principe de l'infiltration à charge variable. Après remplissage des deux cylindres, les variations du niveau d'eau dans le cylindre central sont mesurées au cours du temps. Cette méthode permet donc d'évaluer l'infiltration verticale de l'eau dans le sol. L'appareil est composé de deux anneaux (diamètres 30 et 50 cm voir Figure 4) enfoncés dans le sol de quelques centimètres (5 cm) et rempli d'eau. Il est utilisé pour mesurer le coefficient de perméabilité à saturation du sol (détermination ponctuelle, in-situ de la perméabilité verticale du sol) (MUSY, et al., 2003).

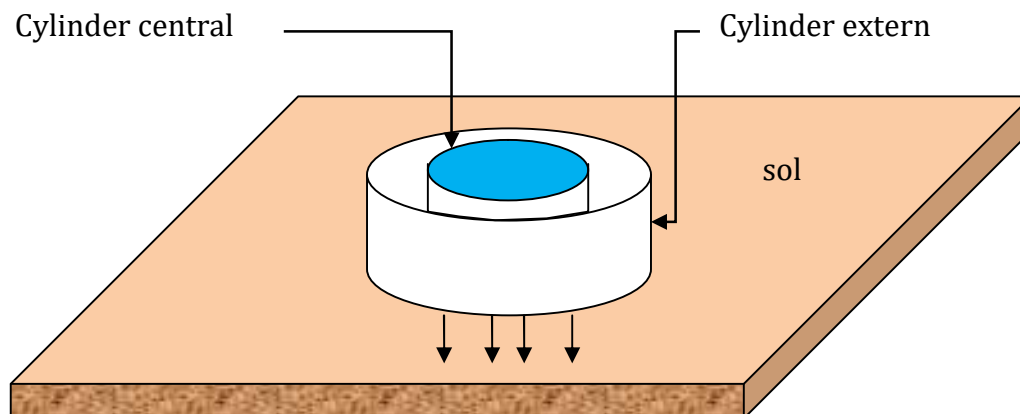


Figure 4: Infiltromètre à double cylindre (MUSY, et al., 2003)

Chapitre 1. Phénomène d'infiltration et de ruissellement

1.8.2.2.3 Infiltromètre de Guelph :

Cet appareil est constitué de deux tubes concentriques. Le tube intérieur permet l'entrée d'air et le tube extérieur sert de réservoir d'eau pour l'alimentation. L'introduction de l'eau, à charge constante (3 à 25 cm), se fait dans un cylindre métallique de petit diamètre (~ 10 cm) fiché dans le sol jusqu'à environ 1 à 5 cm. Cette méthode permet la détermination de la conductivité hydraulique et de la sorptivité à partir des mesures de flux entrant dans le sol, et en tenant compte du comportement de la zone non saturée (MUSY, et al., 2003)

1.8.2.3 Les simulateurs de pluie

La simulation des pluies est une technique essentielle, bien que imparfaite, pour relier la réponse géomorphique et hydrologique des sols aux caractéristiques des précipitations. Elle a été développée dans les années 1930 pour mesurer l'érosion et l'infiltration du sol (Dion, 2003).

1.8.2.3.1 Principe

Les simulateurs de pluies sont utilisés pour travailler à différentes échelles allant de quelques dizaines de centimètres carrés en laboratoire à 400 m² au champ. Le but est d'apporter au sol une quantité d'eau sous forme d'une pluie artificielle ayant des caractéristiques similaires à celles d'une pluie naturelle. La taille des gouttes et l'énergie cinétique de ces pluies sont généralement étalonnées avec celle naturelles (Dion, 2003).

1.8.3 Modélisation du processus d'infiltration

Parmi les nombreux modèles existants, on peut retenir deux grandes approches, à savoir :

- approches basées sur des relations empiriques ;
- approches à base physique.

1.8.3.1 Modèles empiriques

Les méthodes empiriques sont généralement sous la forme d'équations simples, dont les paramètres sont dérivés en ajustant une courbe donnée aux mesures réelles d'infiltration. De telles équations ne fournissent que des estimations de l'infiltration cumulative et des taux d'infiltration, et ne fournissent pas d'informations concernant la distribution du contenu de l'eau. La plupart sont dérivées sur la base d'une teneur en eau constante disponible à la surface. Certaines équations d'infiltration couramment utilisées, qui n'ont pas de base physique apparente, sont présentées ci-dessous (Ravi, et al., 1998).

1.8.3.1.1 Équation de Kostikov's :

Kostikov a proposé l'équation suivante pour estimer l'infiltration (Ravi, et al., 1998) :

$$i(t) = \alpha \times t^{-\beta} \quad (1)$$

Chapitre 1. Phénomène d'infiltration et de ruissellement

Où i est le taux d'infiltration au temps t , et α ($\alpha > 0$) et β ($0 < \beta < 1$) sont des constantes empiriques. Lors de l'intégration de 0 à t , l'équation (1) donne l'équation (2), qui est l'expression pour l'infiltration cumulative, $I(t)$.

$$I(t) = \frac{\alpha}{1-\beta} t^{(1-\beta)} \quad (2)$$

Les constantes α et β peuvent être déterminées par l'équation (2) en partant des données expérimentales pour l'infiltration cumulative, $I(t)$. Comme le taux d'infiltration, i , devient zéro quand $t \rightarrow \infty$, ou lieu d'introduire une valeur constante non nulle, Kostiakov a proposé que les équations (1) et (2) soient utilisées uniquement pour $t < t_{\max}$ où t_{\max} est égal à $(\alpha/K_s)^{\frac{1}{\beta}}$ et K_s est la conductivité hydraulique saturée du sol.

L'équation de Kostiakov décrit l'infiltration assez bien à pour des court intervalles de temps et devient moins précise pour des intervalles plus importants (Ravi, et al., 1998).

1.8.3.1.2 Équation de Horton :

Horton a observé que le taux d'infiltration diminue avec le temps lors d'une averse et qu'il tend vers une valeur constante. Il a proposé le modèle mathématique suivant (Ravi, et al., 1998) :

$$i(t) = i_f + (i_0 - i_f) \times e^{-\gamma t} \quad (3)$$

Ou :

- i_f [mm/h] = le taux constant d'infiltration i.e. l'asymptote (ou capacité d'infiltration finale), en mm/h;
- i_0 [mm/h] = le taux initial d'infiltration à $t = 0$ (sol sec) (ou capacité d'infiltration initiale qui est fonction du type de sol);
- $i(t)$ [mm/h] = le taux instantané d'infiltration (ou capacité d'infiltration au temps t);
- t [h] = le temps écoulé depuis le début de l'averse ;
- γ [h⁻¹] = constante empirique ou taux de décroissance fonction de la nature du sol.

Si l'on considère la hauteur d'eau infiltrée depuis le début de l'averse en intégrant $i(t)$ de 0 à t , on obtient la hauteur d'eau I accumulée dans le sol depuis le début de l'averse (Ravi, et al., 1998) :

$$I(t) = i_f t + \frac{1}{\gamma} (i_0 - i_f) \times (1 - e^{-\gamma t}) \quad (4)$$

Le modèle de Horton est simple et s'adapte bien aux données expérimentales. La principale faiblesse de ce modèle réside dans la détermination des valeurs fiables des paramètres f_0 , f_c et k (Ravi, et al., 1998).

Chapitre 1. Phénomène d'infiltration et de ruissellement

1.8.3.1.3 L'équation de Mezencev :

Afin de surmonter les limites d'utilisation de l'équation de Kostiakov sur des longues périodes, Mezencev a proposé des modifications aux équations (1) et (2) (Ravi, et al., 1998) :

$$i(t) = i_f + \alpha \times t^{-\beta} \quad (5)$$

En intégrant $i(t)$ de 0 à t , on obtient :

$$I(t) = i_f t + \frac{\alpha}{1-\beta} t^{(1-\beta)} \quad (6)$$

Où i_f est le taux d'infiltration final à l'état d'équilibre.

1.8.3.1.4 L'équation de Holtan:

L'équation d'infiltration empirique conçue par Holtan dépend explicitement des conditions de l'eau du sol sous forme d'espace poreux disponible pour le stockage de l'humidité (Ravi, et al., 1998):

$$i(t) = i_f + ab \times (w - I)^{1,4} \quad (7)$$

Où a est une constante liée aux conditions de surface variant entre 0,25 et 0,8, b est un facteur d'échelle, w est le déficit d'humidité initial ou l'espace des pores par unité de surface de section disponible initialement pour le stockage de l'eau (cm) et I est l'infiltration cumulative (cm) à t . (Ravi, et al., 1998).

1.8.3.2 Modèles à base physique

Ces modèles décrivent d'une manière simplifiée le mouvement de l'eau dans le sol, en particulier au niveau du front mouillé et en fonction de certains paramètres physiques (MUSY, et al., 2003).

1.8.3.2.1 Le modèle de Green-Ampt

Le modèle d'infiltration Green-Ampt est une version simplifiée du modèle hydrodynamique complet à base physique, connue sous le nom d'équation de Richards, qui relie le taux d'infiltration aux propriétés mesurables du sol telles que la porosité, la conductivité hydraulique et la teneur en eau d'un sol particulier (Ravindra, et al., 2011).

Le modèle (Green-Ampt) est basé sur trois hypothèses principales (GOWDISH, 2007):

- l'eau entre dans le sol comme un front mouillé;
- le sol est profond, homogène et isotrope;
- le sol est supposé avoir une teneur en eau initiale uniforme.

L'infiltration cumulative peut être déterminée par (GOWDISH, 2007):

Chapitre 1. Phénomène d'infiltration et de ruissellement

$$\begin{cases} F = R \cdot t & \text{pour } t \leq t_p \\ K_s \cdot (t - t_p + t_{pp}) = F - S_{av} \cdot \ln\left(1 + \frac{F}{M \cdot S_{av}}\right) & \text{pour } t > t_p \end{cases} \quad (8)$$

Où F [L] est une infiltration cumulative; K_s [LT⁻¹] est la conductivité hydraulique du sol; M est le déficit hydrique du sol donné par $\theta_s - \theta_i$, où θ_s est une teneur en eau saturée et θ_i est la teneur en eau initiale; S_{av} [L] est l'aspiration moyenne au front mouillant; R [LT⁻¹] est l'intensité de la pluie; t_{pp} [T] est le moment équivalent pour infiltrer F dans des conditions initiales; et t_p [T] est le temps de pondération trouvé à partir de (GOWDISH, 2007).

$$t_p = \frac{F_p}{R} \quad (9)$$

Et

$$F_p = \frac{S_{av} \cdot M}{\frac{R}{K_s} - 1} \quad (10)$$

Où F_p [L] est l'infiltration cumulative au moment de l'étang.

Le taux d'infiltration, f , est défini comme :

$$f = \begin{cases} R & \text{pour } t \leq t_p \\ K_s \left(\frac{S_{av} \cdot M}{F_p} + 1 \right) & \text{pour } t > t_p \end{cases} \quad (11)$$

La simplicité et la précision de ce modèle facilitent son utilisation dans de nombreux problèmes, tels que le calcul de l'infiltration dans la modélisation pluie-débit, le transport des effluents dans les études de modélisation des eaux souterraines, les études de gestion de l'irrigation, y compris les systèmes de drainage, etc (Ravindra, et al., 2011).

Modèle SCS-CN et ses révisions



2 Modèle SCS-CN

2.1 Introduction

Décider quelle fraction des précipitations brutes finira par devenir un ruissellement est une partie cruciale de la construction d'un modèle pluie-débit. Le modèle empirique le plus couramment cité de ce type est probablement le modèle Soil Conservation Service -Curve Number (SCS-CN) (SCS, 1956).

The soil conservation service model (SCS-CN) (SCS, 1956) à été développé en 1954 par le Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA) (Mishra, et al., 2003), Ce modèle, qui permet la transformation de la pluie brute en ruissellement, repose essentiellement sur le paramètre de ruissellement CN (en anglais appelé *Curve Number*). Ce paramètre varie entre 0 (sol parfaitement perméable) et 100 (sol parfaitement imperméable), et dépend de trois facteurs: le groupe hydrologique du sol, le complexe de couverture et les conditions hydrologiques (SELMOUNI, 2005).

2.2 Développement du modèle original

Le modèle SCS-CN (SCS, 1956) repose sur deux hypothèses principales :

- la première hypothèse principale est la suivante :

Le rapport de l'infiltration cumulée F sur le potentiel de rétention maximal S est égal au rapport du ruissellement direct sur le ruissellement potentiel $P-I_a$; ce dernier correspond à la pluie après déduction des pertes dites initiales I_a . Ces pertes comprennent l'interception, l'infiltration et le stockage dans les dépressions avant le début du ruissellement.

L'équation fondamentale s'écrit :

$$\frac{Q}{P-I_a} = \frac{F}{S} \quad (12)$$

Où :

- P = précipitation quotidienne totale (mm) ;
- I_a = interception initiale (mm) ;
- F = infiltration quotidienne cumulative (mm) ;
- Q = ruissellement direct (mm) ;
- S = potentiel de rétention maximal (mm) .

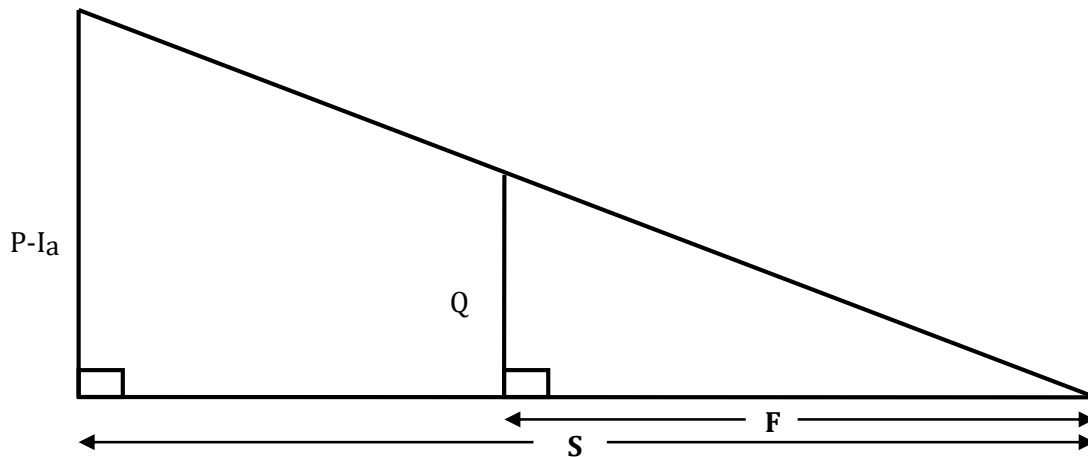


Figure 5 : Concept de proportionnalité (Mishra, et al., 2003)

Cette relation est valable pour $P > I_a$ alors que pour $P \leq I_a$ le ruissellement est nul. Autrement dit, le ruissellement ne commence qu'après satisfaction des pertes initiales I_a (SELMOUNI, 2005).

- La deuxième hypothèse est la suivante :

La relation qui relie l'interception initiale au potentiel de rétention maximal est :

$$I_a = \lambda S \quad (13)$$

Le paramètre λ est souvent considéré comme un paramètre régional dépendant des facteurs géologiques et climatiques. La version originale de la méthode SCS-CN prend $\lambda=0,2$ pour des applications pratiques (Mishra, et al., 2003). Etant donné que l'abstraction initiale tient compte du stockage en surface, de l'interception et de l'infiltration avant le début du ruissellement, λ peut prendre n'importe quelle valeur sur l'intervalle $[0, +\infty [$ (Mishra, et al., 1999).

Tenant compte de l'équation (12) et de l'équation du bilan hydrique (14):

$$P = I_a + F + Q \quad (14)$$

L'équation devient :

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} & \text{si } P \geq I_a \\ 0 & \text{si } P < I_a \end{cases} \quad (15)$$

L'inconnu dans cette dernière équation est le potentiel de rétention maximal (S) du bassin versant. Ce paramètre (S) dépend du type de sol, de l'utilisation des terrains, de l'état hydrologique et de l'état d'humidité antérieur (Mishra, et al., 2003).

Chapitre 2. Modèle SCS-CN et ses révisions

Le modèle SCS-CN (SCS, 1956) propose une méthode pour son estimation à partir du paramètre CN (Curve Number) dans les deux systèmes d'unités de mesure :

En SI :

$$S[mm] = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (16)$$

En SA :

$$S[in] = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (17)$$

2.3 Estimation du paramètre CN

2.3.1 Facteur d'estimation :

- Les conditions antécédentes d'humidité: En fonction de l'état de l'humidité du sol, estimé sur la base des événements pluviaux précédent, les conditions antécédentes d'humidité sont généralement classées en trois niveaux. Ces classes dépendent de la quantité cumulée de pluie tombée durant les cinq derniers jours précédents l'averse (Mishra, et al., 2003). Les conditions d'humidité sèches (AMC I Antécédent Moisture Content I) ont un potentiel de ruissellement plus faible, avec des sols secs prêts à être labourés ou cultivés. Les conditions antécédentes d'humidité moyennes (AMC II) ont un potentiel de ruissellement moyen. Les conditions antécédentes d'humidité humide (AMC III) ont un potentiel de ruissellement élevé, avec un sol pratiquement saturé par des pluies antécédentes (SELMOUNI, 2005).

Tableau 1 : Définition des conditions antécédentes d'humidité (Mishra, et al., 2003) après adaptation et traduction en français :

AMC	Pluie totale des 5 derniers jours (mm)	
	Saison dormante ¹	Saison de croissance ²
I	< 12,7 mm	< 35,6mm
II	12,7mm-28mm	35,6mm-53,4mm
III	> 28mm	>53,4mm

- Les classes hydrologiques des sols : Le sol est classé hydrologiquement en quatre classes notées A, B, C et D. Selon des études pédologiques, la classification texturale du sol se fait en fonction des pourcentages de sable et d'argile des 150 premier (mm) d'épaisseur du sol.

¹ La saison dormante correspond à la période de maturité des plantes.

² La saison de croissance correspond à la période de croissance des plantes.

Chapitre 2. Modèle SCS-CN et ses révisions

Tableau 2 : Les classes hydrologiques des sols (Mishra, et al., 2003).

La classe	Caractéristique
A	regroupe les sols ayant une capacité d'infiltration élevée et donc un potentiel de ruissellement faible. Les graviers et les sables grossiers qui bénéficient d'un bon drainage interne forment la classe A.
B	regroupe les sols ayant une capacité d'infiltration moyenne, comme par exemple les sables moyens et fins qui présentent un potentiel de percolation et d'infiltration moindre.
C	regroupe les sols ayant une capacité d'infiltration faible, on trouve dans cette catégorie les sables fins mal drainés et les sols limoneux.
D	regroupe les sols ayant une capacité d'infiltration très faible et donc un potentiel de ruissellement très élevé. Les argiles lourdes mal structurées et mal drainées ainsi que les sols très minces reposant sur du roc se retrouvent dans cette classe.

- Le complexe de couverture : Selon le SCS, la classification du complexe de couverture se fait en fonction de trois facteurs : l'occupation du sol ou la couverture végétale, les pratiques agricoles et les conditions hydrologiques. L'occupation de sol est souvent répertoriée à partir de la pratique culturale telle que l'orientation des cultures par rapport à la pente ou la présence de terrasses. (Mishra, et al., 1999).

Chapitre 2. Modèle SCS-CN et ses révisions

Les tableaux ci-dessous donnent les valeurs de CN pour les conditions antécédentes d'humidités II (AMC II) et pour différent type de couverture :

Tableau 3 : CN de ruissellement pour les terres agricoles cultivées selon : (The U. S. Department of Agriculture (USDA), 1986)

Couverture		Condition hydrologique	CN II pour le groupe de sol				
Occupation du sol	Traitement de la pratique		A	B	C	D	
Jachère	Ligne droite		77	86	91	94	
cultures en ligne	culturales de conservation du sol	Mauvais	76	85	90	93	
	culturales de conservation du sol	Bon	74	83	88	90	
	Ligne droite	Mauvais	72	81	88	91	
	Ligne droite	Bon	67	78	85	89	
	Labour de conservation	Mauvais	71	80	87	90	
	Labour de conservation	Bon	64	75	82	83	
	Contourné	Mauvais	70	79	84	88	
	Contourné	Bon	65	75	82	86	
	Contourné et conservation	Mauvais	69	78	83	87	
	tillage	Bon	64	74	81	85	
	Contourné et tenaces	Mauvais	66	74	80	82	
	Contourné et tenaces	Bon	62	71	78	81	
	Contourné et tenaces	Mauvais	65	73	79	81	
	Labour de conservation	Bon	61	70	77	80	
Petit grain	Ligne droite	Mauvais	65	76	84	88	
	Ligne droite	Bon	63	75	83	87	
	Labour de conservation	Mauvais	64	75	83	86	
	Labour de conservation	Bon	60	72	80	84	
	Contourné	Mauvais	63	74	82	85	
	Contourné	Bon	61	73	81	84	
	Contourné et de conservation	Mauvais	62	73	81	84	
	tillage	Bon	60	72	80	83	
	Contourné et tenaces	Mauvais	61	72	79	82	
	Contourné et tenaces	Bon	59	70	78	81	
	Contourné et tenaces	Mauvais	60	71	78	81	
	Labour de conservation	Bon	58	69	77	80	
	Fermé Légumineuses ou rotation Prairie	Ligne droite	Mauvais	66	77	85	89
		Ligne droite	Bon	58	72	81	85
Contourné		Mauvais	64	75	83	85	
Contourné		Bon	55	69	78	83	
Contourné et tenaces		Mauvais	63	73	80	83	
	Contourné et tenaces	Bon	51	67	76	80	

Chapitre 2. Modèle SCS-CN et ses révisions

Tableau 4 : CN de ruissellement pour les terres Agricoles non cultivées selon : (The U. S. Department of Agriculture (USDA), 1986).

Couverture		Condition hydrologique	CN II pour le groupe de sol			
Occupation du sol	Traitement de la pratique		A	B	C	D
Terre Pâturage ou étendue	Pas de traitement mécanique	Mauvais	68	79	86	89
	Pas de traitement mécanique	acceptable	49	69	79	84
	Pas de traitement mécanique	Bon	39	61	74	80
	Contourné	Mauvais	47	67	81	88
	Contourné	acceptable	25	59	75	83
	Contourné	Bon	6	35	70	79
Prairie		-	30	58	71	78
Terres forestières— Herbe ou vergers		Mauvais	55	73	82	86
	—À feuilles persistantes ou à feuilles caduques	acceptable	44	65	76	82
Brosse		Bon	32	58	72	79
		Mauvais	48	67	77	83
		Bon	20	48	65	73
les bois		Mauvais	45	66	77	83
		acceptable	36	60	73	79
		Bon	25	55	70	77
Farmsteads		—	59	74	82	86
Forest-range						
Herbaceous		Mauvais		79	86	92
		acceptable		71	80	89
		Bon		61	74	84
Chêne-Aspen		Mauvais		65	74	
		acceptable		47	57	
		Bon		30	41	
Herbe de genévrier		Mauvais		72	83	
		acceptable		58	73	
		Bon		41	61	
Sage-grass		Mauvais		67	80	
		acceptable		50	63	
		Bon		35	48	

Chapitre 2. Modèle SCS-CN et ses révisions

Tableau 5 : CN de ruissellement pour les zones urbaines selon : (The U. S. Department of Agriculture (USDA), 1986)

Description de l'utilisation du sol	CN II pour le groupe de sol			
	A	B	C	D
Zones urbaines entièrement développées "(végétation établie)				
Pelouses, espaces ouverts, parcs, terrains de golf, cimetières, etc..				
Bon état, couverture d'herbe sur 75% ou plus de la zone	39	61	74	80
État raisonnable, couverture herbeuse de 50% à 75% de la superficie	49	69	79	84
Mauvaise condition, couverture d'herbe sur 50% ou moins de la zone	68	79	86	89
Terrains de stationnement pavés, toits, allées, etc.	98	98	98	98
Rues et routes				
Pavé avec bordures et égouts pluviaux	98	98	98	98
Gravier	76	85	89	91
Saleté	72	82	87	89
Pavée avec des fossés ouverts	83	89	92	93
	Average % impervious			
Secteurs commerciaux	85	89	92	94
Quartiers industriels	72	81	88	91
Maisons en rangée, maisons de ville et résidentiel	65	77	85	90
Avec des tailles de lot 1 / 8 acre ou moins				
Résidentiel: taille moyenne du lot				
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
2 acres	12	46	65	77
Développement des zones urbaines (pas de végétation établie)				
Zone nouvellement classée	77	86	91	94

Les valeurs du paramètre CN pour des conditions antécédentes d'humidités I et III sont déduites à partir des valeurs pour les conditions antécédentes d'humidités II en utilisant les équations suivantes (Mishra, et al., 2003) :

$$CN_{AMCI} = \frac{4,2 \times CN_{AMCII}}{10 - 0,058 \times CN_{AMCII}} \quad (18)$$

$$CN_{AMCIII} = \frac{23 \times CN_{AMCII}}{10 + 0,13 \times CN_{AMCII}} \quad (19)$$

2.4 Modifications sur le modèle SCS-CN original

2.4.1 Modèle de MISHRA-SINGH (MS)

2.4.1.1 Introduction :

L'importance et l'efficacité d'un modèle pluie-débit peut être liée à son adaptation aux variabilités spatiales et temporelles des précipitations, la qualité des données mesurées de pluie-débit, la variabilité des précipitations antécédentes et de la quantité associée à l'humidité de sol. La méthode de SCS-CN offre une flexibilité permettant de découvrir de telles variabilités. La dernière source de variabilité est identifiée comme étant la condition d'humidité antécédente (AMC) (MISHRA, et al., 2006).

Les trois niveaux ci dessus donnent des variations soudaines irraisonnables dans le calcul de(CN). En réalité, l'interception initiale, qui représente des pertes dues à l'interception, au stockage extérieur, à l'évaporation et à l'infiltration, varie inversement avec l'humidité antécédente. Plus l'humidité antécédente est élevée, plus l'abstraction initiale sera faible, et vice-versa. Par contre, le modèle SCS-CN traitent I_a comme étant indépendant de M (l'humidité antécédente). D'où il est besoin d'amélioré la relation I_a-S pour l'inclusion dans la méthodologie existante de SCS-CN (MISHRA, et al., 2006).

À cet effet (MISHRA, et al., 2004) ont suggéré des relations SCS-CN-en introduisant l'humidité antécédente et la quantité antécédente de précipitation de 5 jours(P_5).

(Mishra, et al., 2003) Ont modifié l'équation (12) en utilisant le concept $C = S_r$, où C est le coefficient de ruissellement ($C = \frac{Q}{P-I_a}$) et S_r = degré de saturation.

$$\frac{Q}{P-I_a} = \frac{F+M}{S+M} \quad (20)$$

Qui, lors de remplacement dans l'équation (12), conduit à

$$Q = \frac{(P-I_a)(P-I_a+M)}{P-I_a+M+S} \quad (21)$$

Ici, M est calculé comme :

$$M = 0,5 \left[-1,2S + \sqrt{0,64S^2 + 4P_5S} \right] \quad (22)$$

Le signe « + » avant la racine carrée soit retenue pour $M \geq 0$. L'équation (22) peut être généralisée en remplaçant 0,2 par λ , et le M résultant exprimé par:

$$M = 0,5 \left[-(1+\lambda)S + \sqrt{(1-\lambda)^2 S^2 + 4P_5S} \right] \quad (23)$$

P_5 : la quantité antécédente de précipitation de 5 jours,[mm].

2.4.2 Modèle MISHRA-SINGH modifié (MMS)

Dans le modèle MS, I_a est donné par l'équation (13), qui n'incorpore pas M . Puisque I_a , comme vue ci-dessus, dépend fortement de M , l'équation (13) peut être modifiée pour M comme (MISHRA, et al., 2006):

$$I_a = \frac{\lambda S^2}{S+M} \quad (24)$$

Qui est la relation I_a - S non linéaire proposée par (MISHRA, et al., 2006). Pour $M = 0$ on arrive à $I_a = \lambda * S$, qui est identique à l'équation (13). En remplaçant cette équation dans l'équation (15) on trouve (MISHRA, et al., 2006) :

$$Q = \frac{(P - \frac{\lambda S^2}{S+M})(P - \frac{\lambda S^2}{S+M} + M)}{P - \frac{\lambda S^2}{S+M} + M + S} \quad (25)$$

Pour la détermination de M dans les expressions ci-dessus, il est possible d'utiliser la relation (23) données par Mishra et Singh (2002).

2.4.2.1 Les limites :

Semblable à la méthode SCS-CN originale, les modèles de MISHRA-SINGH (MS et MMS) ne tient pas compte de l'effet de l'intensité ou de la durée de la pluie sur le ruissellement (MISHRA, et al., 2006). De même ce modèle ne tient pas compte de l'effet d'échelle (MISHRA, et al., 2006).

2.4.3 SCS-CN modifié par (MISHRA, et al., 2003)

2.4.3.1 Concept volumétrique

Une unité de volume total V occupé par une colonne de sol peut être divisée en volume de solides (V_s), en volume de l'eau (V_w) et en volume de d'air (V_a). La somme des Volume d'air et le volume d'eau représente le volume de vides V_v :

$$V_v = V_a + V_w \quad (26)$$

En termes volumiques, θ représente la teneur en eau

$$\theta = \frac{V_w}{V} \quad (27)$$

Et la porosité (n) donnée par l'expression suivant :

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (28)$$

La teneur en eau peut s'écrire sous forme :

$$\theta = n \times S_r \quad (29)$$

Telle que S_r représente le degré de saturation qui varié de 0 à 1 et définit par la relation suivant :

$$S_r = \frac{\theta}{n} = \frac{V_w}{V_v} \quad (30)$$

2.4.3.2 Concept $C=S_r$:

Pour une situation d'étanchéité immédiate ($I_a=0$) l'hypothèse fondamentale de la méthode SCS-CN voir l'équation (12) peut être exprimée comme (MISHRA, et al., 2003) :

$$\frac{Q}{P} = \frac{F}{S} \quad (31)$$

Le rapport $\frac{Q}{P}$ représente le facteur de ruissellement C, variant de 0 À 1, Avant l'apparition de l'averse quand $F = 0$, l'équation (31) peut être réécrite en termes d'eau et d'humidité antérieure, M:

$$S_I = S + M \quad (32)$$

Ou S_I le potentielle de rétention maximale correspondant à AMC I.

Pour $M=0$:

$$C = \frac{F}{S} = \frac{F}{S_I} = \frac{V_w}{V_v} = S_r \quad (33)$$

Pour $M \neq 0$:

$$C = \frac{F + M}{S + M} = \frac{V_w + M}{V_v + M} = S_r \quad (34)$$

2.4.3.3 Développement du modèle

(MISHRA, et al., 2003) utilise le concept $C = S_r$ ci-dessus, l'hypothèse de base voir l'équation(12)de la Méthode SCS-CN originale, à l'exclusion de la partie statique de l'infiltration F_c , similaire à I_a , et y compris M peut être modifié comme :

$$\frac{Q}{P - I_a - F_c} = \frac{F_d + M}{S + M} \quad (35)$$

Ainsi, l'équation du bilan hydrique (14) peut être exprimée comme suit:

$$P = I_a + F_c + F_d + Q \quad (36)$$

La combinaison de ces deux équations conduites à la forme modifiée de modèle SCS-CN proposée par (Mishra, et al., 2003) :

$$Q = \begin{cases} \frac{(P - I_a - F_c)(P - I_a - F_c + M)}{P - I_a - F_c + M + S} & \text{si } P \geq I_a + F_c \\ 0 & \text{si } P < I_a + F_c \end{cases} \quad (37)$$

Telle que :

$$M = 0,5 \left[-(1 + \lambda)S + \sqrt{(1 - \lambda)^2 S^2 + 4P_s S} \right] \quad (38)$$

2.4.3.4 Avantages et limites :

Les avantages de l'utilisation de la méthode (MMS) (MISHRA, et al., 2003) par rapport à la méthode originale sont notés (MISHRA, et al., 2003):

- La version originale est un cas particulier de la version modifiée et, par conséquent, MMS est plus général que la version originale.
- Dans une certaine mesure, la méthode MMS a une base physique. Elle est soutenue par une approche plus rationnelle avec un aperçu de fond et une possibilité d'estimation des paramètres à l'aide des données physiques.
- L'inclusion de l'expression (38) basée sur SCS-CN pour l'humidité antécédente, la version modifiée élimine le problème de la comptabilisation de l'humidité antérieure dans une grande mesure.

Les inconvénients de la version modifiée sont également notés (MISHRA, et al., 2003):

- La méthode SCS-CN originale repose sur un seul paramètre S (ou CN) pouvant être dérivé des tables (Tableau 3, Tableau 4, Tableau 5) pour une large gamme de paramètres géophysiques.
- D'autre part, la version modifiée nécessite une connaissance préalable du taux d'infiltration minimum.
- La version modifiée est un modèle à 2 paramètres (pour $\lambda = 0,2$) tandis que la version originale est un modèle à 1 paramètre et par conséquent, le premier est de plus en plus complexe.

2.4.4 Modèle Michel SCS-CN (MSCS-CN) :

(Michel, et al., 2005) ont dévoilé des incohérences majeures associées au modèle SCS-CN originale. Un changement de paramétrage et une meilleure perception de la procédure de comptabilité de l'humidité SMA (l'humidité initiale du sol) sous-jacente ont conduit au développement d'un modèle SCS-CN amélioré (ci-après nommé modèle Michel SCS-CN (MSCS-CN)). La forme générale du modèle MSCS-CN peut être exprimée comme suit (Singh, et al., 2015):

$$\begin{cases} V_0 \leq S_a - P & Q = 0 \\ S_a - P < V_0 \leq S_a & Q = \frac{(P + S_a - V_0)^2}{P + V_0 - S_a + S} \\ S_a \leq V_0 \leq S_a + S & Q = P \left[1 - \frac{(S_a + S - V_0)^2}{S^2 + (S_a + S - V_0)P} \right] \end{cases} \quad (39)$$

Où S_a = seuil d'humidité du sol = $(V_0 + I_a)$, V_0 = humidité initiale du sol et I_a = interception initiale Interceptions. Les valeurs de S_a et V_0 sont données en profondeur Le modèle MSCS-CN est à la fois hydrologiquement plus cohérent et structurellement stable et conserve toute la simplicité et vraisemblablement, le potentiel du modèle SCS-CN original. Notamment, le modèle MSCS-CN n'a pas d'expression pour V_0 et S_a , mais il a été suggéré d'identifier des situations typiques où V_0 pourrait être défini par rapport aux paramètres S et S_a (Singh, et al., 2015).

2.4.5 Modèle MSCS-CN modifié (MMSCS-CN) :

(Singh, et al., 2015) On modifier la relation (12) comme suit :

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F + V_0 + I_a}{S + V_0 + I_a} \quad (40)$$

$$\begin{cases} Q = \frac{(P + V_0)(P - I_a)}{P + S + V_0} & \text{si } P > I_a \\ 0 & \text{si } P \leq I_a \end{cases} \quad (41)$$

2.5 Évaluation du modèle SCS-CN

2.5.1 Évaluation du modèle MS :

(MISHRA, et al., 2004) On fait une évaluation du modèle Mishra-Singh (MISHRA, et al., 2006) incorporant l'humidité antécédente et sa version modifiée utilisant un large éventail de données pluviométriques dérivées de 234 bassins hydrographiques de petite à grande provenance aux États-Unis et suggèrent une version améliorée du modèle.

L'étude a donnée une évaluation la version modifiée du Mishra et Singh (MS) (MISHRA, et al., 2006), qui est basé sur la méthodologie du curve number (SCS-CN) et intègre l'humidité antécédent dans les calculs directs de l'écoulement de surface. La comparaison avec la méthode SCS-CN originale à l'aide du t-test (est une analyse de deux populations en testant la différence entre les échantillons lorsque les variances de deux distributions normales ne sont pas connues), et sur une base du classement a montré que le modèle de MS modifié est beaucoup plus performant que le modèle SCS-CN originale (MISHRA, et al., 2004).

2.5.2 Évaluation des modèles SCS-CN utilisant des caractéristiques de bassins hydrographiques

(JAIN, et al., 2006) ont fait une évaluation quantitative du modèle SCS-CN original (SCS, 1956), des modèles Mishra et Singh MS et MMS (MISHRA, et al., 2006) pour leur adéquation à l'utilisation particulière des terrain, au type de sol et à leur combinaison en utilisant un grand ensemble des données sur les précipitations des petits et grands bassins hydrographiques aux États-Unis. Leur analyse a révélé que l'application des modèles Mishra et Singh MS et MMS (MISHRA, et al., 2006) sur les données de [234 petits à grands bassins versants des États-Unis Département d'agriculture des États (USDA)] donne des résultats suivant :

- le modèle SCS-CN original (SCS, 1956) est plus adapté aux bassins hydrographiques agricoles qu'aux bassins hydrographiques montrant l'utilisation des terres et des sols sablonneux. D'autre part, les deux versions différentes du modèle Mishra Singh (MISHRA, et al., 2006) sont plus adaptées aux bassins hydrographiques de haute et basse ruissellement, mais avec une utilisation mixte des terres (JAIN, et al., 2006).

2.5.3 Évaluation spatiale des impacts de l'augmentation de la surface imperméable sur le SCS-CN

L'évolution de l'utilisation des terrains due à l'urbanisation rapide a un impact profond sur le ruissellement dans les bassins hydrographiques urbains. L'analyse spatiale dans les bassins hydrographiques urbains est jugée nécessaire pour la gestion des régimes d'eau de surface et de sous-sol (Ansari, et al., 2016).

(Ansari, et al., 2016) Dans leur étude présentent les impacts spatiaux et temporels du changement dans la zone urbanisée sur le CN et le ruissellement. L'étude a démontré que l'utilisation de la méthode SCS-CN et d'autres paramètres dans le suivi du régime hydrologique de surface dans les bassins hydrographiques urbains.

Il a été trouvé (Ansari, et al., 2016) que : l'urbanisation a eu un impact négatif sur les paramètres hydrologiques, et l'évolution de LU / LC (Land Use/Land Cover) a un impact profond sur le CN et le ruissellement. Étant donné que le développement dans les bassins hydrographiques urbains est évident, il devrait y avoir des lignes directrices strictes pour le développement durable. Les techniques statistiques sont utiles pour trouver l'impact de différents paramètres hydrologiques sur le régime hydrologique de surface dans les bassins hydrographiques urbains (Ansari, et al., 2016).

Enfin, (Ansari, et al., 2016) rapportent que la récolte de l'eau de pluie sur les toits peut aider à éviter les inondations instantanées et peut améliorer la disponibilité des eaux souterraines.

2.6 L'effet de la pente du terrain sur le modèle SCS-CN

(Mishra, et al., 2014) ont étudié expérimentalement l'impact de la pente du bassin hydrographique sur le ruissellement généré par les précipitations et, à son tour, les valeurs de (CN) résultant des parcelles de terrain sont donnée par la formule suivant :

$$CN_{2\alpha} = \frac{1}{3}(CN_3 - CN_2)(1 - 2e^{-13,86\alpha}) + CN_2 \quad (42)$$

Où CN_2 et CN_3 sont les valeurs de CN pour les conditions antécédentes AMC II (moyenne) et AMC III (humide), et α [m/m] est la pente du terrain .

(Mishra, et al., 2014) arrivant aux résultats indiquent que la parcelle de 5% de pente a généré le plus grand ruissellement et, à son tour, pour les mêmes précipitations, sol et l'utilisation des terrains, le CN est correspond aux parcelles de 3 et 1% de pentes.

Le CN proposé par (Mishra, et al., 2014) était assez proche des valeurs du SCS-CN originale, ce qui indique une concordance satisfaisante entre les deux. L'utilisation des valeurs CN ajustées par pente dans la méthode CN originale de manière significative (au niveau de 5%) a amélioré les évènements de gros ruissellement autrement sous-estimés, à savoir l'efficacité du modèle E améliorée de 0,47 à 0,78 et R^2 de 0,71 à 0,83.

(Mishra, et al., 2014) on conclue que :

- l'aire de répartition la plus élevée donne les plus grandes valeurs de ruissellement pour une pluviométrie, un sol et une utilisation des terrains donnée. En d'autres termes, à mesure que la pente augmente, le ruissellement augmente, et vice versa. L'emploi des valeurs CN ajustées par les pentes a considérablement amélioré les estimations du ruissellement.
- La méthode SCS-CN originale a sous-estimé les grands évènements de ruissellement, dans une moindre mesure pour les pentes raide que pour une pente faible du bassin versant.
- Au fur et à mesure que AMC augmente de I à III, le CN augmente pour une pente et l'utilisation des terrains, et vice versa. De même, pour un AMC donné et l'utilisation des terrains, lorsque la pente du bassin hydrographique augmente, le CN augmente et vice versa.

2.7 Critique des modèles SCS-CN

- La modèle SCS-CN est un modèle de perte d'infiltration; par conséquent, son applicabilité est limitée à la modélisation des pertes en temps de crue. Sauf les modifications appropriées, la méthode ne doit pas être utilisée pour modéliser la réponse hydrologique à long terme d'un bassin versant (Ponce, et al., 1996).
- À l'origine, la méthode n'est pas destinée à tenir compte de l'évaporation et de l'évapotranspiration (pertes à long terme) (Mishra, et al., 2003).

- SCS-CN a été développée à l'origine comme un modèle groupé (spatial et temporel), utilisé pour convertir la profondeur des précipitations pluviales en volume direct de ruissellement (Ponce, et al., 1996).

2.8 Avantages et limites de la méthode SCS-CN originale

Les avantages :

- 1) C'est une méthode conceptuelle simple, prévisible et stable pour l'estimation de la profondeur directe du ruissellement en fonction de la profondeur des précipitations, soutenue par des données empiriques (Mishra, et al., 2003).
- 2) C'est la seule méthodologie qui comprend des intrants environnementaux facilement saisis et raisonnablement bien documentés (sol, utilisation / traitement du sol, état de la surface et état d'humidité antécédent) (Ponce, et al., 1996).
- 3) Il repose sur un seul paramètre, le nombre de courbe de ruissellement CN, qui varie en fonction de quatre propriétés principales du bassin hydrographique: groupe hydrologique du sol: A, B, C et D, classes d'utilisation et de traitement des terres, l'état hydrologique de la surface, l'état de l'humidité antérieure (Mishra, et al., 2003).
- 4) C'est une méthode bien établie, largement acceptée pour être utilisée aux États-Unis et dans d'autres pays. Bien qu'il soit théoriquement possible que les numéros de la courbe (Ponce, et al., 1996).

Les inconvénients :

- 1) La méthode a d'abord été développée en utilisant des données régionales, principalement du Midwest des États-Unis, et a depuis été étendue à la pratique à l'ensemble des États-Unis et d'autres pays. Une certaine prudence est recommandée pour son utilisation dans d'autres régions géographiques ou climatiques. Les études locales et l'expérience connexe devraient être substituées aux tableaux nationaux américains, le cas échéant (Williams, et al., 1998);
- 2) Il existe cependant un manque de conseils clairs sur la façon de varier l'état antérieur (Ponce, et al., 1996);
- 3) La méthode est la meilleure dans les sites agricoles, pour lesquels elle était destinée à l'origine (Ponce, et al., 1996);
- 4) Le numéro de courbes de ruissellement est supposé s'appliquer aux bassins versants de petite et moyenne taille (Ponce, et al., 1996);

- 5) La méthode fixe le taux d'interception initial à $\lambda = 0,2$. Au début, cela semble être un avantage, cependant, λ pourrait être interprété comme un paramètre régional (Mishra, et al., 1999).
- 6) Il ne contient aucune expression pour le temps et ignore l'impact de l'intensité des précipitations et sa distribution temporelle (Mishra, et al., 2003).

2.9 Conclusion

La méthode SCS-CN est largement comprise et acceptée pour ce qu'elle est: un modèle conceptuel soutenu avec des données empiriques pour estimer le volume direct de ruissellement à partir de la profondeur de précipitation, développé pour contourner la description souvent encombrante de la variabilité spatiale et temporelle de l'infiltration et d'autres pertes (Ponce, et al., 1996).

Méthodes et données



3 Méthodes et données

3.1 Introduction

Dans ce chapitre on va aborder notre travail en commençant par la présentation de la zone d'étude et on continue par la présentation de méthode et la procédure suivie pour l'estimation de bilan hydrique, et on termine par la présentation des données utilisées dans ce travail.

3.2 Présentation de la zone d'étude :

3.2.1 Situation géographique et géomorphologique :

Située en bordure de la méditerranée, et dispose d'une façade maritime de 80 km, la wilaya d'Alger est limitée par: la wilaya de Tipaza à l'Ouest, la wilaya de Boumerdes a l'Est et de la Méditerranée au Nord jusqu'au limite de la wilaya de Blida au sud.

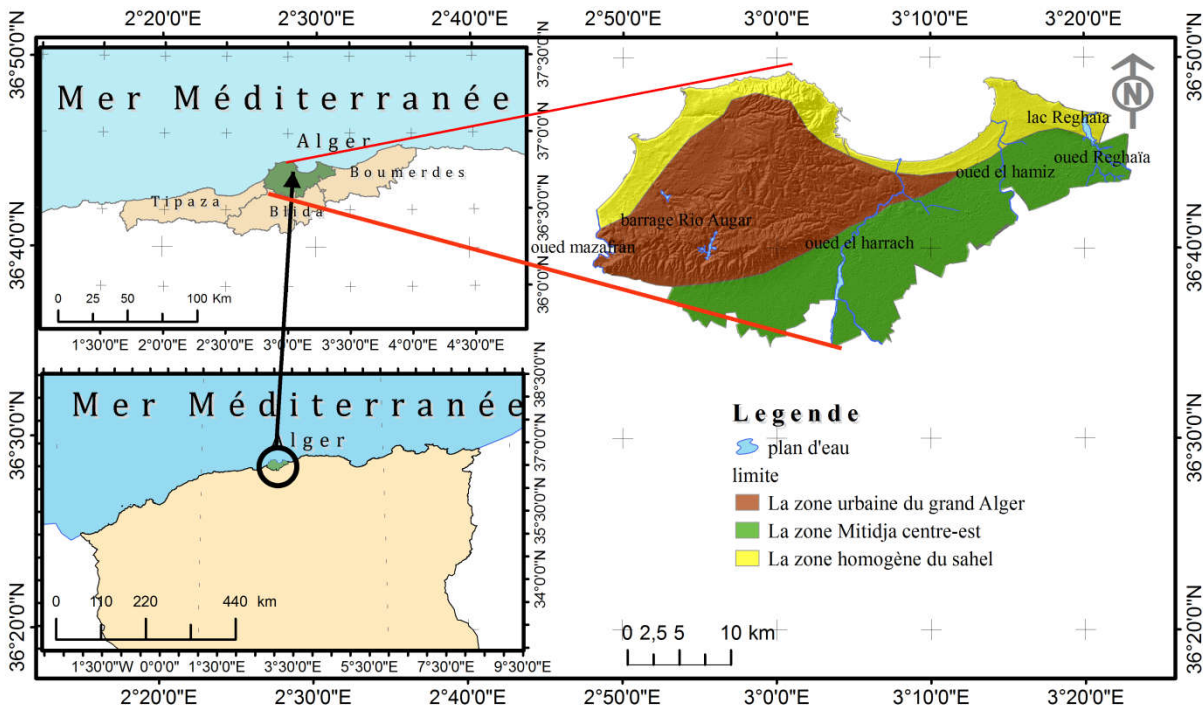


Figure 6 : Carte limite de la zone d'étude

Trois grandes zones homogènes composent la morphologie de son territoire : La zone urbaine du grand Alger, la zone homogène du sahel et la zone Mitidja centre-est.

Deux grands ensembles physiques caractérisent le relief de la wilaya d'Alger le Sahel et la Mitidja.

La partie Est de la Mitidja, appelée communément Mitidja de l'Est dont l'altitude varie de 0 à 50 mètres, est traversée par les oueds Hamiz et Reghaïa voir Figure 6. La pente est quasi nulle soit de 0% à 3%.

Le sahel est constitué par des collines dont l'altitude moyenne est de l'ordre de 250 mètres. Le point culminant est à 420 m dans le massif de Bouzareah. La pente, quant à elle, varie de 3% à 12 %. Ces mêmes collines du sahel appelées aussi « bourrelet d'Alger » séparent la plaine de la Mitidja de la Méditerranée dans sa partie Ouest (Duac Alger, 2010).

3.2.2 Synthèse Démographie :

3.2.2.1 La population

Du point de vue administratif, la wilaya d'Alger englobe 12 daïras totalisant 57 communes avec une population de 2 987 160 habitants en 2008 selon (ONS, 2008), soit une densité de 38,75 hab/ha.

3.2.2.2 Taux de croissance de la population :

Durant la période des recensements 1998/2008, la population s'est accrue de 385 042 habitants ainsi le taux d'accroissement moyen de la wilaya d'Alger (ONS, 2008) durant la période des deux recensements 1998/2008 est de 1,6.

3.2.3 Configuration géologique :

La région étudiée est caractérisée par la présence de deux structures géologique principales. Il s'agit de déformation à grand rayon de la zone littorale présente dans deux secteurs distincts (duac alger, juin 2010) : courbure, datant du post-astien, l'anticlinal du Sahel et le synclinal mitidjien. Ces deux structures définissent trois particularités morphologiques principales : la plaine de la Mitidja, le Sahel et la zone littorale, en dehors de la plaine de la Mitidja.

3.2.4 Synthèse pédologique :

La pédologie de la wilaya d'Alger comprend (Selvaradjou, et al., 2005) les classes suivantes : sols calcaires, les sols insaturés, sols alluviaux, sols dunaires, sols de marais et de la Roches mères. La distribution spatiale de ces sols sera présentée eu détail dans la suite.

3.2.5 Climatologie :

La wilaya d'Alger possède un climat méditerranéen subhumide (ONM, 2016) où les étés sont chauds et secs et les hivers sont doux et pluvieux et parfois enneigés.

3.2.5.1 Température :

Les températures des moyennes des maxima et minima sont de 32,8°C et 5,7°C la moyenne annuelle étant de 18°C.

3.2.5.2 Précipitation :

La wilaya d'Alger reçoit des quantités annuelles de précipitations variant entre 400 mm et 1 200 mm avec une pluviométrie moyenne de moins de 579,4 mm/an.

Chapitre 3.Méthodes et données

Tableau 6: Données climatiques à Alger NOAA (NOAA, 1970).

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sep.	oct.	nov.	déc.	ann ée
Température minimale moyenne (°C)	5,9	6,4	7	9	12	15,6	18,5	19,1	17,1	13,7	9,6	7	11,7
Température moyenne (°C)	11,3	11,9	12,8	14,7	17,7	21,3	24,6	25,2	23,2	19,4	15,2	12,1	17,4
Température maximale moyenne(°C)	16,5	17,3	18,5	20,4	23,5	27	30,6	31,2	29,2	25,1	20,7	17,2	23,1
Précipitations (mm)	80	81,8	73,4	61,1	39,9	16,7	4,6	7,4	34,2	76	96,4	115,2	686, 6
Nombre de jours avec précipitations	11,4	10,6	9,7	9,1	7,3	2,5	1,5	2,5	5,3	8,6	11,1	12,1	91,7

3.2.6 Réseau hydrographique

La wilaya d'Alger se situe dans la région Nord-Centre qui, de par son climat méditerranéen subhumide, bénéficie de conditions hydrographiques plus favorables que sur le reste du territoire national. Cette région comprend deux bassins versants, le bassin Chélif-Zahrez et le bassin de l'Algérois-Hodna-Soummam, qui intègrent la wilaya d'Alger (Duac Alger, 2010).

La wilaya d'Alger se divise en trois bassins drainants principaux : le bassin de Beni Messous (Ouest), le bassin d'El Harrach (Centre) et le bassin de Reghaïa (Est). Ces bassins versants sont caractérisés par des principaux cours d'eaux représentée dans la Figure 6 à savoir l'oued Mazafran, l'oued el Harrach, l'oued el Reghaïa et englobe le barrage de Rio Augar, de Zeralda, la zone humide du lac de Reghaïa le et la zone de décantation de Beni Messous forment l'essentiel de l'hydrographie de la wilaya d'Alger, Leurs surfaces est de 789,21 ha soit 1,02% de la surface total de la wilaya (Duac Alger, 2010).

3.2.7 Occupation du sol :

Les superficies de l'occupation du sol de la wilaya d'Alger sont présentées dans le tableau suivant :[Figure 22]

Tableau 7 : Occupation du sol de la wilaya d'Alger estimée sur la base de la carte (INSID, 2011).

Occupation	Superficie (ha)	Taux (%)
Agriculture		
Oléiculture	15,69	0,02
Culture arboricole	14147,83	18,3
Culture maraichère	10321,03	13,35
Grande culture	8153,8	10,55
Viticulture	2456,7	3,18
Total occupation agricole	35095,05	45,4
Zone de parcours	3894,21	5,04

Forêt - maquis - reboisement	5153,84	6,67
Plan d'eau	789,21	1,02
Espace bâti	32361,33	41,87
Total occupation hors agricole	42198,59	54,6
Superficie totale	77293,64	100

Répartition des classes d'occupation du sol

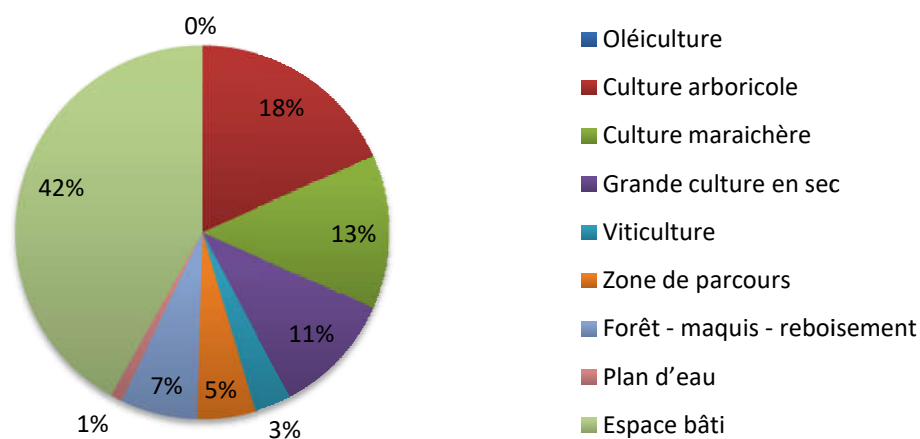


Figure 7 : Répartition des classes d'occupation du sol

3.3 Méthode et calcul:

3.3.1 Introduction:

Pour l'estimation du ruissellement direct et l'infiltration qui sera produite à partir d'une précipitation donnée, différents modèles hydrologiques sont disponibles. Ces modèles vont de complexes à simples, ayant différentes structures et exigences de données d'entrée. Parmi ces modèles, on trouve le modèle de service de conservation du sol SCS-CN (SCS, 1956) est le plus utilisé pour l'estimation du ruissellement direct.

3.3.2 Description du modèle :

Le modèle que nous allons appliquer sur notre zone d'étude est le modèle empirique SCS-CN (Soil Conservation Service Model Curve Number) (SCS, 1956).

Ce modèle qui permet la transformation de la pluie brute en ruissellement et du ruissellement en débit, repose essentiellement sur le paramètre de ruissellement CN (en anglais appelé Curve Number) qui varie en fonction de quatre propriétés principales du bassin hydrographique:

- Groupe hydrologique du sol: A, B, C et D;
- Classes d'utilisation et de traitement des terres;
- L'état hydrologique de la surface;
- L'état de l'humidité antérieure.

La particularité, et l'intérêt principal de ce modèle est qu'il est conceptuellement simple, prévisible et stable pour l'estimation de la hauteur directe du ruissellement et infiltration en fonction de la hauteur des précipitations, soutenue par des données empiriques.

Comme déjà dans le chapitre 2, ce modèle a subi plusieurs modifications dans le but d'améliorer sa performance, et on trouve le modèle de MISHRA-SINGH (MS), le Modèle MISHRA-SINGH modifiés (MMS) (MISHRA, et al., 2006) qui ont amélioré la relation I_a -S et suggéré des relations SCS-CN-en introduisant l'humidité antécédente et la quantité antécédente de précipitation de 5 jours.

L'impact de la pente faite objet d'une étude de (Mishra, et al., 2014) qui montre qu'une pente plus élevée donne la plus grande ampleur du ruissellement pour une pluviométrie donnée. En d'autres termes, à mesure que la pente augmente, le ruissellement augmente, et vice versa. L'emploi des valeurs CN ajustées par les pentes a considérablement amélioré les estimations du ruissellement.

3.3.3 Approche de calcul:

Dans ce travail on va calculer le ruissellement et l'infiltration en utilisant le modèle SCS-CN original et le modèle (MS) et (MMS), en introduisant par la suite la correction topographique (la pente) (Mishra, et al., 2014). Cette approche est représentée dans la Figure 8

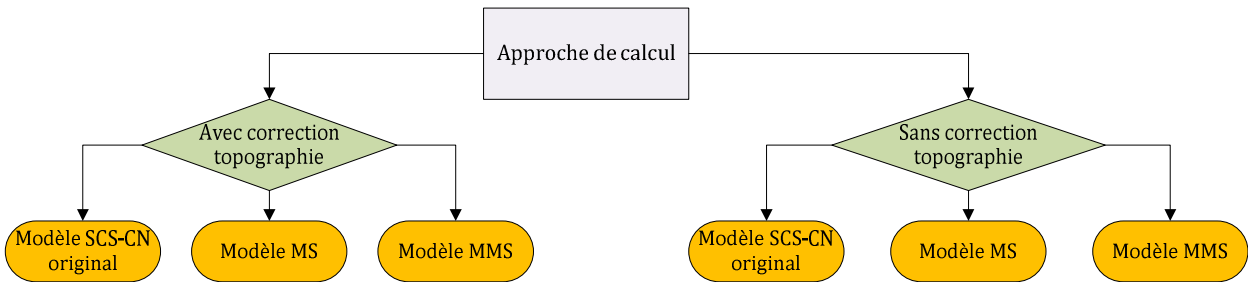


Figure 8 : Approche de calcul, (Modèle SCS-O : modèle SCS-CN original ; modèle MS : Modèle MISHRA-SINGH ; modèle MMS : Modèle MISHRA-SINGH modifiés (MMS) ; modèle SCS-O-P : Modèle SCS-CN original avec correction topographique (pente) ; modèle MS-P : Modèle MISHRA-SINGH avec correction topographique (pente) ; modèle MMS-P : Modèle MISHRA-SINGH modifiés avec correction topographique (pente).

Les abréviations utilisées dans la Figure 8 sont celles adaptées pour le reste de travail.

L'approche de calcul suivie pour le calcul du ruissellement et de l'infiltration avec les différentes méthodes sans correction topographique est présentée dans la Figure 9.

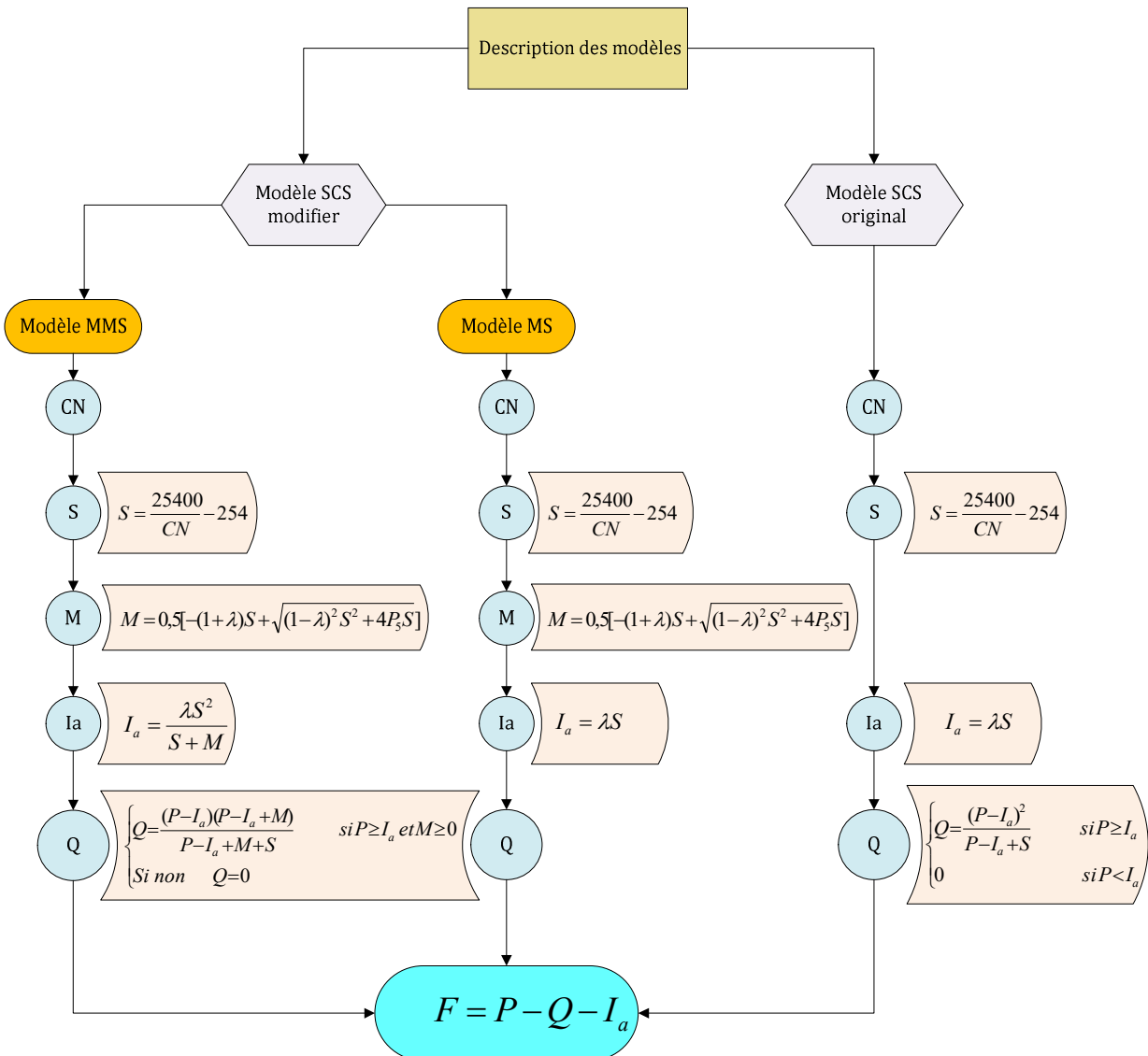


Figure 9: Les étapes de calcul de ruissellement et de l'infiltration par les différents modèles sans correction topographique (Mishra, et al., 2003).

L'approche de calcul suivi pour le calcul du ruissellement et de l'infiltration avec les différentes méthodes avec correction topographique est présentée dans la Figure 10.

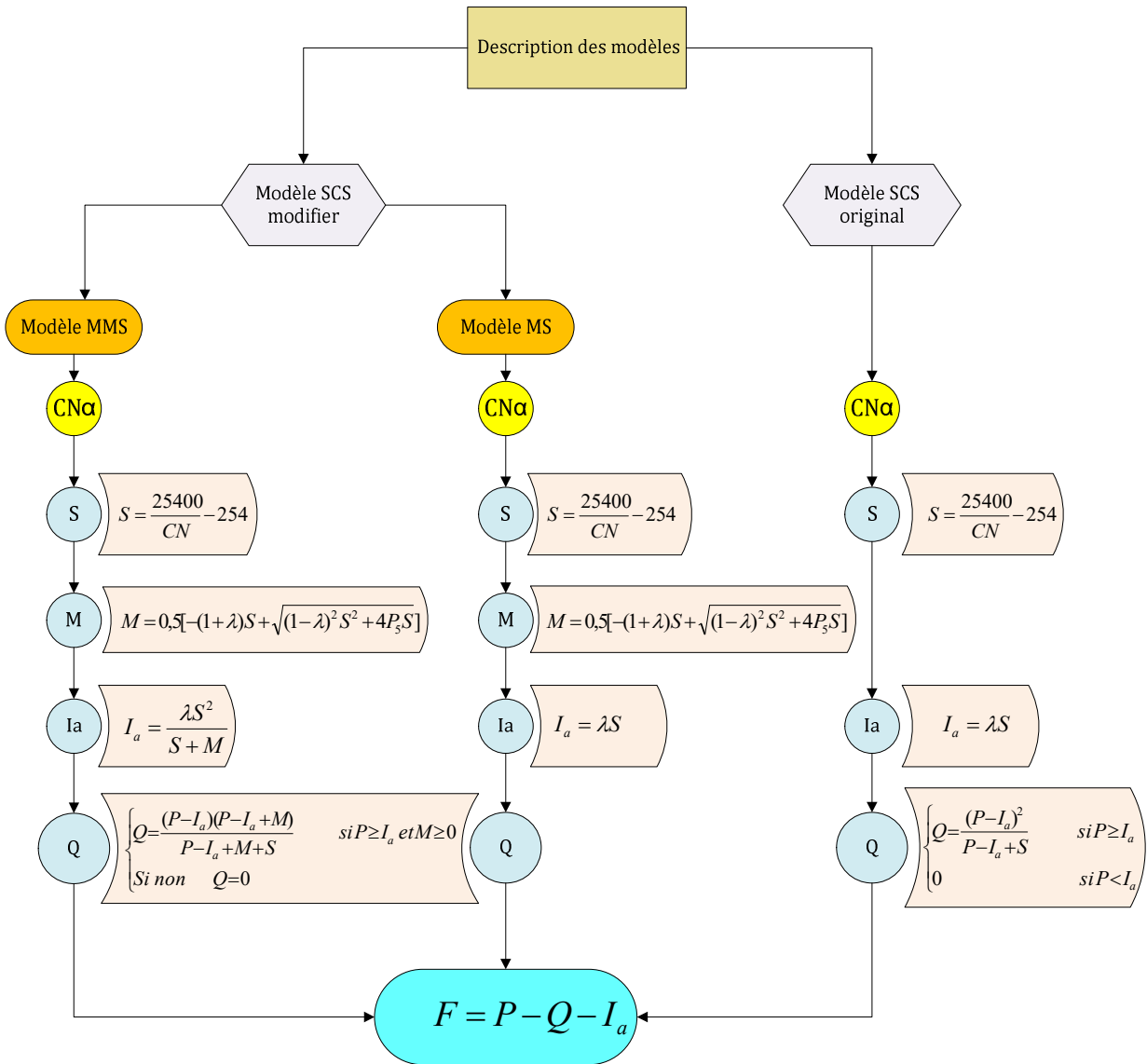


Figure 10: Les étapes de calcul de ruissellement et de l'infiltration par les différents modèles avec correction topographique (Mishra, et al., 2003).

Pour réaliser la correction topographique sur les différentes méthodes nous avons besoin d'une carte des pentes, et pour ce faire en doit suivre les étapes représentées dans la Figure 11 :

A partir de la carte d'élévation (ASTER GDEM, 2011) donnée dans Figure 25 nous avons construit la carte des pentes (voir Figure 12). Cette carte à une haute résolution (30 m), une telle résolution rend le calcul de la correction topographique avec les couches de données existantes très difficiles. Pour cette raison nous effectuons une reclassification de cette carte avec une résolution de 750m (Figure 12).

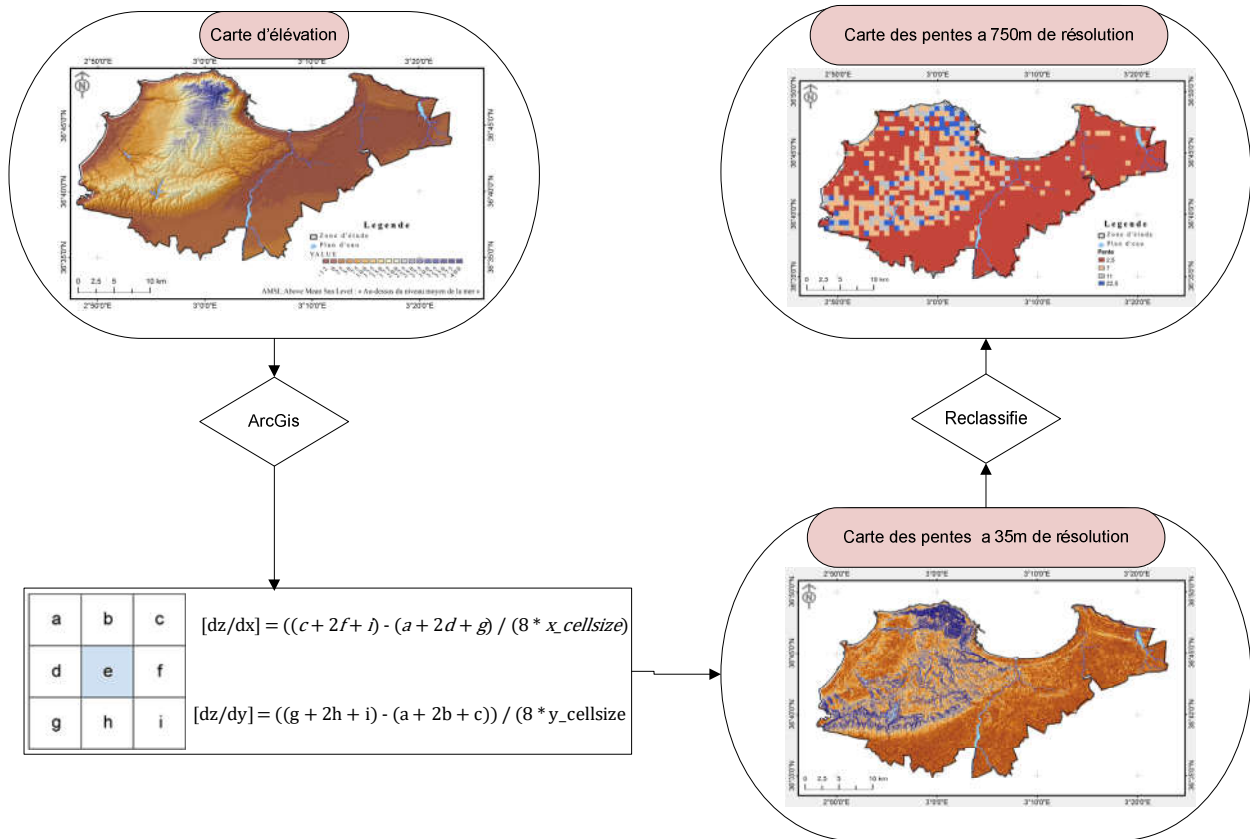


Figure 11: Les étapes d'élaboration de la carte des pentes.

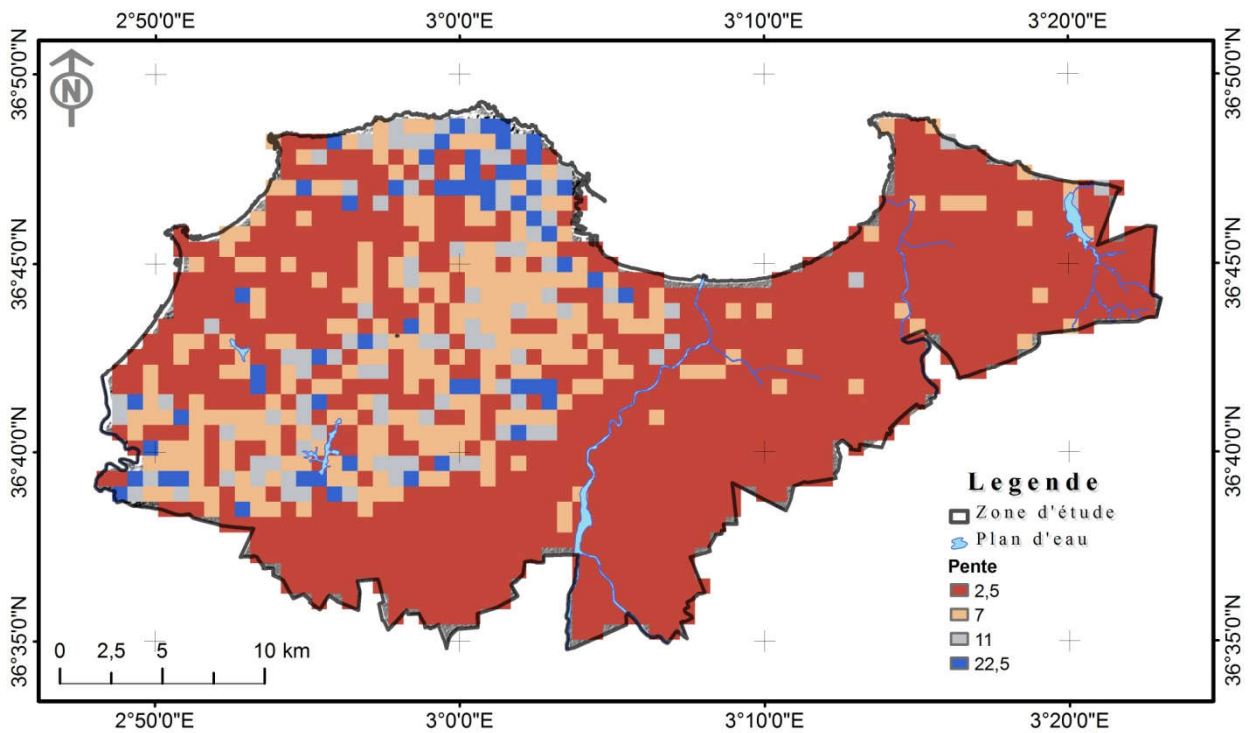


Figure 12: Carte des pentes à 750m de résolution.

3.3.4 Les étapes de calcul :

3.3.4.1 Calcul de CN

La Figure 13 montre l'organigramme de calcul du CN α .

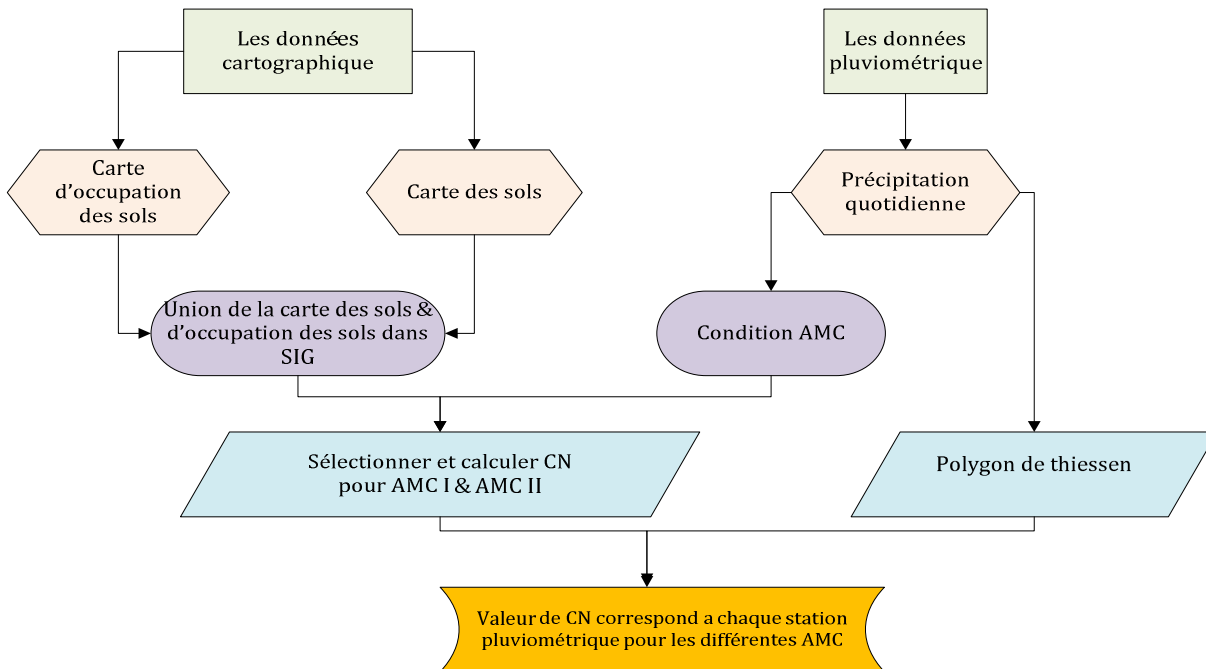


Figure 13 : Processus de calcul CN.

Le paramètre de ruissellement CN, qui est un indice de ruissellement sans dimension déterminé en fonction du groupe hydrologique du sol, de l'utilisation des terres, des conditions hydrologiques et de l'état d'humidité antécédent (AMC).

Les valeurs du CN peuvent varier de 1 à 100. Les valeurs plus élevées de CN indiquent un écoulement de surface plus élevé.

Pour le calcul de ce nombre on doit passer par les étapes suivant :

- Etape 1 :

On superpose la carte d'utilisation des terres et la carte des sols à l'aide du SIG ce qui va générer une carte type+occupation de sol représenter dans la Figure 14.

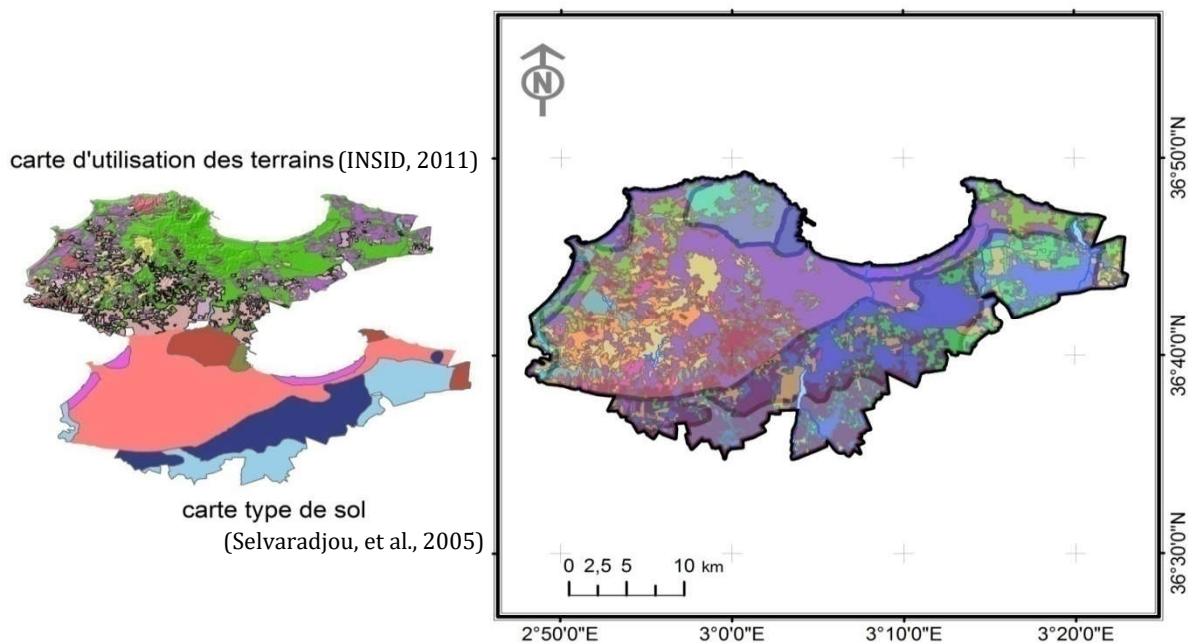


Figure 14 : Carte type et occupation de sol.

Etape 2 : Calcul de CN à partir des tableaux (Tableau 3, Tableau 4, Tableau 5) qui donnent les valeurs de CN pour les conditions antécédentes d'humidités II (AMC II) :

Tableau 8 : Statistique sur les valeurs de CN dans la zone d'étude pour AMC II.

utilisation des terrains	classe des sols	CN	Surface (km ²)	% Surface
Arboriculture	A	67	3,02	0,39
	B	78	50,53	6,54
	C	85	87,81	11,36
Cultures Maraichères	A	58	8,21	1,06
	B	72	27,07	3,5
	C	81	67,88	8,78
Forêts & Maquis	A	32	1,47	0,19
	B	58	2,32	0,3
	C	72	47,69	6,17
	D	79	0,03	0,003
Grandes Cultures	A	62	3,37	0,44
	B	71	16,49	2,13
	C	78	61,64	7,97
Oléiculture	C	85	0,16	0,02
Viticulture	A	67	0,46	0,06
	B	78	3,63	0,47
	C	85	20,46	2,65
Infrastructures & bâtis	A	77	19,63	2,54
	B	85	37,61	4,87
	C	90	258,46	33,45

	D	92	7,76	1
Parcours	A	39	0,14	0,02
	B	61	1,49	0,19
	C	74	37,3	4,83
Plan d'eau Hydrographie		100	7,95	1,03

Cartographie des valeurs de CNII.

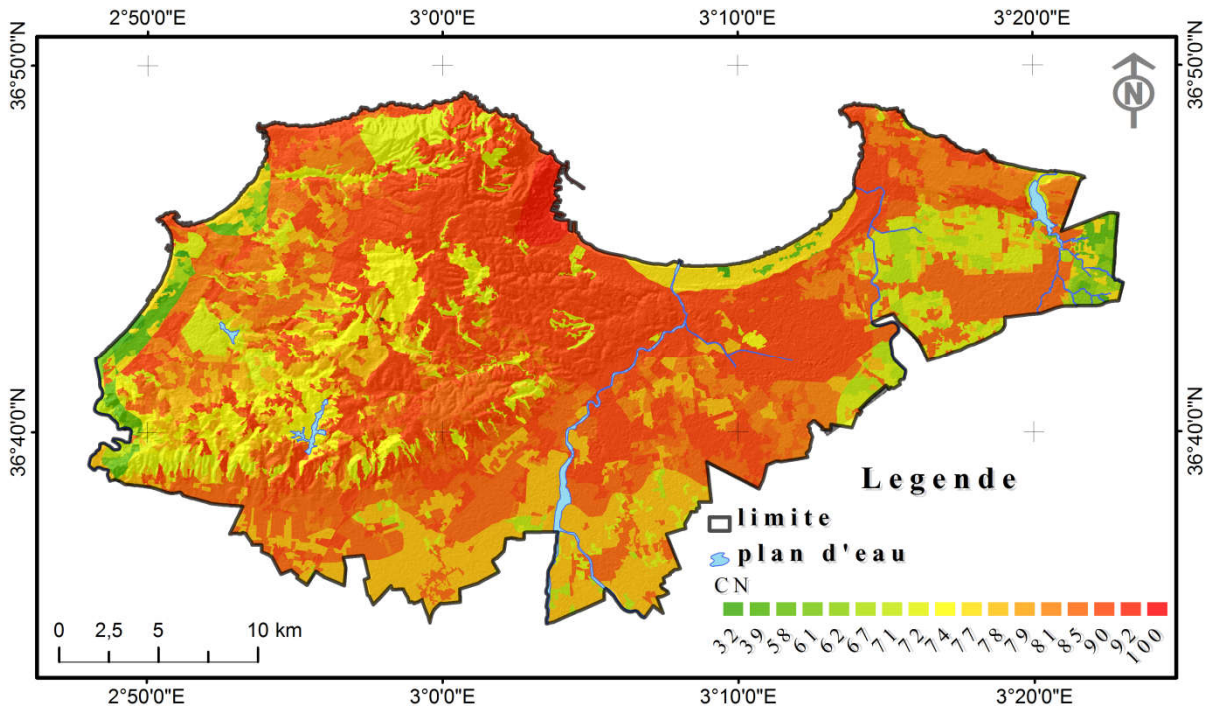


Figure 15 : Carte de distribution spéciale des valeurs de CN

- Etape 3 : Le choix de la série des données de précipitation :

Le choix de la période d'analyse a été conditionné par les données disponibles.

En premier lieu la carte d'utilisation des terrains utilisés dans cette étude correspond à la configuration urbaine de la ville d'Alger enregistrée durant la période 2009-2012.

La disponibilité des enregistrements journaliers des précipitations à cette distribution spatiale correspond à deux intervalles distingués dans lequel on a une couverture complète :

- ✓ 1ere intervalle [2009-2010] : comporte 6 stations pluviométriques {Birmandreis, Alger-Port, Dar El Beida, Pépinière d' Alger, Baraki, Mahelma ferme}.
- ✓ 2eme intervalle [2011-2012] : comporte 8 stations pluviométriques {Bordj-El-Bahri, Cap Caxine, Birmandreis, Alger-Port, Dar El Beida, Pepiniere d'Alger, Baraki, Mahelma ferme}.
- ✓ Etape 4 : tracer les polygones de Thiessen.

Chapitre 3.Méthodes et données

La méthode du polygone Thiessen est utilisée pour trouver une répartition spatiale des précipitations dans toute la zone d'étude. Les polygones Thiessen dans la zone d'étude ont été délimités sur un outil SIG.

- 1ere intervalle [2009-2010] :

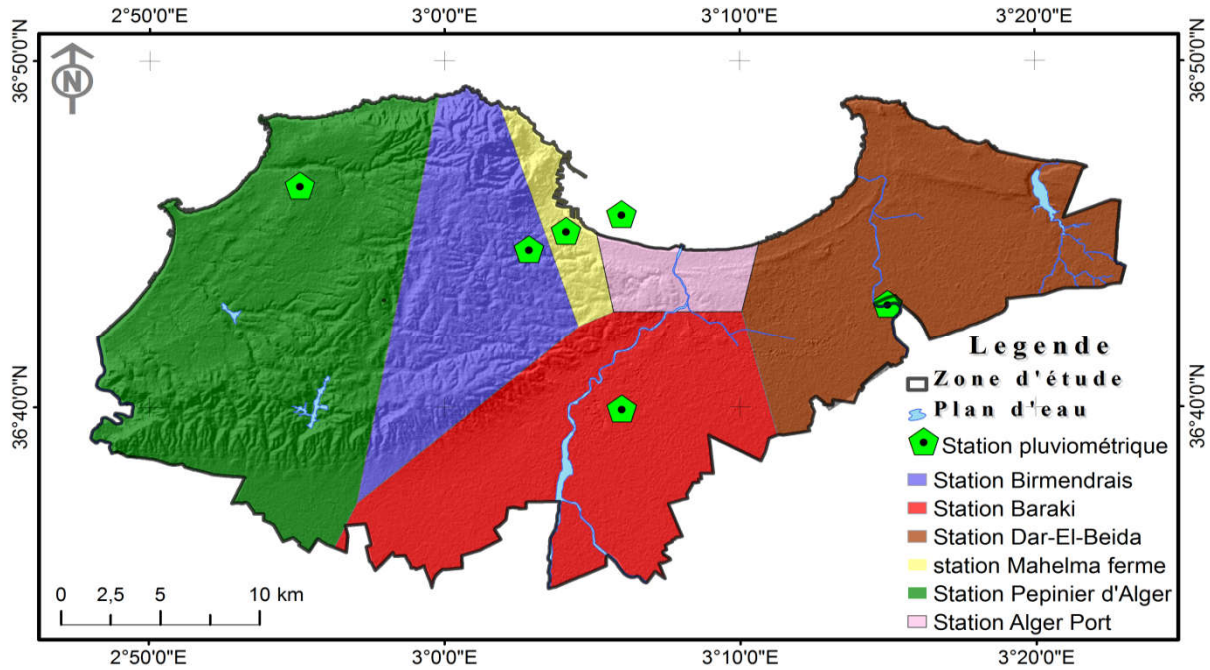


Figure 16 : Carte des polygones de Thiessen correspond au 1ere intervalle.

- 2eme intervalle [2011-2012] :

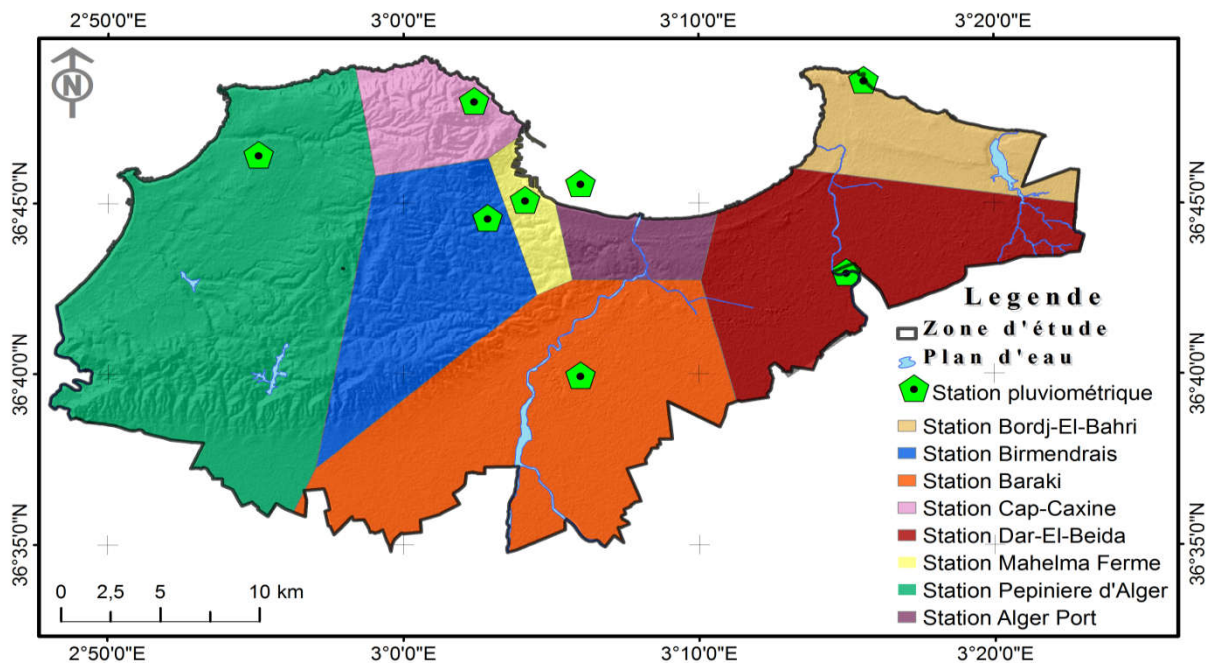


Figure 17 : Carte des polygones de Thiessen correspond au 2ème intervalle.

- Etape 5 : Superposition des cartes CN et polygones de Thiessen

Chapitre 3.Méthodes et données

On superpose la carte de CN avec la carte des polygones de Thiessen sur GIS à fin d'introduit pour chaque élément de surface correspondent à une station pluviométrique donnée par la méthode de Thiessen un nombre CN pour l'état d'humidité antécédent (AMC II).

Intervalle 1 :(2009-2010)

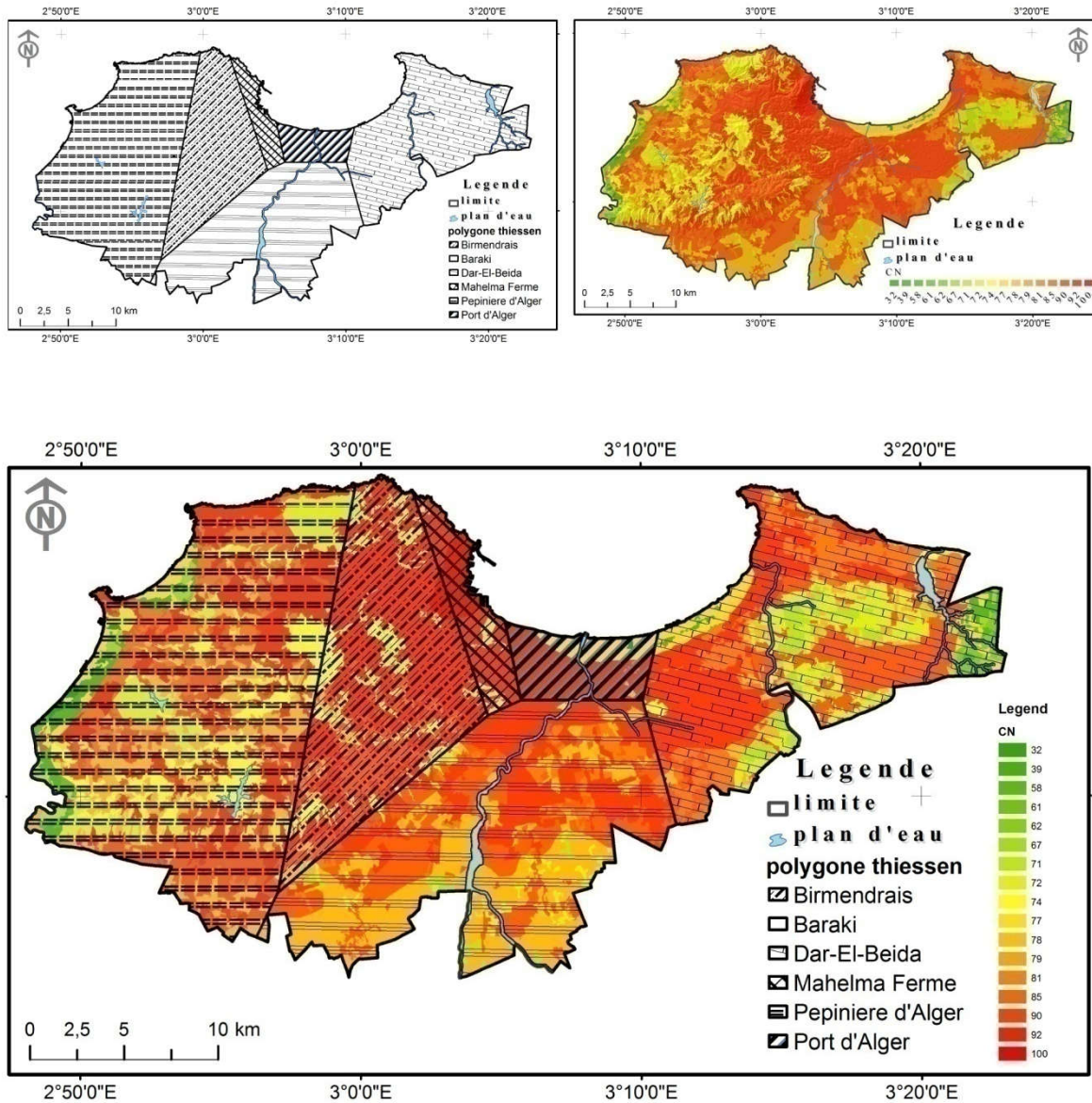


Figure 18 : Carte issue de la superposition des polygones de Thiessen et de CN pour l'intervalle (2009-2010).

Tableau 9 :Statistique sur les valeurs de CN correspond à chaque station pour l'intervalle (2009-2010).

Station	CN	Surface (m ²)	Station	CN	Surface(m ²)
Baraki	71	2836779	Dar-El-Beida	32	468

Chapitre 3.Méthodes et données

	72	5333323		39	137812
	74	337730		58	3147424
	78	62624922		61	96804
	81	11141347		62	3271012
	85	46905660		67	1328729
	90	49384425		71	11656592
Pépinère d'Alger	32	1239077		72	24284595
	58	7373127		74	1140751
	61	1389389		77	7717431
	62	94024		78	8731666
	67	2146775		81	28005572
	71	1811927		85	35447001
	72	29819143		90	46779704
	74	29843087	Birmendrais	71	188060
	77	5309086		72	13296095
	78	40886178		74	5977558
81	26289341	77		3243274	
85	44098495	78		30420	
90	57144505	81		2181246	
Port d'Alger	32	232473			85
	58	4938		90	73705001
	72	25503		92	1682597
	77	6602494	Mahelma ferme	72	2000740
	78	314291		90	13828079
	81	266297		92	6077572
	90	17618138			

Intervalle 2 :(2011-2012)

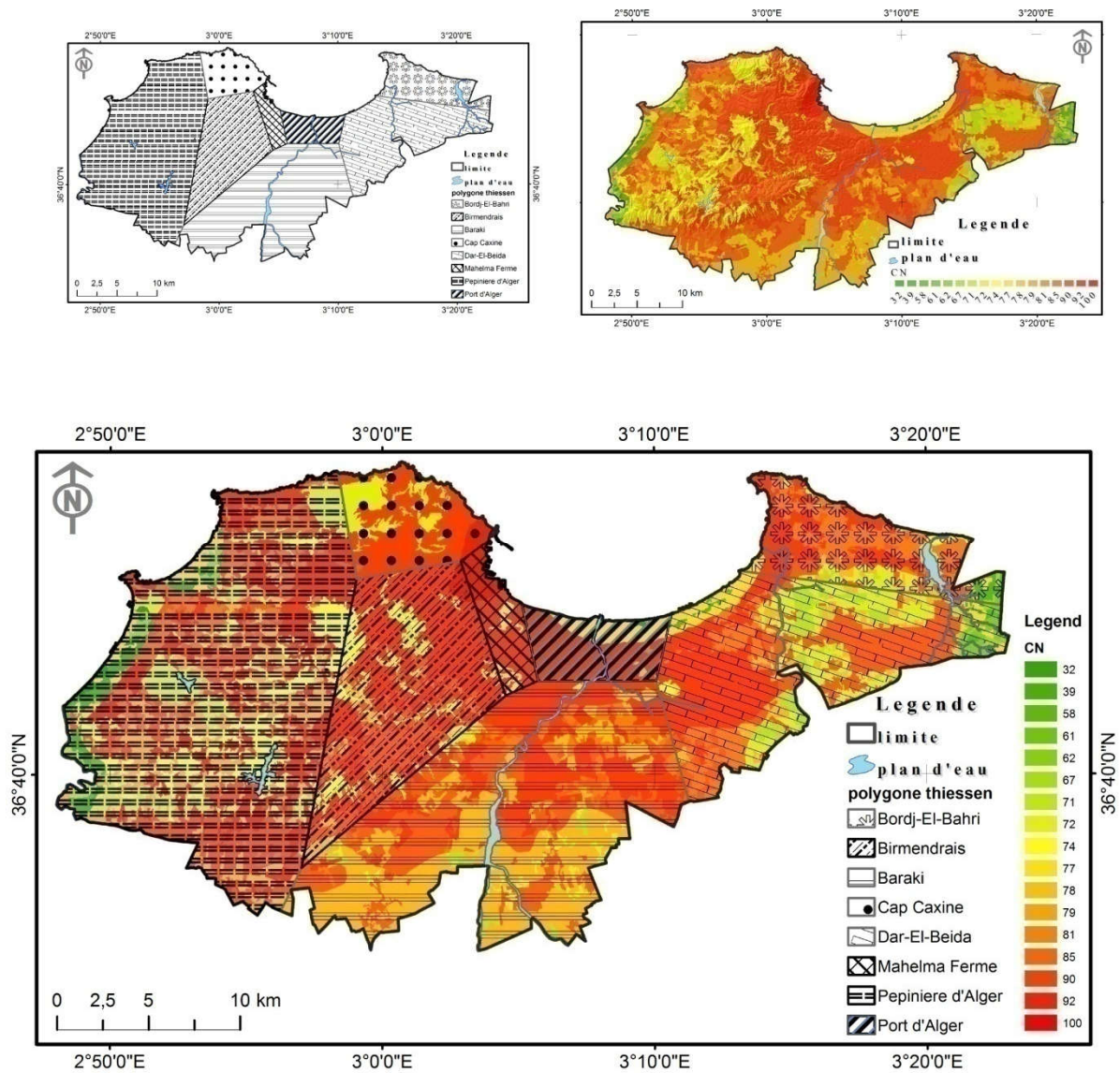


Figure 19 : Carte issue de la superposition des polygones de Thiessen et de CN pour l'intervalle (2011-2012).

Tableau 10 : Statistique sur les valeurs de CN correspond à chaque station pour l'intervalle(2011-2012).

Station	CN	Surface (m ²)	Station	CN	Surface(m ²)
Birmendrais	71	188063	Baraki	71	2836658
	72	8251887		72	5333338
	74	5978699		74	337755
	78	3243260		78	62625070
	79	30420		81	11141337

Chapitre 3.Méthodes et données

	81	2181227		85	46905566
	85	19531331		90	49383348
	90	55193529		32	15
	92	1672921		39	137812
Borj-El-Bahri	32	453	Dar-El-Beida	58	1459678
	58	1689187		61	2211
	61	94593		62	3082395
	62	188395		67	1005787
	67	322941		71	10866006
	71	790585		72	18341416
	72	5943182		74	697656
	74	443104		77	6454703
	77	1261186		78	7111543
	78	1620169		81	12165112
	81	15840509		85	30394925
	85	5052368		90	30789281
Port d'Alger	90	15990656	Pépinière d'Alger	32	1239077
	32	232473		58	737312
	58	4924		61	1389389
	72	25527		62	94023
	77	6602401		67	2146775
	78	314291		71	1811924
	81	266297		72	26241740
90	17620153	74		29842465	
Cap Caxine	72	8881528		77	5309086
	85	119010		78	40886119
	90	24819577		81	26289321
	92	2212453		85	44093228
Mahelma ferme	72	1740076		90	54716221
	90	9947107			
	92	3874794			

- Etape 6 : on calcul ensuite les valeurs de CN correspondent à l'état d'humidité antécédent (AMC I)et (AMC III) donnée respectivement par l'équation (7)et(8). L'organigramme de calcul utilisé est donné dans la Figure 20.

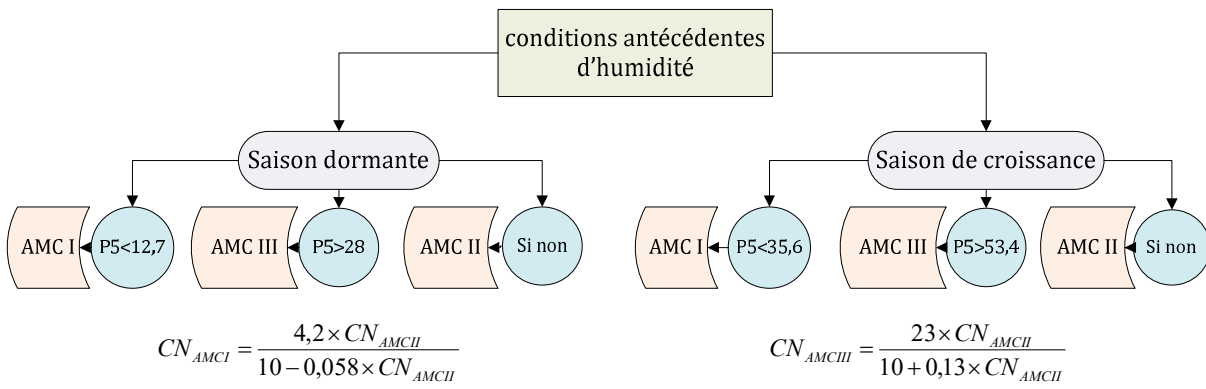


Figure 20: Condition antécédente d'humidité d'après les classes donnée dans le Tableau 1

3.4 Données utilisées :

3.4.1 Présentations des données :

Les données pluviométriques et cartographies de notre zone d'études, étaient indispensables pour mener à bien notre présent travail. C'est pour cela qu'une collecte effectuée au niveau des services concernés était impérative.

Les données nécessaires pour la réalisation de la présente étude :

- les séries de pluie les plus longues possibles des différentes stations pluviométriques existant à la wilaya d'Alger entrant dans la détermination du bilan hydrique ;
- La carte d'occupation de sols ;
- La carte des sols ;
- La carte des pentes.

3.4.2 Les données pluviométriques utilisées :

Les données pluviométriques dont nous disposons sont résumées dans le (Tableau 11).

Tableau 11 : Présentation des données pluviométriques recueillies.

Source	Station	localisation
ANRH	BIRMANDREIS	Longitude=3,05 latitude=36,74 hauteur=140
	MHALMA FERME	Longitude=3,07 latitude=36,75 hauteur=150
	BARAKI	Longitude=3,09 latitude=36,66 hauteur=20
	PEPINIERE D ALGER	Longitude=2,91 latitude=36,77 hauteur=87
(tutiempo, 2001)	Dar-El-Beida	Longitude=3,25 latitude=36,68 hauteur=25
	ALGER-PORT	Longitude=3,1 latitude=36,76 hauteur=12
	CAPE CAXINE	Longitude=2,95 latitude=36,81 hauteur=33
	BORDJ-EL-BAHRI	Longitude=3,26 latitude=36,81 hauteur=58

3.4.2.1 Localisation des stations pluviométriques

L'emplacement des stations pluviométrique identifier dans la wilaya d'Alger est donnée dans la Figure 21.

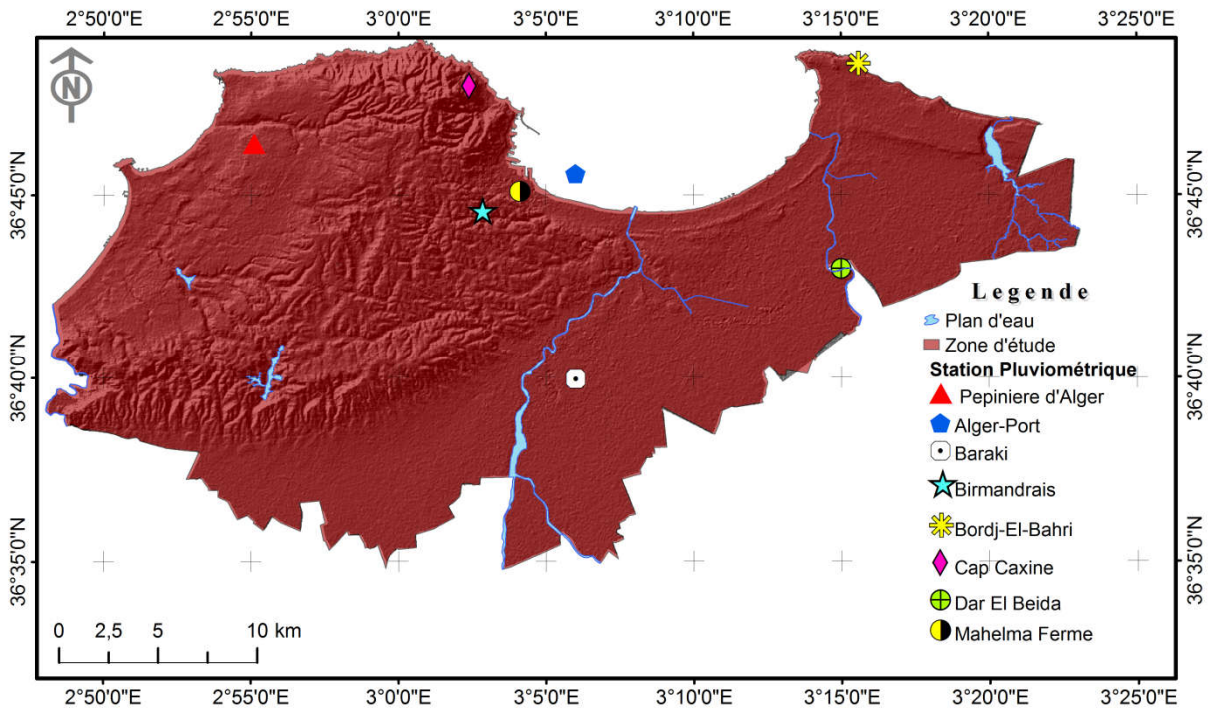
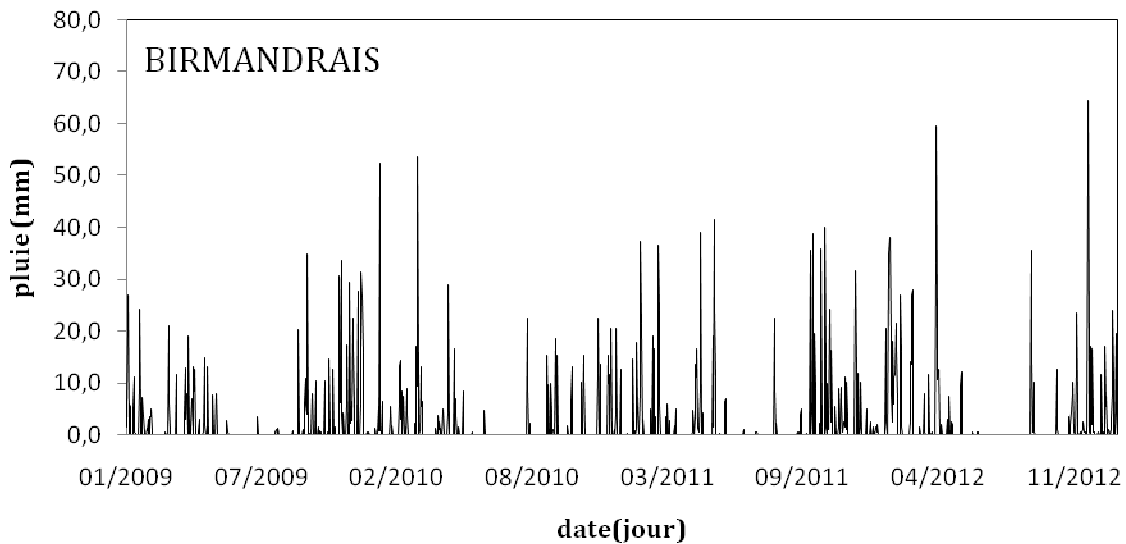
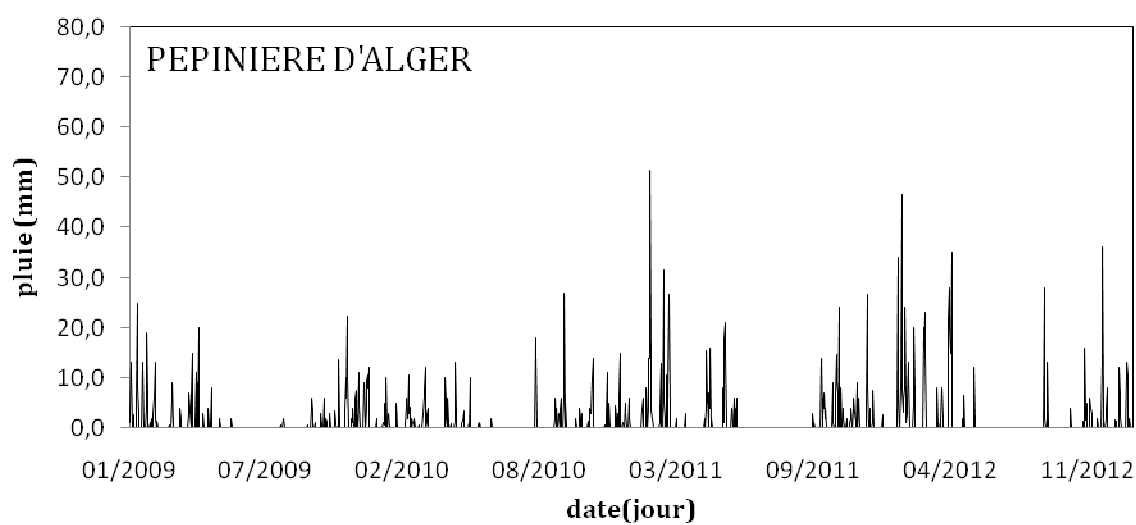
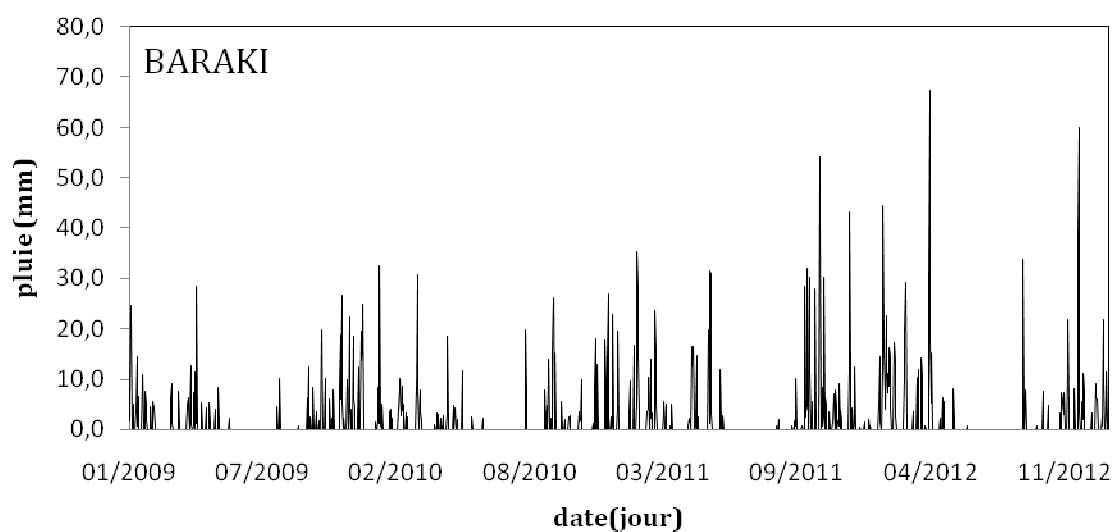
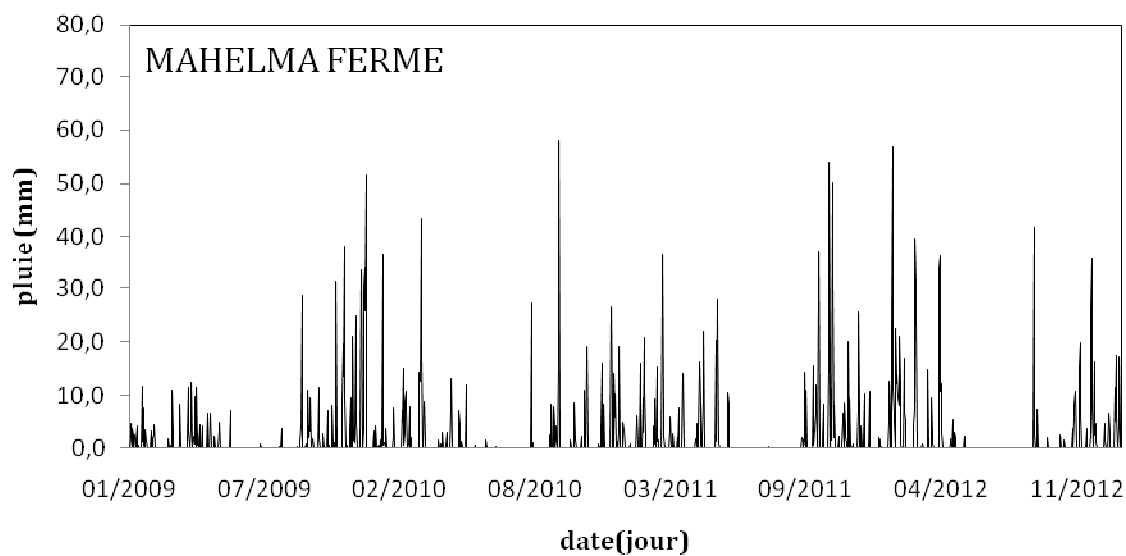
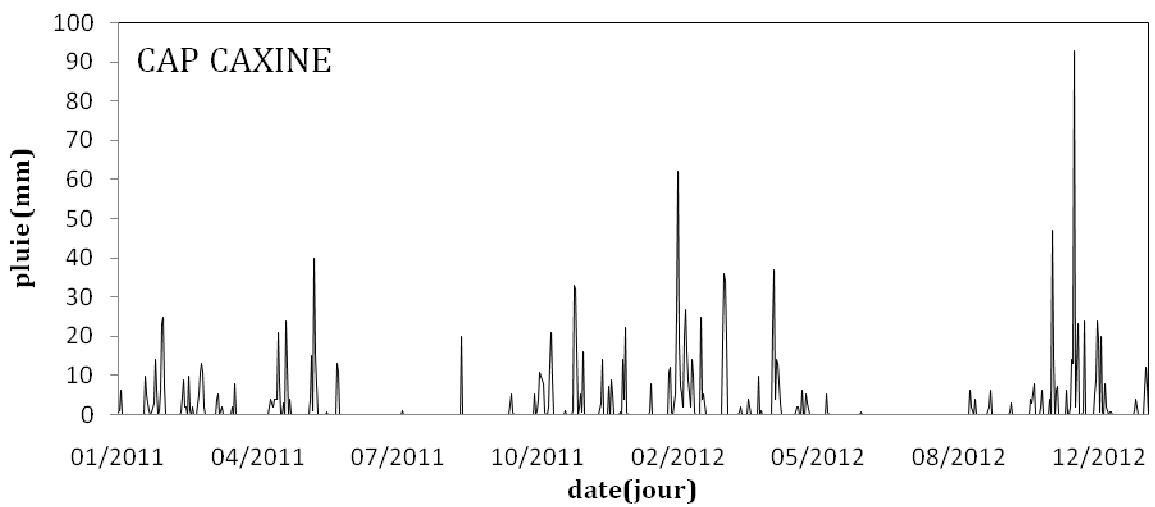
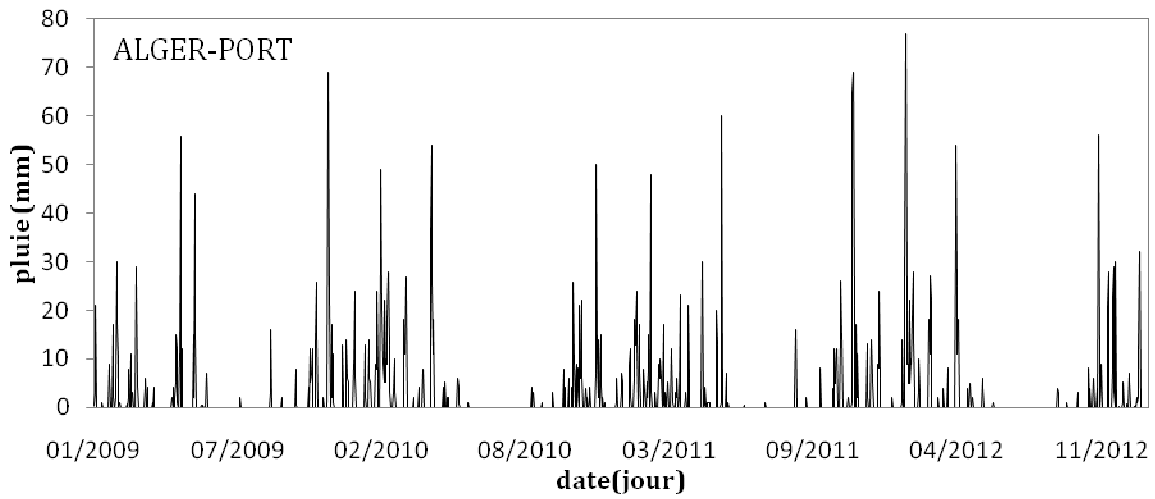
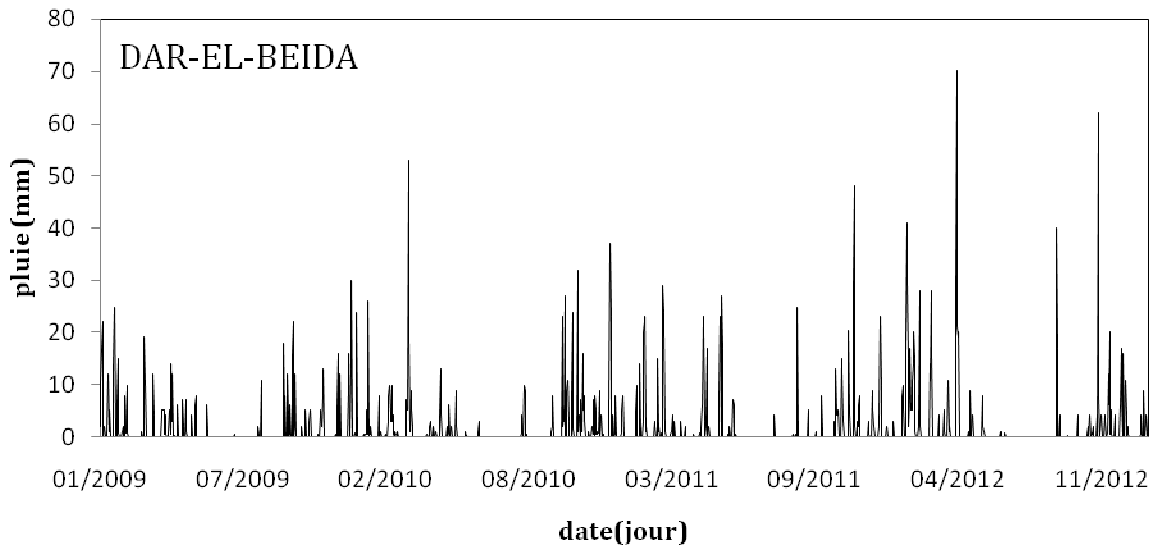


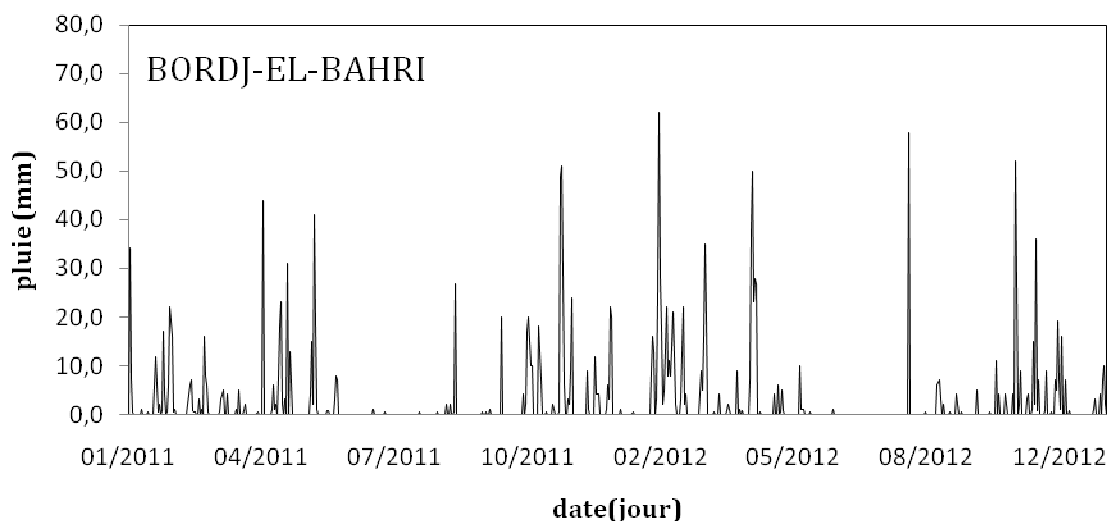
Figure 21 : Carte localisation des stations pluviométriques(ANRH et (tutiempo, 2001))

3.4.2.2 Répartition des pluies quotidienne :









Nous remarquons que la pluie est intense pendant les périodes allons de octobre jusqu'à février.

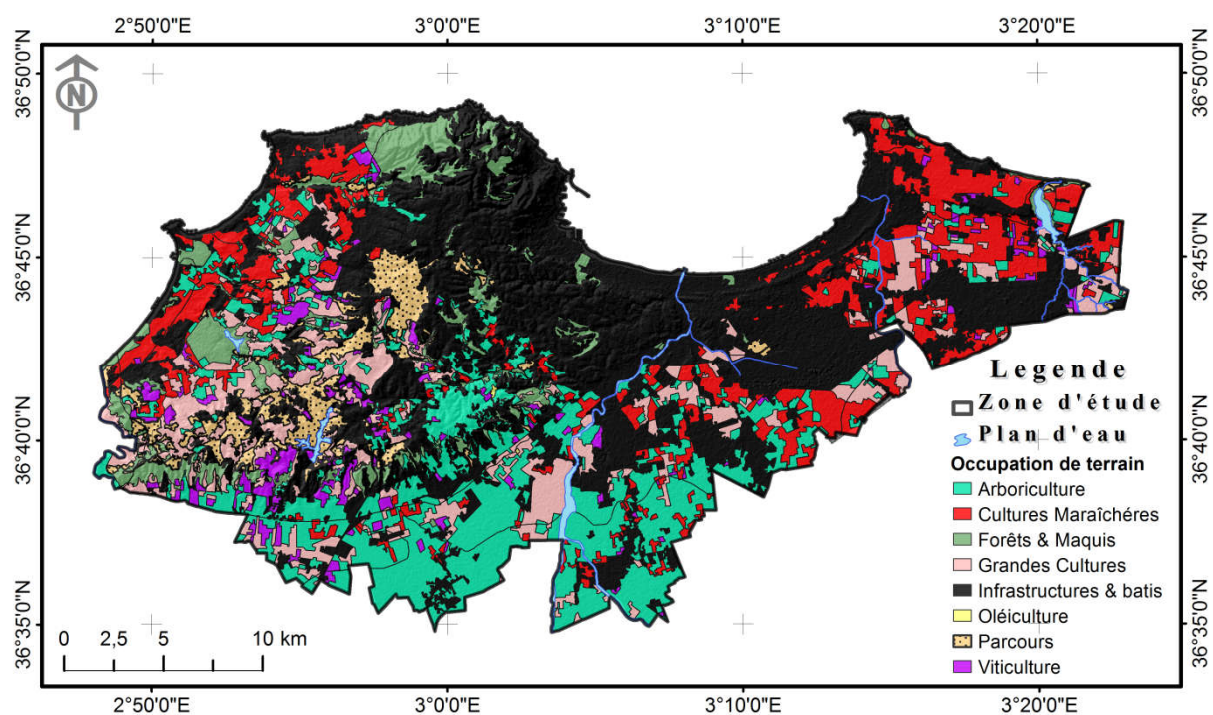
La wilaya d'Alger se situe dans la zone littorale où le climat est méditerranée soumis à l'influence de la mer, le relief, est caractérisé par un hiver pluvieux qui s'étend de septembre à mai (96.2 % de précipitation moyenne annuelle) dont les mois de novembre, décembre et janvier sont les plus froids et humides. L'été est sec et ensoleillé du mois de juin, jusqu'à mois d'Aout avec des pluies très faible

3.4.3 Les données cartographique utilisées

Tableau 12: Présentation des données cartographiques recueillies.

Données	Source	Date
carte d'utilisation de terrain	l'institut national des sols de l'irrigation et du drainage (INSID)	2011
carte des sols	European Digital Archive of Soil Maps (EuDASM)	1949
modèle numérique de terrain(MNT);(avec une résolution spatiale de 30 mètre)	ASTER GDEM est un produit de METI et de la NASA	octobre 2011

3.4.3.1 Carte d'utilisation de terrain



La wilaya d'Alger est caractérisée par la dominance des zones à typologie de plaines et de collines subhumides agricoles.

Les terres construites représentent environ la moitié de la superficie totale de la wilaya soit 41,87%. Le reste de l'espace est concerné principalement par des terres agricoles qui représentent environ 45,4% de la superficie totale de la wilaya, ainsi que les terres improductives telles que les parcours, plan d'eau, zone humide, etc.

3.4.3.2 Carte type de sol:

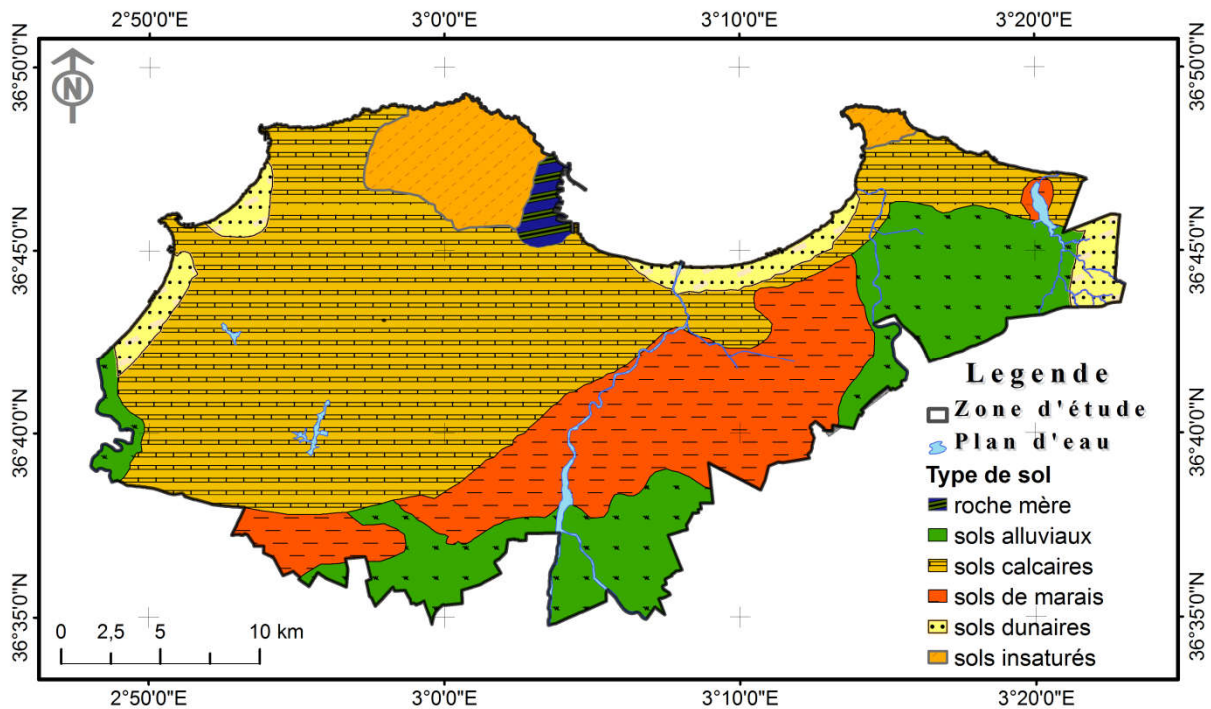


Figure 23 : Carte des sols de la wilaya d'Alger (Selvaradjou, et al., 2005).

D'après (DURAND, 1954) la pédologie de la zone d'étude comprend les sols suivant (voir Figure 23) :

- **Sols calcaires:** ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables (DURAND, 1954).
- **Les sols insaturés:** résultent de la décomposition superficielle de roches non calcaires donnant des éléments grossiers (les granites et encore des éléments argileux imperméables) (Benchetrit, 2016) peuvent être plus abondants en surface qu'en profondeur, leurs roches mères sont généralement imperméables .
- **Sols alluviaux:** ce sont des dépôts alluviaux relativement récents, présentant une simple accumulation de matières organiques en surface et formé sur des matériaux marins, fluviatiles; généralement humide.
- **Sols dunaires :** ce sont des sables éoliens fixés ou non, déposés en bordure de mer. Fixés par une végétation maigre ils peuvent être enrichis en matières organiques en surface.
- **Roches mères :** les roches-mères est une roche sédimentaire riche en matière organique, qui vont fournir la matrice minérale des sols sont essentiellement les roches de la croûte continentale (Benchetrit, 2016).
- **Sols de marais :** ce sont des sols d'origine fluviomarine issus de la sédimentation ancienne et présente. Ils sont constitués à 98% d'éléments fins de type limons, sables fin ou argiles (Benchetrit, 2016).

3.4.3.2.1 Correspondance type de sol-classe de sol SCS-CN :

Les différents sols existants dans la zone d'étude ont été répartis dans les quatre classes de sols définies par le modèle SCS en fonction de leurs caractéristiques physiques, notamment de leur perméabilité.

Tableau 13: Correspondance entre types de sol et la classification utilisée dans SCS-CN.

Classe	Type
A (sols à infiltration quasi-totale)	Sols dunaires
B (sol à vitesse d'infiltration moyenne)	Sols alluviaux
C (sol à faible vitesse d'infiltration)	Sols calcaires
	Les sols insaturés
	Sols de marais
D (sol quasi-imperméable)	Roches mères

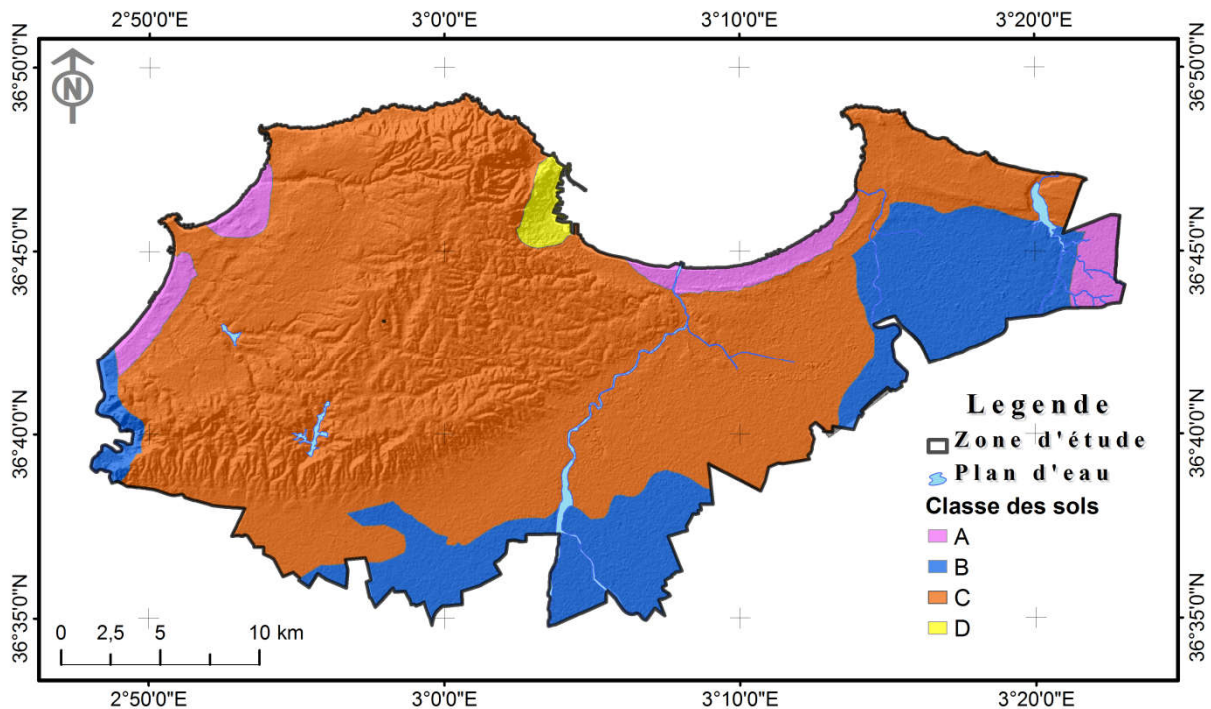


Figure 24 : Carte des sols selon la classification SCS dérivée en partant de la carte des sols de (Selvaradjou, et al., 2005)

3.4.3.3 Carte d'élévation

La Figure 25 représente une information spatiale(altimétrique) particulière qui nous aide à modéliser, analyser et représenter des phénomènes liés à la surface topographique.

Cette carte est intégrée dans le SIG pour la prise en compte de la morphologie du terrain et pour voir l'effet de la correction topographique (la pente) sur les résultats obtenue par les modèles utilisés .

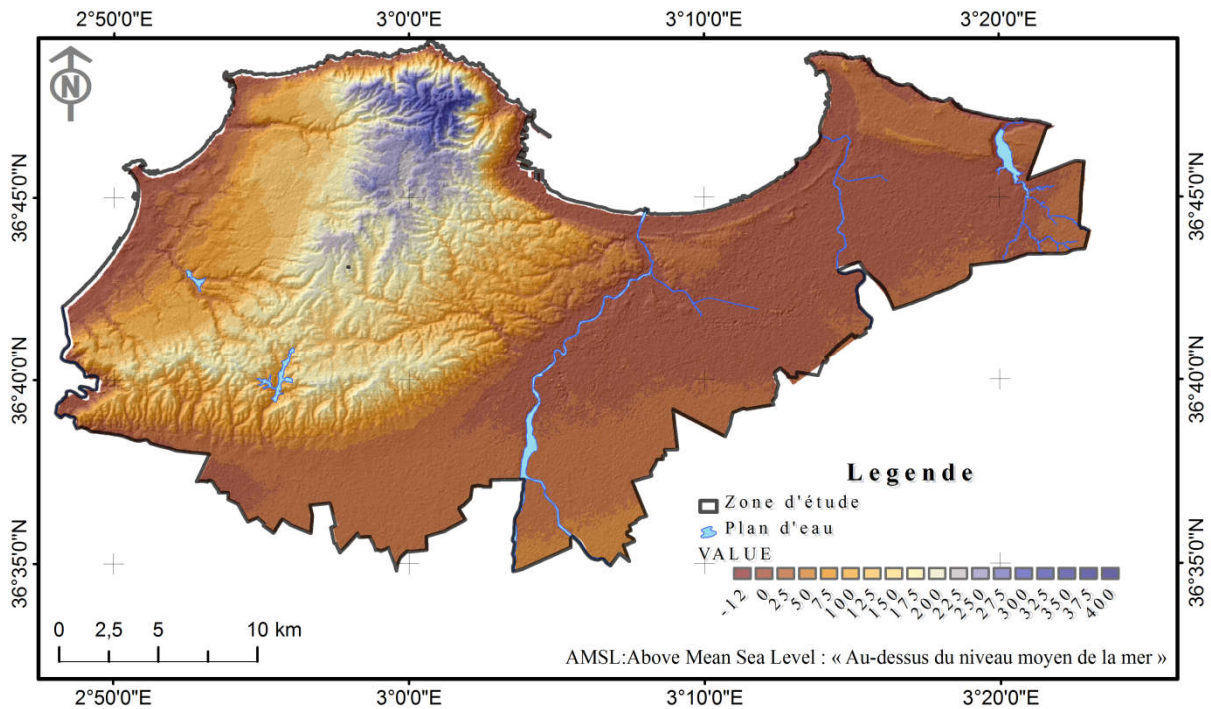


Figure 25: Modèle numérique de terrain(MNT) (ASTER GDEM , 2011).

Résultats et discussion

4

4 Résultats et discussion :

4.1 Introduction

Cette partie est consacrée à la présentation et l'interprétation des résultats obtenues par les différents modèles, dans lequel nous allons faire une évaluation de la variabilité spatiale et temporelle des bilans hydriques à l'échelle construite et non construite et à l'échelle globale de la wilaya d'Alger durant l'année 2009-2012, en ce basant sur le modèle SCS-CN (SCS, 1956) et les modèles (SCS-CN) modifiés pour estimer le volume d'eau ruisselé et infiltré.

Et enfin une comparaison entre les résultats des différents modèles utilisés pour notre zone d'étude est présentée.

4.2 Bilan hydrologique:

Les modèles SCS-CN utilisés dans cette présente étude reposent sur une équation de bilan hydrologique donnée par l'équation (3) qui compose essentiellement par trois éléments principale telle que : l'infiltration, ruissellement et l'interception initiale, et à cette effet on va faire une analyse spatiotemporelle détaillée de l'infiltration et de ruissellement estimés par les différentes modèles.

4.2.1 Ruissellement :

4.2.1.1 Ruissellement à l'échelle de la wilaya d'Alger :

4.2.1.1.1 Variation du ruissellement dans le temps :

La variation annuelle de ruissellement à l'échelle d'Alger représenté dans la Figure 26 conduit aux résultats suivants:

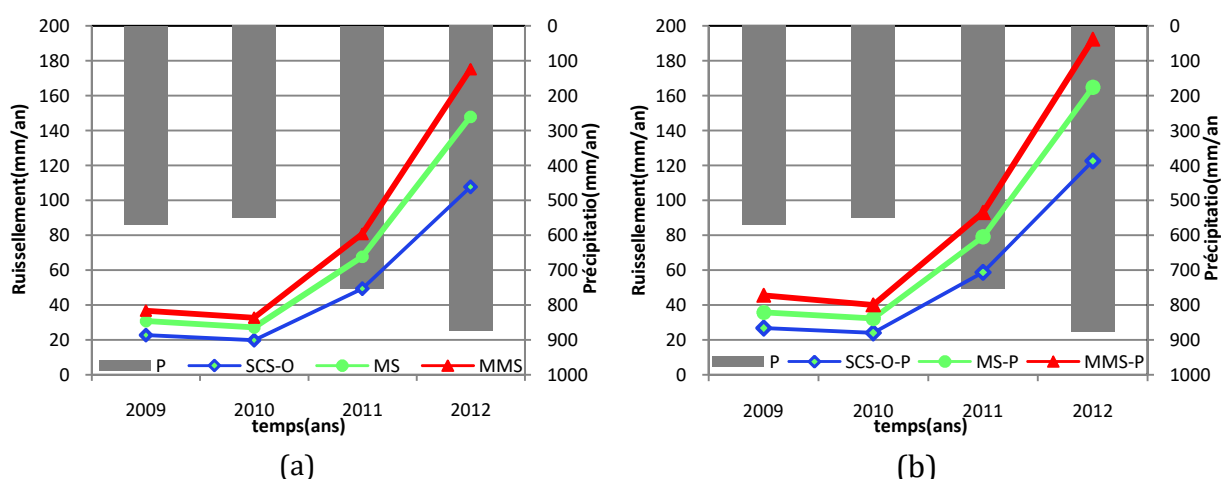


Figure 26 : Variation annuel du ruissellement à l'échelle de la wilaya d'Alger estimée par les méthodes suivantes (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P.

SCS-O : à l'échelle d'Alger, l'estimation du ruissellement par la méthode SCS-O a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 19,66 et 107,55 (mm/an) durant la

période 2009-2012 sur une moyenne de 49,76(mm/an) . La valeur minimal enregistré en 2010 et celle maximal enregistre en 2012 .

MS : à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MS a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 27,02 et 147,86(mm/an) durant la période 2009 - 2012 sur une moyenne de 68,33(mm/an). La valeur minimal enregistré en 2010 et celle maximal enregistre en 2012 .

MMS : à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MMS a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 32,65 et 175,02(mm/an) durant la période 2009 - 2012 sur une moyenne de 81,22(mm/an). La valeur minimal enregistré en 2010 et celle maximal enregistre en 2012 .

SCS-O-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode SCS-O-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 24,1 et 122,64(mm/an) durant la période 2009 - 2012 sur une moyenne de 58,1(mm/an). La valeur minimal enregistré en 2010 et celle maximal enregistre en 2012 .

MS-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MS-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 32,27 et 164,69(mm/ans) durant la période 2009-2012 sur une moyenne de 77,97(mm/an). La valeur minimal enregistré en 2010 et celle maximal enregistre en 2012 .

MMS-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MMS-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 40,1 et 192,29(mm/an) durant la période 2009-2012 sur une moyenne de 92,75(mm/an). La valeur minimal enregistré en 2010 et celle maximal enregistre en 2012 .

L'analyse globale du ruissellement à l'échelle de la wilaya d'Alger obtenue par les différentes méthodes montre que les valeurs extrêmes du ruissellement minimal et maximal sont enregistrées respectivement durant l'années 2010 et 2012. Cela est en accord avec la tendance des précipitations.

La déférence entre le ruissellement calculé par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifié sont assez faible pour un taux de précipitation faible et vice-versa .

4.2.1.1.2 Comparaison entre méthode

- Comparaison entre le modèle SCS-CN original et les modèles SCS-CN modifiée :

La comparaison entre le ruissellement annuel estimé par les différentes méthodes conduit aux résultats suivant :

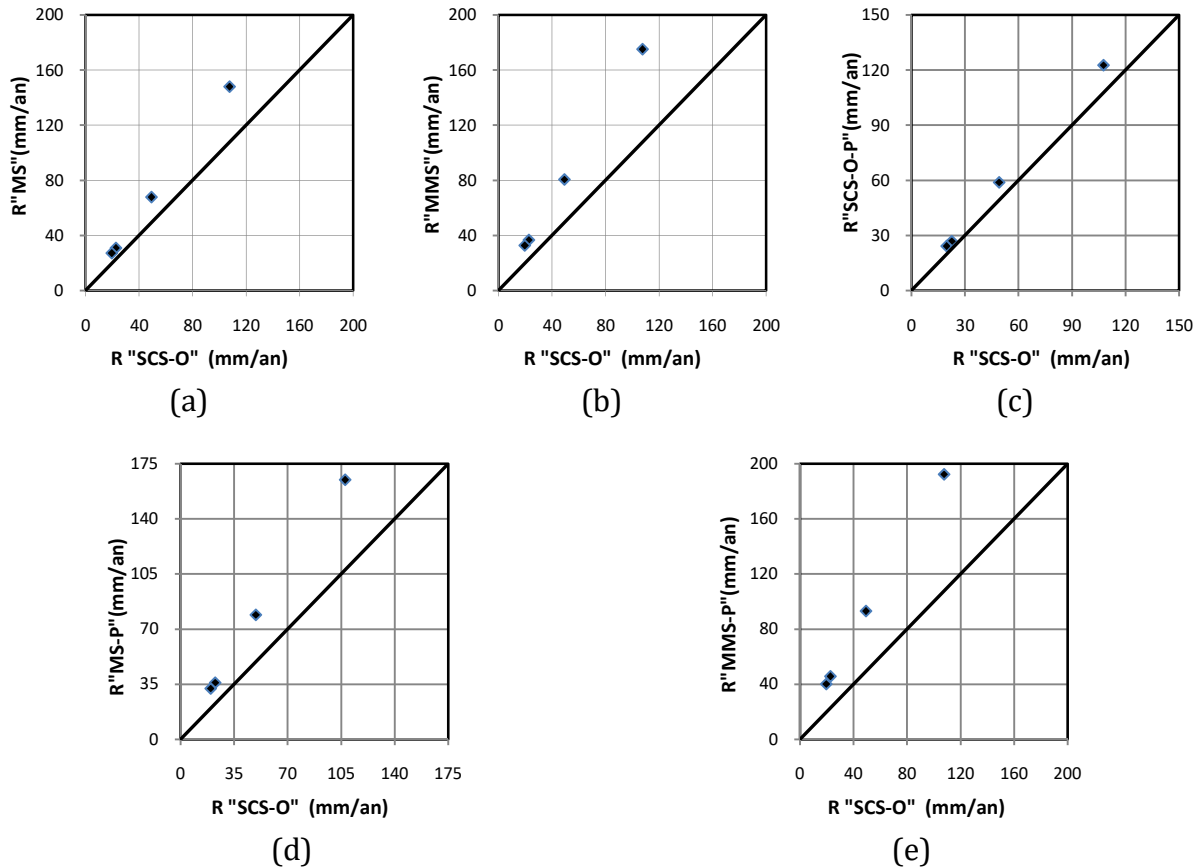


Figure 27 : Comparaison à l'échelle de la wilaya d'Alger entre le ruissellement estimé par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifiées, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS reflètent une surestimation (de 37,39- 37,47%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour de grandes valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS reflètent une surestimation (de 62,73- 65,76 %) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour de grandes valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 14,03- 22,55%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 53,13- 64,05 %) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes

présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 78,79- 103,9 %) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

- Comparaison entre les modèles SCS-CN sans et avec correction topographique

La comparaison entre le ruissellement annuel estimé par les méthodes SCS-CN avec et sans correction topographique conduit aux résultats suivant :

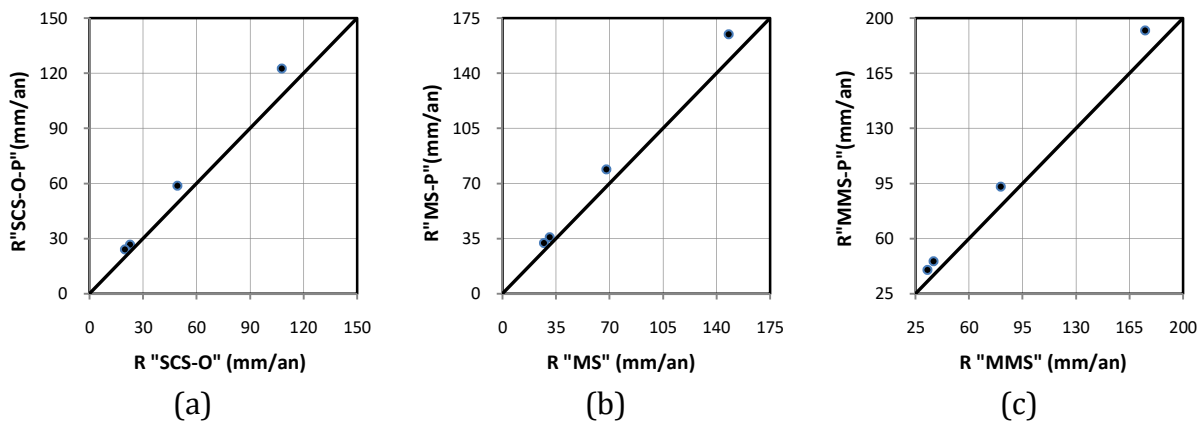


Figure 28 : Comparaison à l'échelle de la wilaya d'Alger entre le ruissellement calculé par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 14,03- 22,55%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode MS, les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 11,38- 19,4%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode MMS, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 30,05- 48,41%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

4.2.1.2 Ruissellement à l'échelle construit de la wilaya d'Alger :

Variation du ruissellement dans le temps :

La variation annuelle de ruissellement à l'échelle construit de la wilaya d'Alger représenté dans la Figure 29 conduit a des résultats suivant :

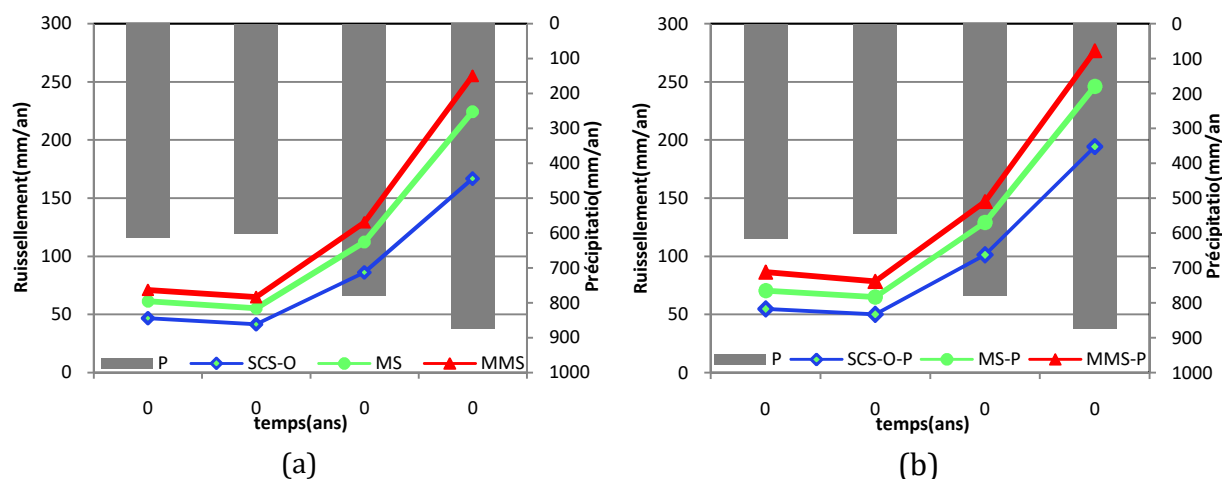


Figure 29 : Variation annuel du ruissellement à l'échelle construit de la wilaya d'Alger estimé par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P.

SCS-O : à l'échelle construit, L'estimation du ruissellement par la méthode SCS-O original a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 41,7 et 166,61(mm/an) durant la période 2009 et 2012 avec une moyenne de 85,23(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

MS : à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MS a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 55,26 et 224,12(mm/an) durant la période 2009 - 2012 sur une moyenne de 113,15(mm/an) . La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

MMS : à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MMS a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 64,72 et 254,93(mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 129,9(mm/an) . La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

SCS-O-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode SCS-O-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 50,1 et 194,44(mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 100,14(mm/an) . La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

MS-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MS-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 65,02 et 246,62(mm/ans) durant la période 2009-2012 avec une moyenne de 127,62(mm/an) . La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

MMS-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MMS-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 78,38 et 276,65(mm/an) respectivement durant la période 2009–2012 avec une moyenne de 147,15(mm/an) . La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

L'analyse globale du ruissellement à l'échelle construit obtenue par les différentes méthodes montre que les valeurs extrêmes du ruissellement minimal et maximal sont enregistrées respectivement durant l'année 2010 et 2012. Cela est en accord avec la tendance des précipitations.

La différence entre le ruissellement calculé par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifié sont assez faible pour un taux de précipitation faible et vice-versa .

Comparaison entre méthode

- Comparaison entre le modèle SCS-CN original et les modèles SCS-CN modifiée :

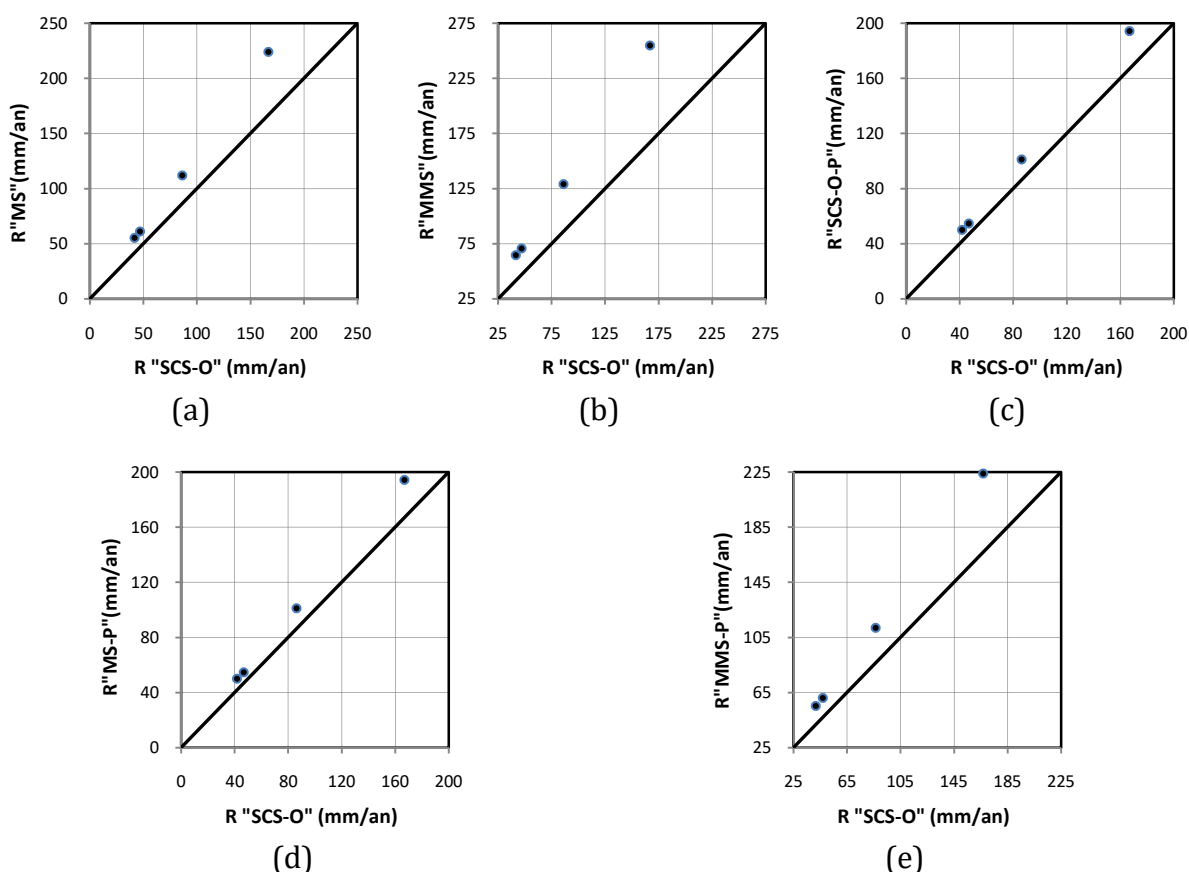


Figure 30 : Comparaison à l'échelle construit entre le ruissellement estimer par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifier, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS reflètent une surestimation (de 33,09- 34,52%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS reflètent une surestimation (de 53,02- 55,88 %) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 16,7- 20,65 %) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 47,67- 56,61%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 66,05- 88,78%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

- Comparaison entre les modèles SCS-CN sans et avec correction topographique.

La comparaison entre le ruissellement annuel estimé par les méthodes SCS-CN avec et sans correction topographique conduit aux résultats suivant :

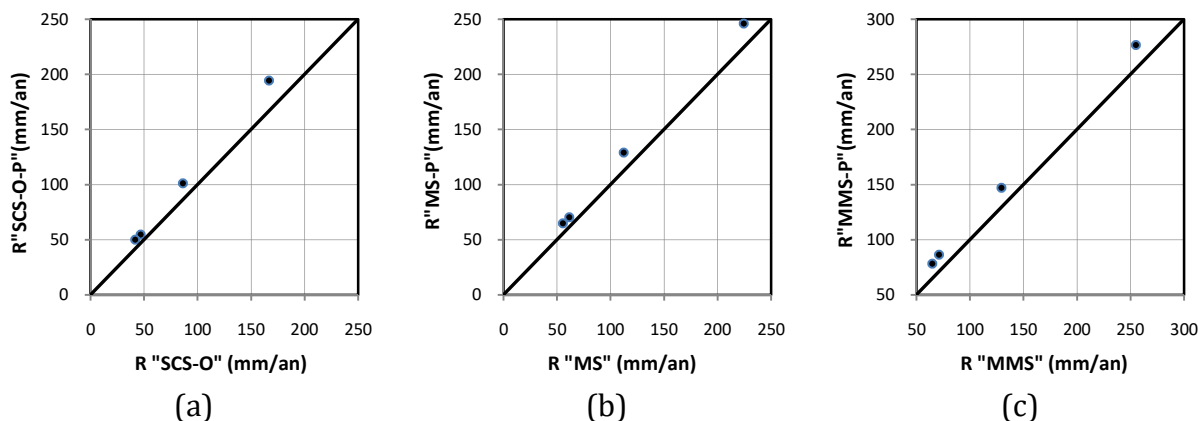


Figure 31 : Comparaison à l'échelle construite entre le ruissellement calculer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 16,7- 20,66%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour de grandes valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode MS, les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 9,77- 17,67%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode MMS, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 8,52- 21,11%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

4.2.1.3 Ruissellement à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger :

Variation du ruissellement dans le temps :

La variation annuelle du ruissellement à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger représenter dans la Figure 32 conduit a des résultats suivant :

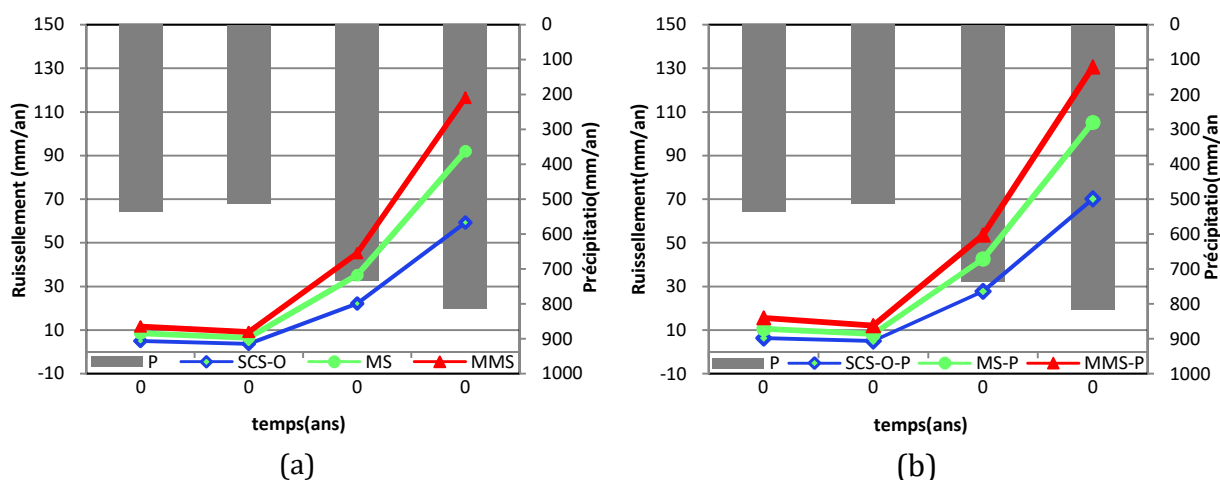


Figure 32 : Variation annuelle du ruissellement à l'échelle non construit estimée par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).

SCS-O : à l'échelle non construit, L'estimation du ruissellement par la méthode SCS-CN original a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 3,65-59,28(mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 22,51(mm/an) . La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

MS : à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MS a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 6,32-91,95(mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 35,48(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

Chapitre 4. Résultats et discussion

MMS : à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MMS a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 9,05-116,43(mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 45,53(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

SCS-O-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode SCS-O-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 5,04-70,14(mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 27,34(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

MS-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MS-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 8,24-105,26(mm/ans) durant la période 2009- 2012 avec une moyenne de 41,65(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2010 ,et celle maximal en 2012 .

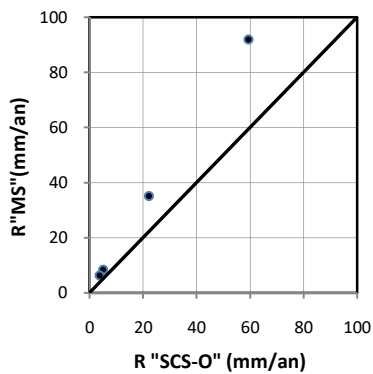
MMS-P: à l'échelle d'Alger, le calcul du ruissellement par la méthode MMS-P a conduit aux valeurs de ruissellement annuel entre 12,04-130,61(mm/an) durant la période 2009-2012 avec une moyenne de 52,94(mm/an). Cela est en accord avec la tendance des précipitations.

L'analyse globale du ruissellement à l'échelle construit obtenue par les différentes méthodes montre que les valeurs extrêmes du ruissellement minimal et maximal sont enregistrées respectivement durant l'année 2010 et 2012. Cela est en accord avec la tendance des précipitations.

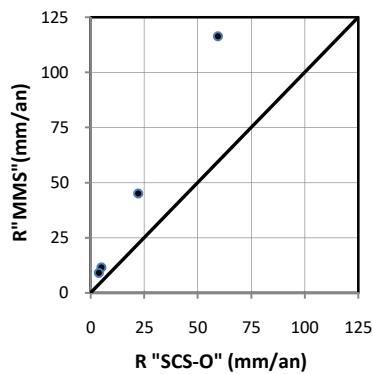
La différence entre le ruissellement calculé par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifié sont assez faible pour un taux de précipitation faible et vice-versa .

Comparaison entre méthode :

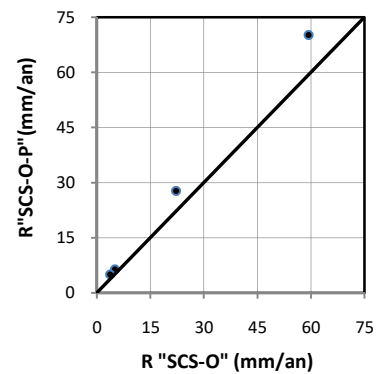
- Comparaison entre le modèle SCS-CN original et les modèles SCS-CN modifiée :



(a)



(b)



(c)

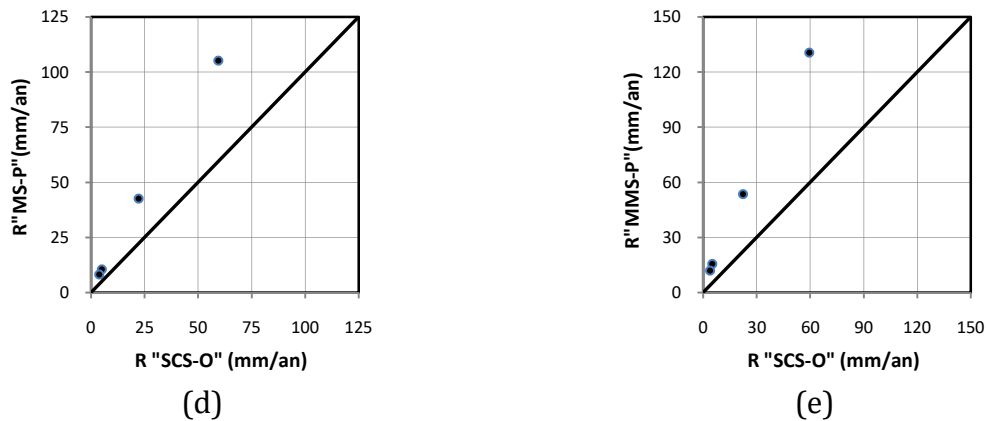


Figure 33 : Comparaison à l'échelle non construite entre le ruissellement estimé par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifier, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS reflètent une surestimation (de 55,1- 73,27%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS reflètent une surestimation (de 96,4- 148,17%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 18,33- 38,16%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 77,55- 125,93%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 120,32- 229,81%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

- Comparaison entre les modèles SCS-CN sans et avec correction topographique

La comparaison entre le ruissellement annuel estimé par les méthodes SCS-CN avec et sans correction topographique conduit aux résultats suivants :

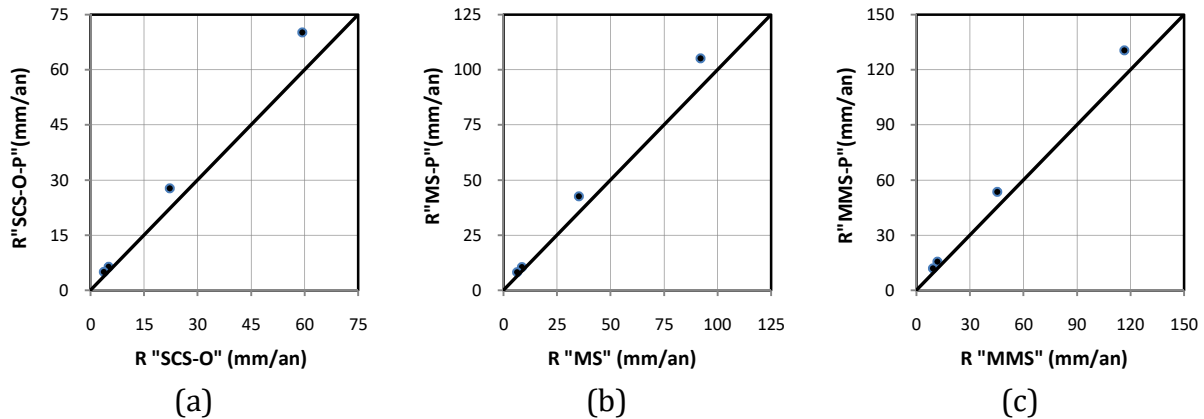


Figure 34 : Comparaison à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger entre le ruissellement calculé par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 18,33- 38,16%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode MS, les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 14,47- 30,39%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

En comparaison avec la méthode MMS, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 12,18- 32,9%) du ruissellement. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs de ruissellement.

4.2.2 Infiltration

4.2.2.1 Infiltration à l'échelle de la wilaya d'Alger :

Variation d'infiltration dans le temps :

La variation annuelle du ruissellement à l'échelle globale de la wilaya d'Alger représenté dans la Figure 35 conduit à des résultats suivants :

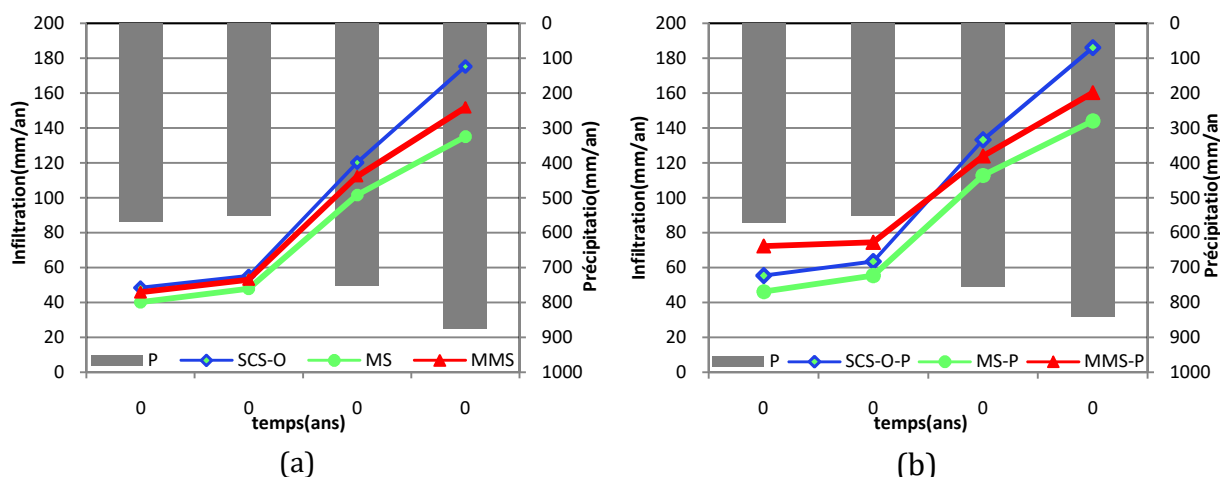


Figure 35 : Variation annuel d'infiltration à l'échelle de la wilaya d'Alger estimé par les méthodes suivantes : (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P.

SCS-O : à l'échelle de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode SCS-O a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 48,31-175,19 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 99,68 (mm/an). La valeur minimale est enregistrée en 2009, et celle maximale en 2012.

MS : à l'échelle de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode MS a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 40,1-134,89 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 81,09 (mm/an). La valeur minimale est enregistrée en 2009, et celle maximale en 2012.

MMS : à l'échelle de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode MMS a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 45,73-151,71 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 90,66 (mm/an). La valeur minimale est enregistrée en 2009, et celle maximale en 2012.

SCS-O-P : à l'échelle de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode SCS-O-P a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 55,37-186,05 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 109,54 (mm/an). La valeur minimale est enregistrée en 2009, et celle maximale en 2012.

MS-P : à l'échelle de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode MS-P a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 46,35-144 (mm/an) durant la période

Chapitre 4. Résultats et discussion

2009 - 2012 avec une moyenne de 89,67 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MMS-P: à l'échelle de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode MMS-P a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 72,37-160,25 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 107,76 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

L'analyse globale de l'infiltration à l'échelle globale de la wilaya d'Alger obtenue par les différentes méthodes montre que l'infiltration maximale est enregistrée durant l'année 2012,. Cela est en accord avec la tendance des précipitations.

L'infiltration minimale est enregistrée durant l'année 2009, car la tendance des infiltrations n'a pas suivie la tendance des pluies cela reflet un comportement dynamique liée au mode de changement de l'humidité du sol.

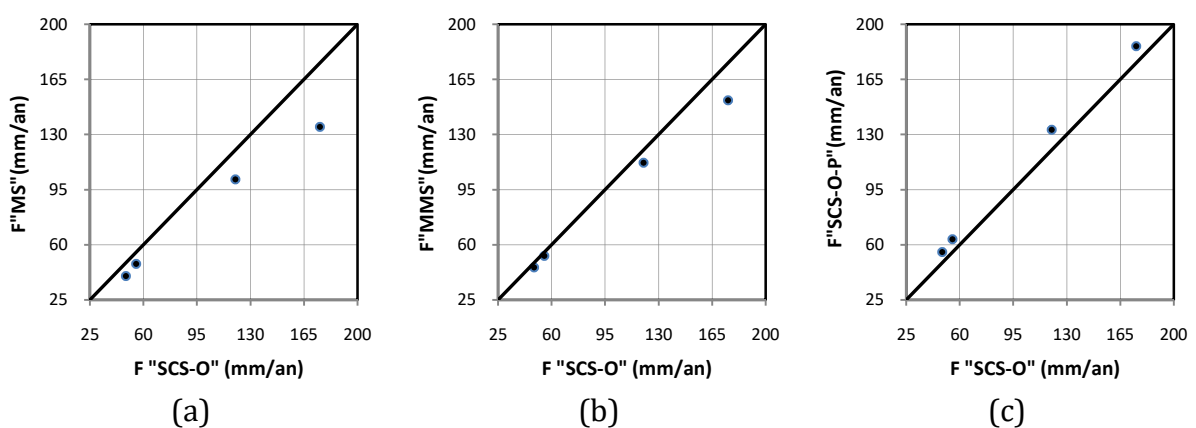
La méthode MMS-P surestime l'infiltration par rapport aux autres méthodes pour un taux de précipitation faible et elle sous-estime pour le cas contraire.

La déférence entre l'infiltration estimée par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifiés sont assez faible pour un taux de précipitation faible et vice-versa .

Comparaison entre méthode :

- Comparaison entre le modèle SCS-CN original et les modèles SCS-CN modifiée

La comparaison entre l'infiltration annuelle estimée par les différentes méthodes conduit aux résultats suivant :



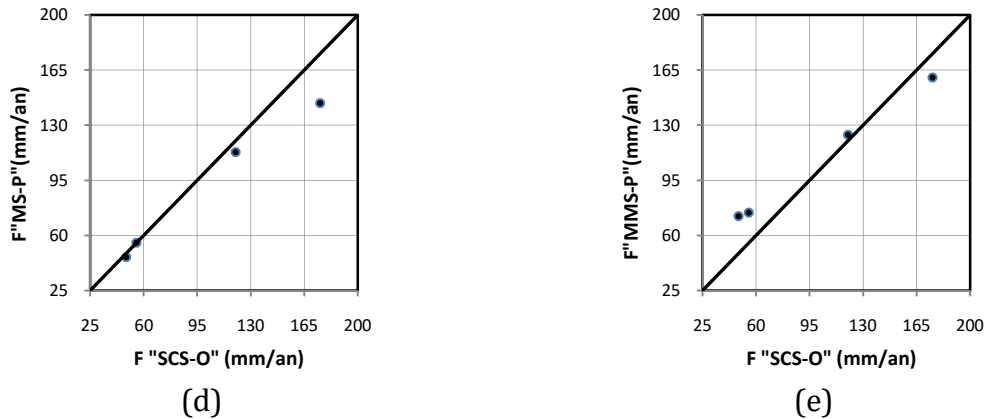


Figure 36 : Comparaison à l'échelle de la wilaya d'Alger entre l'infiltration estimée par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifiées, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS reflètent une sous-estimation (de 17-23%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS reflètent une sous-estimation (de 5,34-13,4%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 6,2-14,6%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge légèrement de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS-P reflètent une sous-estimation (de 4,07-17,8%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation de 49,78% pour des faibles valeurs d'infiltration, et elle sous-estime de 8,53% pour des grandes valeurs d'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grandes et de petites valeurs d'infiltration.

- Comparaison entre les modèles SCS-CN sans et avec correction topographique

La comparaison entre le ruissellement annuel estimé par les méthodes SCS-CN avec et sans correction topographique conduit aux résultats suivants :

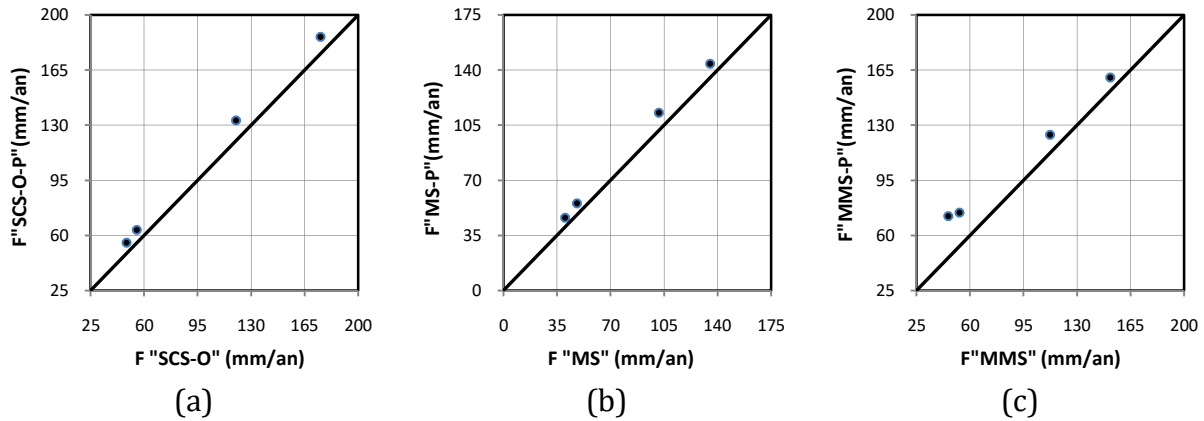


Figure 37 : Comparaison à l'échelle de la wilaya d'Alger entre l'infiltration calculer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 6,2- 14,6%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une très bonne corrélation qui diverge légèrement de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode MS, les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 6,75-15,58%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une très bonne corrélation qui diverge légèrement de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode MMS, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 5,62- 58,24%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des faibles valeurs d'infiltration.

4.2.2.2 Infiltration à l'échelle construit de la wilaya d'Alger :

Variation d'infiltration dans le temps :

La variation annuelle de l'infiltration à l'échelle construit de la wilaya d'Alger représenter dans la Figure 38 conduit a des résultats suivant :

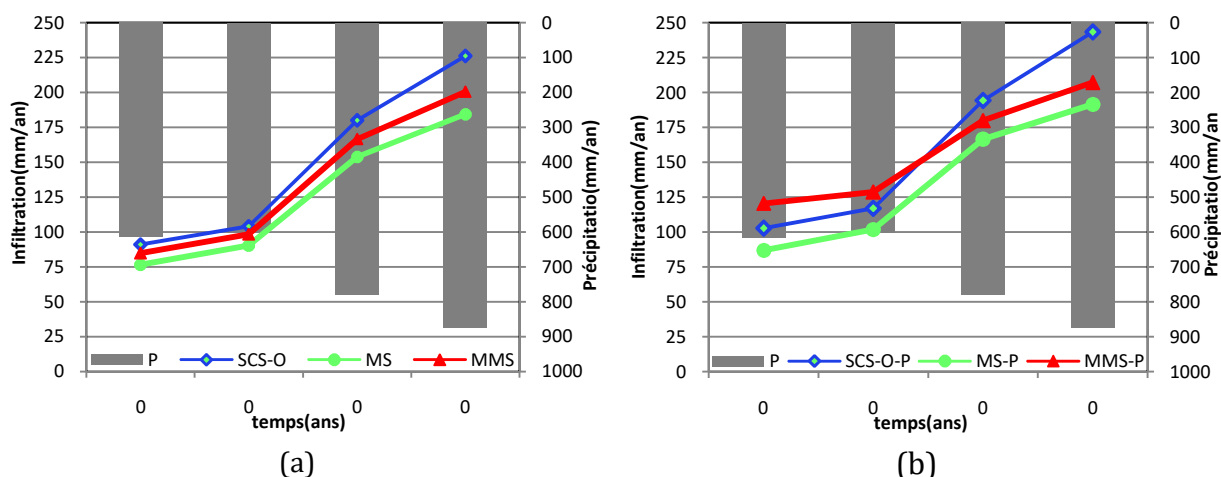


Figure 38 : Variation annuelle d'infiltration à l'échelle construite de la wilaya d'Alger estimée par les méthodes suivantes (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).

SCS-O : à l'échelle construite de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode SCS-O a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 91,06 et 226,01 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 150,25 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MS : à l'échelle construite de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode MS a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 76,52 et 184,29 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 126,26 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MMS : à l'échelle construite de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode MMS a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 84,68 et 200,45 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 137,46 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

SCS-O-P: à l'échelle construite de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode SCS-O-P a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 102,75 et 243,19 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 164,28 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MS-P: à l'échelle construite de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode MS-P a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 87,05 et 191,6 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 136,79 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MMS-P: à l'échelle construite de la wilaya d'Alger, L'estimation d'infiltration par la méthode MMS-P a conduit aux valeurs d'infiltration annuelle entre 120,52 et 207,086 (mm/an) durant la période 2009 - 2012 avec une moyenne de 107,76 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

L'analyse globale de l'infiltration à l'échelle construite de la wilaya d'Alger obtenue par les différentes méthodes montre que l'infiltration maximale est enregistrée durant l'année 2012,. Cela est en accord avec la tendance des précipitations.

L'infiltration minimale est enregistrée durant l'année 2009, car la tendance des infiltrations n'a pas suivie la tendance des pluies cela reflet un comportement dynamique liée au mode de changement de l'humidité du sol.

La méthode MMS-P surestime l'infiltration par rapport aux autres méthodes pour un taux de précipitation faible et elle sous-estime pour le cas contraire.

La différence entre l'infiltration estimée par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifiés sont assez faible pour un taux de précipitation faible et vice-versa .

Comparaison entre méthode

- Comparaison entre le modèle SCS-CN original et les modèles SCS-CN modifiée

La comparaison entre l'infiltration annuelle estimée par les différentes méthodes conduit aux résultats suivant :

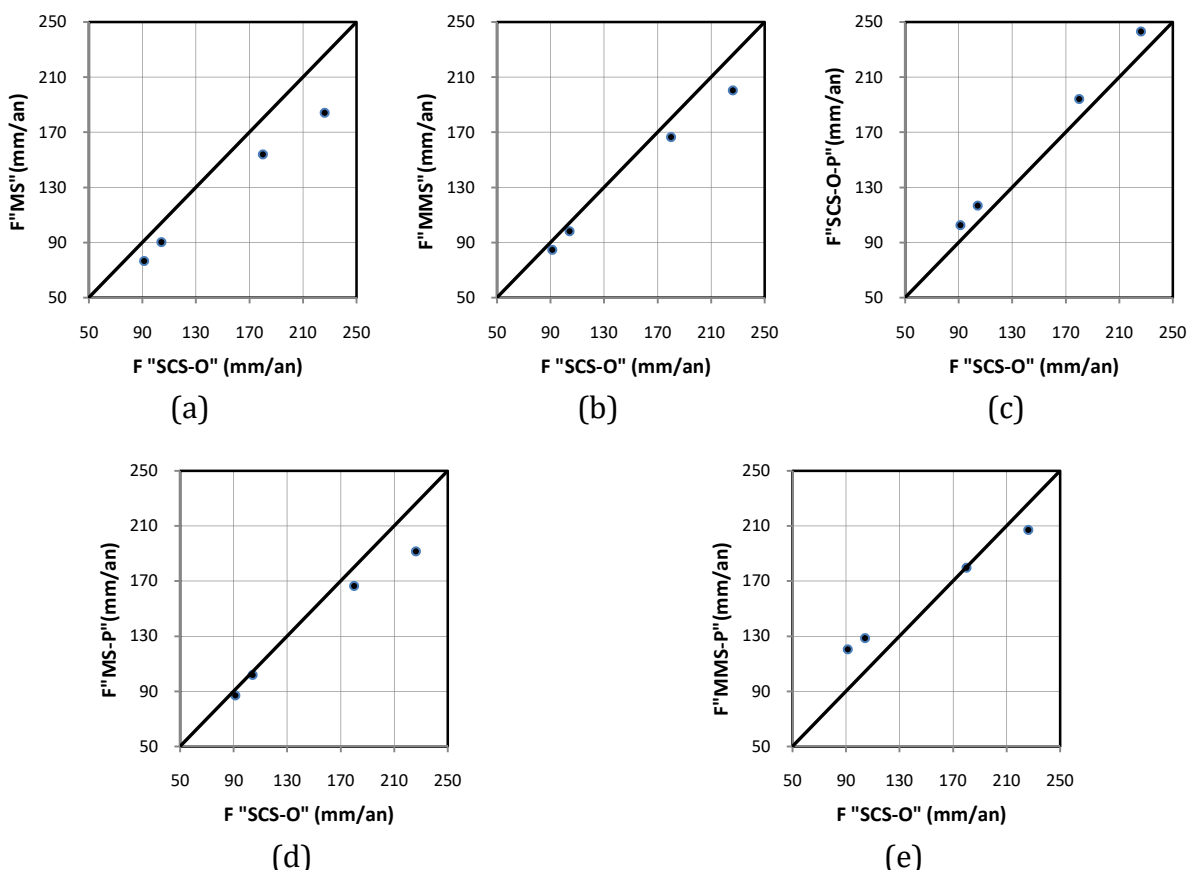


Figure 39 : Comparaison à l'échelle construite de la wilaya d'Alger entre l'infiltration estimer par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifier, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS reflètent une sous-estimation (de 15,96-18,46%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS reflètent une sous-estimation (de 7-11,3%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 7,6-12,8%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge légèrement du droit $x=y$ pour de grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS-P reflètent une sous-estimation (de 4,4-15,22%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation de 32,35% pour des faibles valeurs d'infiltration, et elle sous-estime de 8,37% pour des grandes valeurs d'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands et des petites valeurs d'infiltration.

- Comparaison entre les modèles SCS-CN sans et avec correction topographique

La comparaison entre l'infiltration annuel estimé par les méthodes SCS-CN avec et sans correction topographique conduit aux résultats suivants :

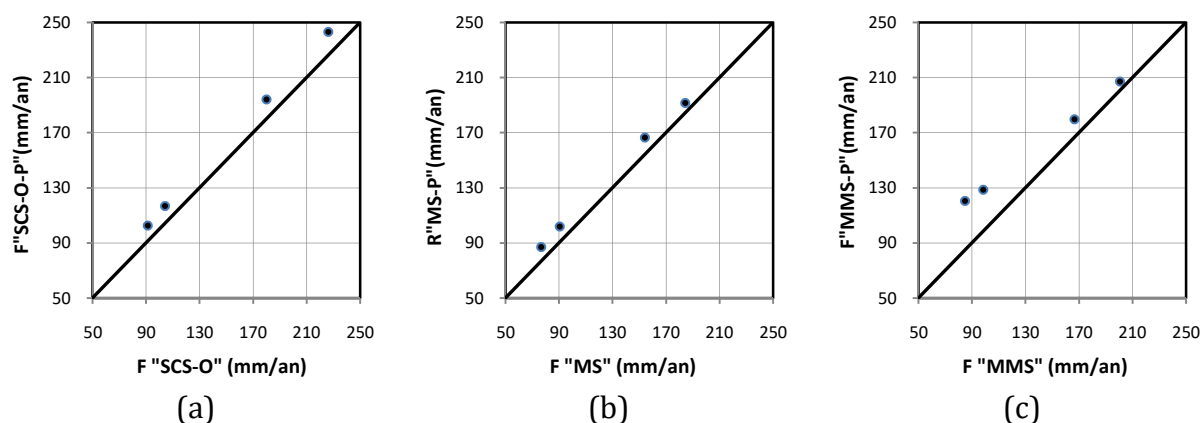


Figure 40 : Comparaison à l'échelle construite de la wilaya d'Alger entre l'infiltration calculée par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 7,6- 12,83%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une très bonne corrélation qui diverge légèrement de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode MS les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 3,96- 13,76%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une très bonne corrélation qui diverge légèrement de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode MMS, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 3,31- 42,31%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des faibles valeurs d'infiltration.

4.2.2.3 Infiltration à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger :

Variation d'infiltration dans le temps :

La variation annuelle de l'infiltration à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger représenté dans la Figure 38 conduit à des résultats suivant :

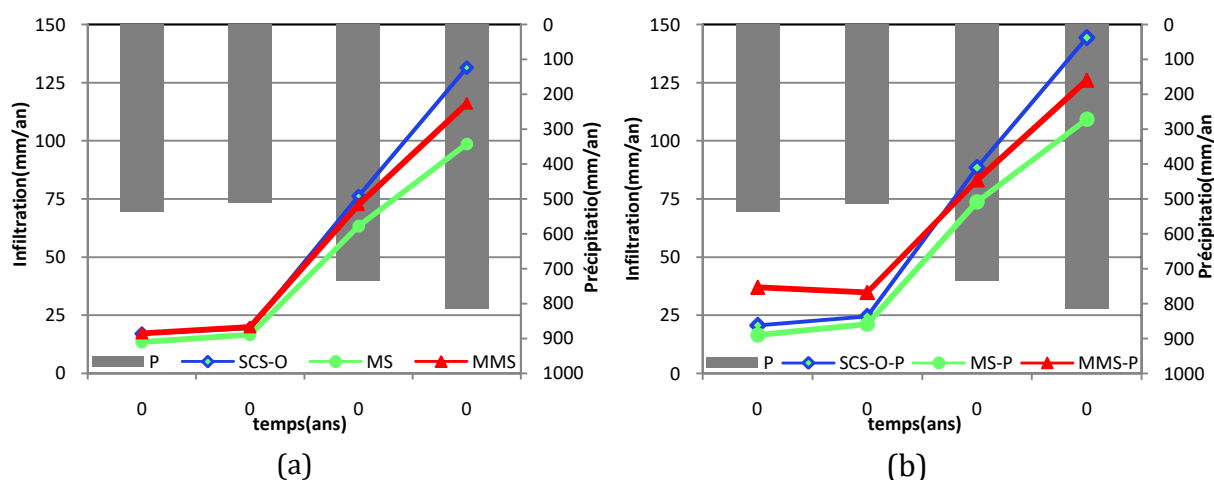


Figure 41 : Variation annuel d'infiltration à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger estimée par les méthodes suivant (a) : (méthode SCS-O, MS et MMS), (b) : méthode SCS-O-P, MS-P et MMS-P).

SCS-O : à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger, l'estimation d'infiltration par la méthode SCS-CN original a conduit à des valeurs d'infiltration annuel entre 16,97 et 131,34 (mm/an) durant la période 2009-2012 avec une moyenne de 60,96(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MS : à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger, l'estimation d'infiltration par la méthode MS a conduit à des valeurs d'infiltration annuel entre 13,39 et 98,67(mm/an)

Chapitre 4. Résultats et discussion

durant la période 2009-2012 avec une moyenne de 47,97(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MMS : à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger, l'estimation d'infiltration par la méthode MMS a conduit à des valeurs d'infiltration annuel entre 17,17 et 115,98(mm/an) durant la période 2009-2012 avec une moyenne de 56,36(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

SCS-O-P: à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger, l'estimation d'infiltration par la méthode SCS-O-P a conduit à des valeurs d'infiltration annuel entre 20,64 et 144,27 (mm/an) durant la période 2009-2012 avec une moyenne de 69,47(mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MS-P: à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger, l'estimation d'infiltration par la méthode MS-P a conduit à des valeurs d'infiltration annuel entre 16,49 et 109,22(mm/an) durant la période 2009-2012 avec une moyenne de 55,18 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

MMS-P: à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger, l'estimation d'infiltration par la méthode MMS-P a conduit à des valeurs d'infiltration annuel entre 34,07 et 125,99 (mm/an) durant la période 2009-2012 avec une moyenne de 70,25 (mm/an). La valeur minimal est enregistré en 2009 ,et celle maximal en 2012 .

L'analyse globale de l'infiltration à l'échelle construit de la wilaya d'Alger obtenue par les différentes méthodes montre que l'infiltration maximale est enregistrée durant l'année 2012. Cela est en accord avec la tendance des précipitations.

L'infiltration minimale est enregistrée durant l'année 2009, car la tendance des infiltrations n'a pas suivie la tendance des pluies cela reflet un comportement dynamique liée au mode de changement de l'humidité du sol. Particulièrement pour la méthode MMS-P l'infiltration minimale est enregistrée durant l'année 2010. Cela est en accord avec la tendance des précipitations.

La méthode MMS-P surestime l'infiltration par rapport aux autres méthodes pour un taux de précipitation faible et elle sous-estime pour le cas contraire.

La déférence entre l'infiltration estimée par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifiés sont assez faible pour un taux de précipitation faible et vice-versa .

Particulièrement pour la méthode MMS-P l'infiltration minimale est enregistrée durant l'année 2010 à cause des faibles précipitations enregistrées dans cette année.

Comparaison entre méthode :

- Comparaison entre le modèle SCS-CN original et les modèles SCS-CN modifiée

Chapitre 4. Résultats et discussion

La comparaison entre l'infiltration annuelle estimée par les différentes méthodes conduit à des résultats suivant :

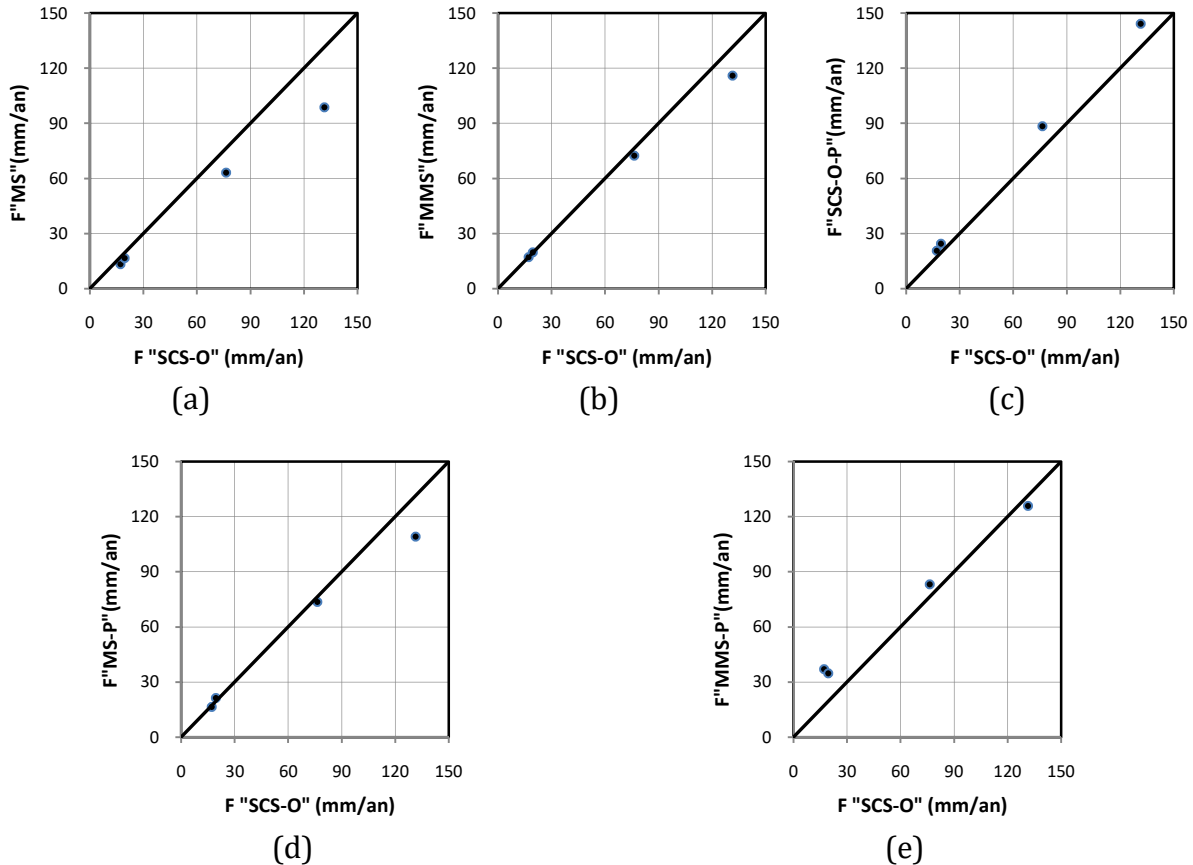


Figure 42 : Comparaison à l'échelle non construit de la wilaya d'Alger entre l'infiltration estimée par la méthode SCS-CN original et les méthodes SCS-CN modifiée, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS, (b) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS, (c) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (d) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MS-P, (e) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS reflètent une sous-estimation (de 21,08-24,87%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS reflètent une surestimation de 1,15% pour des faibles valeurs d'infiltration, et elle sous-estime de 11,69% pour des grandes valeurs d'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 9,84-21,62%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes

présentent une bonne corrélation qui diverge légèrement de la droite $x=y$ pour de grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MS-P reflètent une sous-estimation (de 2,81-16,84%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation de 105% pour des faibles valeurs d'infiltration, et elle sous-estime de 4,07% pour des grandes valeurs d'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des grands et des petits valeurs d'infiltration.

- Comparaison entre les modèles SCS-CN sans et avec correction topographique

La comparaison entre l'infiltration annuel estimé par les méthodes SCS-CN avec et sans correction topographique conduit aux résultats suivants :

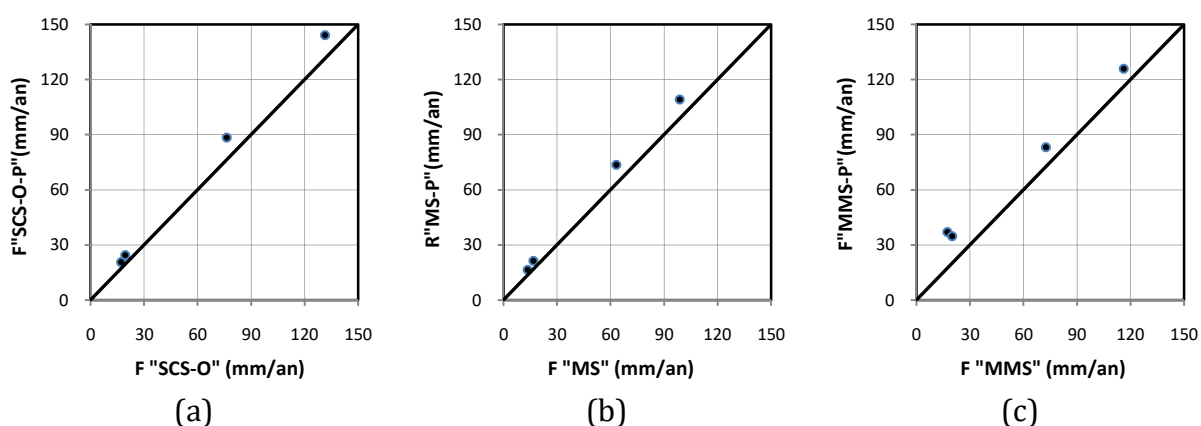


Figure 43 : Comparaison à l'échelle non construite de la wilaya d'Alger entre l'infiltration calculée par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique, (a) : comparaison entre la méthode SCS-O et la méthode SCS-O-P, (b) : comparaison entre la méthode MS et la méthode MS-P, (c) : comparaison entre la méthode MMS et la méthode MMS-P.

En comparaison avec la méthode SCS-O, les résultats de la méthode SCS-O-P reflètent une surestimation (de 9,84- 21,62%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une très bonne corrélation qui diverge légèrement de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode MS, les résultats de la méthode MS-P reflètent une surestimation (de 10,68- 23,16%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une très bonne corrélation qui diverge légèrement de la droite $x=y$ pour des grandes valeurs d'infiltration.

En comparaison avec la méthode MMS, les résultats de la méthode MMS-P reflètent une surestimation (de 8,63- 102,66%) de l'infiltration. Les estimations des deux méthodes présentent une bonne corrélation qui diverge de la droite $x=y$ pour des faibles valeurs d'infiltration.

4.3 Comparaison entre les résultats obtenus à différentes échelles

Pour observer l'impact de l'urbanisation sur le bilan hydrique on doit faire une comparaison entre le bilan hydrique estimé à l'échelle construit et non construit de la wilaya d'Alger

4.3.1 Ruissellement :

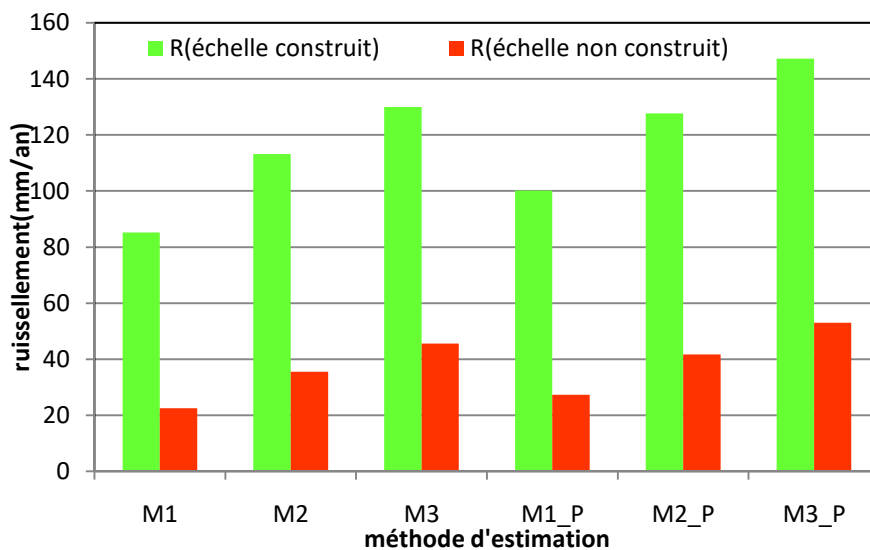


Figure 44: Ruissellement annuel à l'échelle construit et non construit estimé par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique.

Les résultats représentés dans la Figure 44 montrent une tendance entre le ruissellement estimé par les méthodes SCS-CN et que cette tendance n'est pas changée avec la correction topographique.

Le ruissellement estimé à l'échelle construit est jusqu'à trois fois plus grand que le ruissellement estimé à l'échelle non construit, cette différence provient essentiellement à cause de l'imperméabilisation de la surface, cela montre l'impact majeur causé par le phénomène d'urbanisation sur le bilan hydrique.

4.3.2 Infiltration :

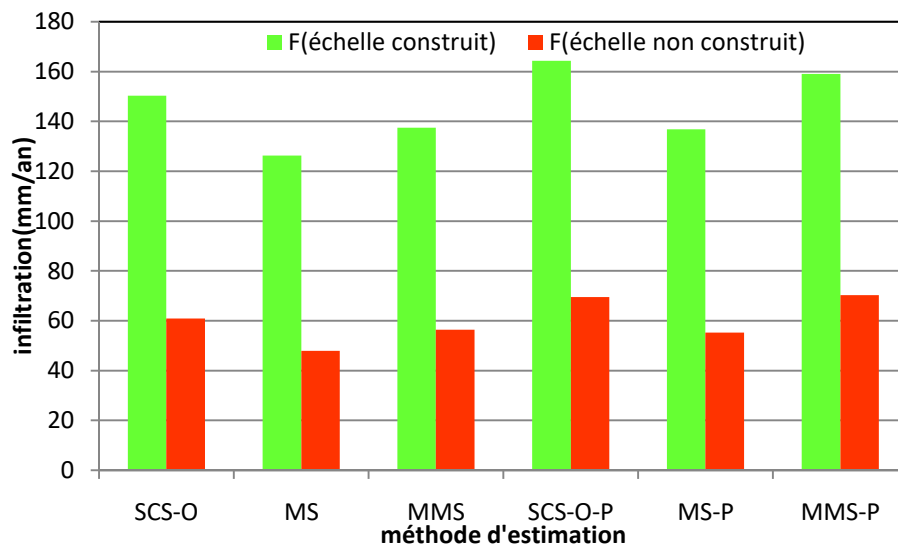


Figure 45: Infiltration annuel à l'échelle construit et non construit estimer par les méthodes SCS-CN sans et avec correction topographique.

Selon les résultats représentés dans la Figure 45, l'infiltration estimée à l'échelle construite est plus grande que l'infiltration estimée à l'échelle non construite, ce qui peut sembler illogique ; l'infiltration est normalement conditionnée par l'état de surface c'est-à-dire l'infiltration devrait peut-être être augmentée quand la surface devient perméable, et vice-versa.

Ce comportement est lié à l'hypothèse fondamentale (12) (

Figure 5). La proportionnalité montre que le ruissellement est directement proportionnel à l'infiltration.

Cependant, il est possible d'observer un comportement pareil si l'on considère que l'urbanisation favorise également la formation d'étangs qui ont tendance à augmenter l'infiltration.

4.4 Distribution spatiale:

4.4.1 Précipitation :

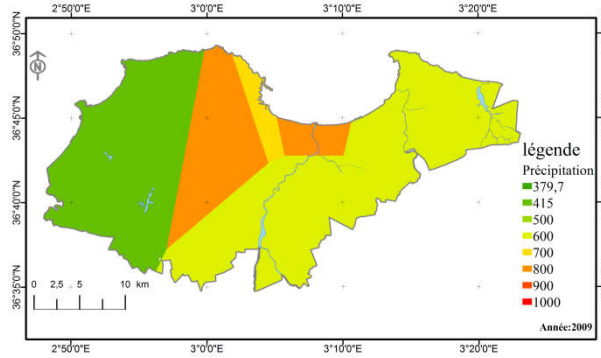


Figure 46: Carte de distribution spatiale des précipitations annuelles (année 2009).

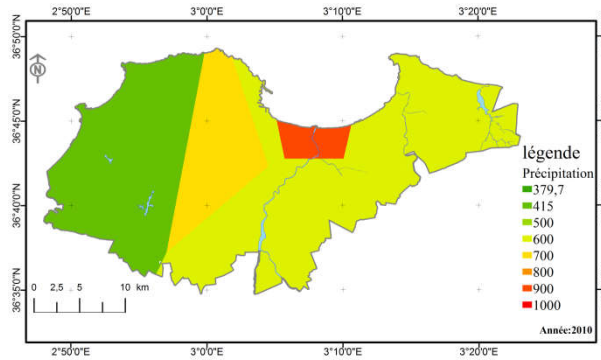


Figure 47: Carte de distribution spatiale des précipitations annuelles (année 2010).

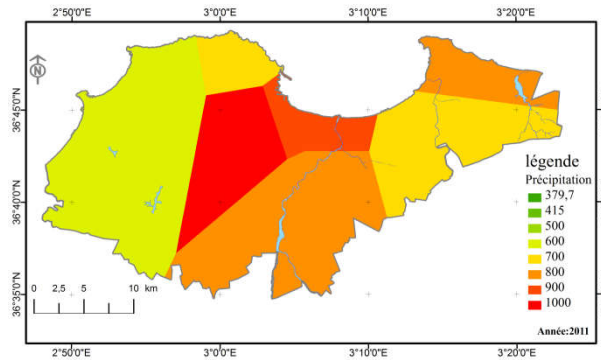


Figure 48: Carte de distribution spatiale des précipitations annuelles (année 2011).

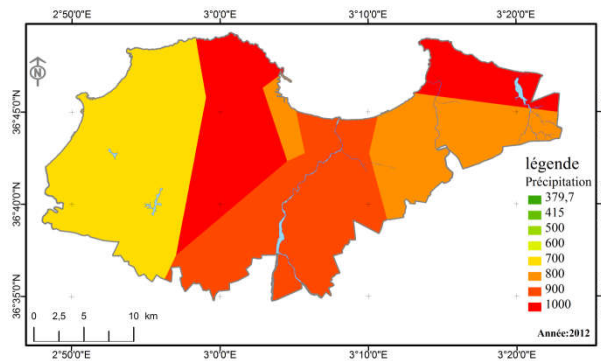


Figure 49: Carte de distribution spatiale des précipitations annuelles (année 2011).

La distribution spatiale des précipitations annuel montre une variation dans le temps et dans l'espace, telle que on observe l'année 2012 est la plus pluvieux et que l'année 2010 le moine pluvieux et on observe aussi que la station pluviométrique « pépinière d'Alger» donne toujours des enregistrements faible par rapport à d'autre station.

4.4.2 Ruissellement

L'analyse des distributions spatiale de ruissellement annuel calculer par les différentes méthodes indique un changement important dans le temps et un faible changement entre le ruissellement annuel estimé par les différent méthodes, aspect est confirmer même par les bilans.

On observe un ruissellement annuel important à l'échelle de la wilaya d'Alger durant l'année 2012(année avec un volume de précipitation important) et un ruissellement annuel faible durant l'année 2010(année avec un volume de précipitation faible).

Il est possible également d'observe une grande différence entre le ruissellement annuel estimer à la zone couverte par les polygones de Thiessen correspond aux pluviomètres « pépinière d'Alger » et « port d'Alger » et le reste de la zone d'étude, cette différence peut être attribuer à la grande différence entre les valeurs de précipitation enregistrés dans ces pluviomètres et les autres pluviomètres or les précipitations moyenne annuel enregistré à la station « pépinière d'Alger » est 414,8(mm/an) et les précipitations enregistré à la station « port d'Alger » est de 856,275(mm/an).

En peu observe aussi que les plus grandes valeurs de ruissellement sont enregistrées à l'échelle urbaine de la wilaya d'Alger, cela montre l'impact du phénomène d'urbanisation sur le bilan hydrologique.

4.4.3 L'infiltration :

Les tendances similaires ont été remarqué sur la distribution spatiale de l'infiltration juste pour la dernière observation nous avons un volume d'infiltration estimer à l'échelle construit est plus grand que le l'infiltration estimer à l'échelle non construit, ce qui n'est pas logique.

En ce qui concerne la distribution spatiale de l'infiltration, la tendance obtenue par les différentes méthodes et pour les différentes années ressemble à celle observée avec le ruissellement. De plus, tous les méthodes utilisées on aboutie à des valeurs d'infiltration plus grand dans les zones urbain que celle dans les zones non construit :aspect déjà souligné dans la section(4.3.2).

Ruissellement

légende

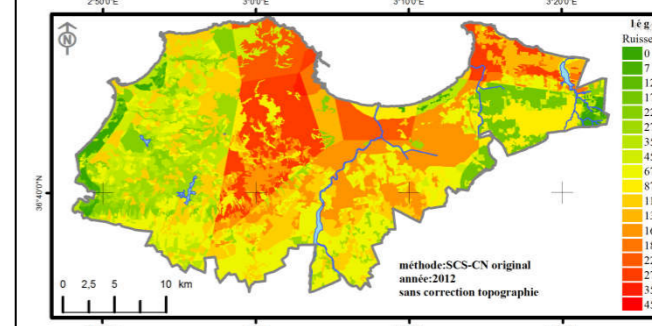
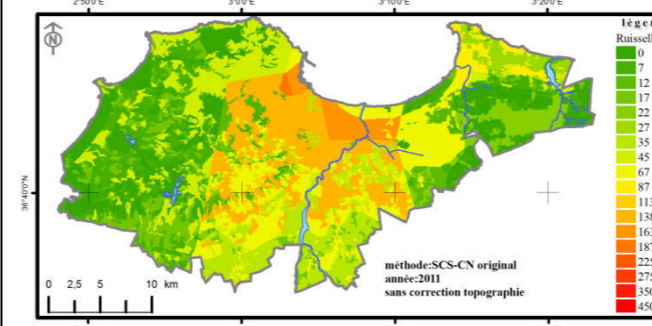
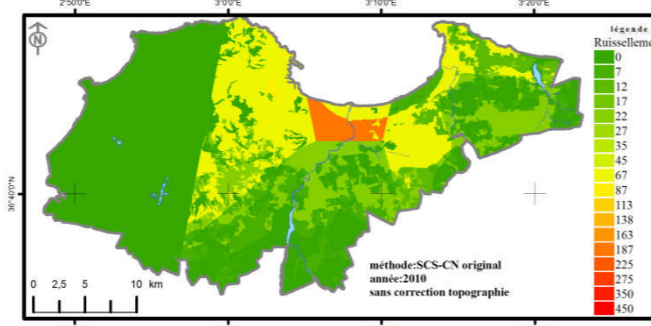
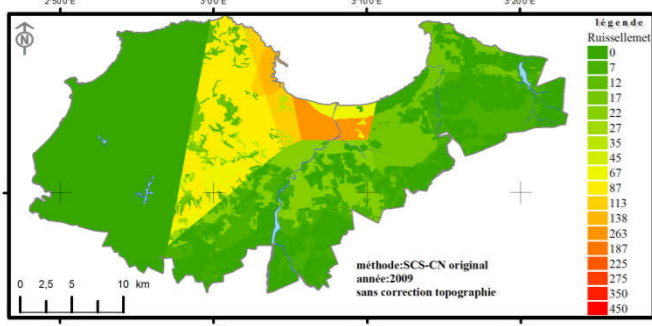
2009

2010

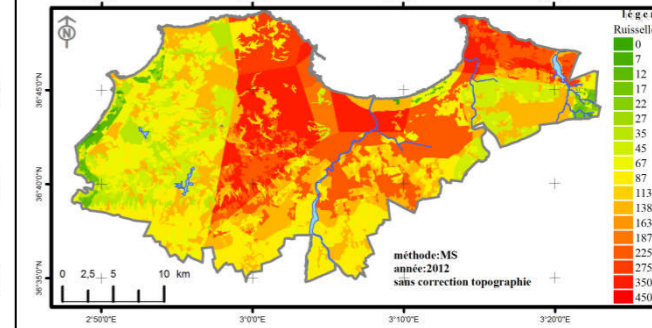
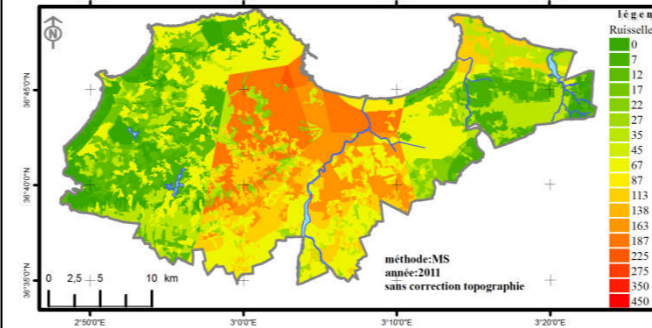
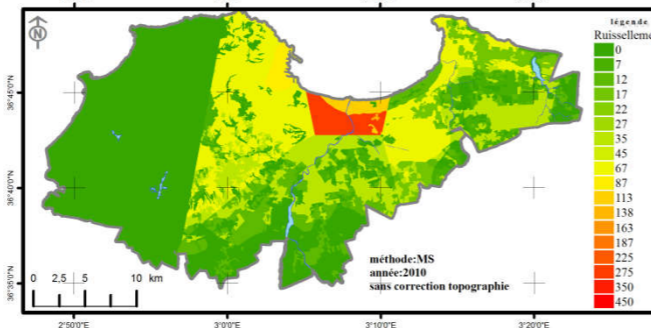
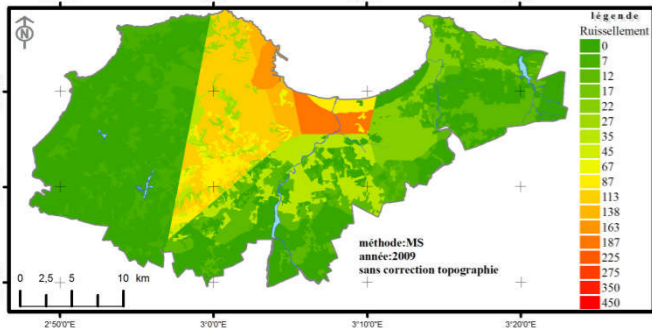
2011

2012

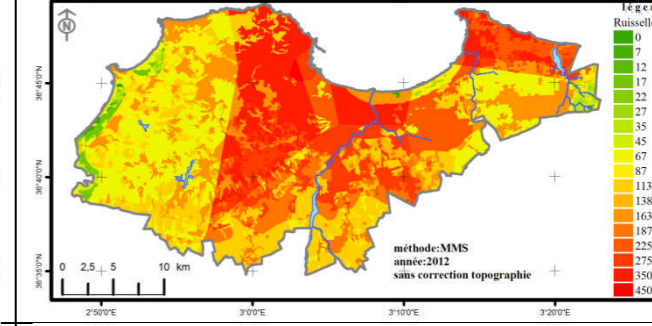
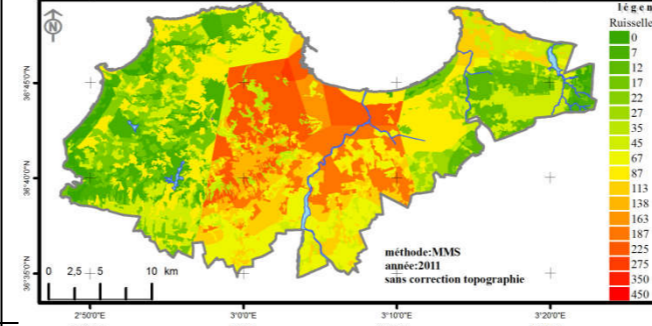
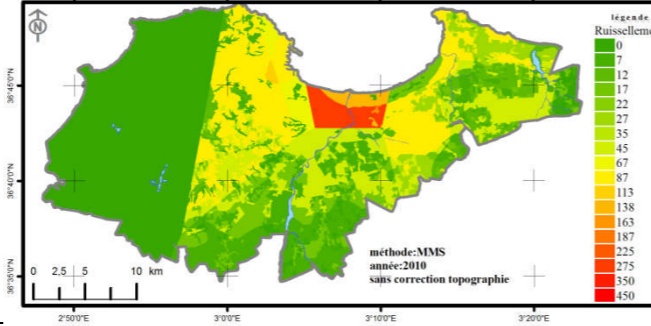
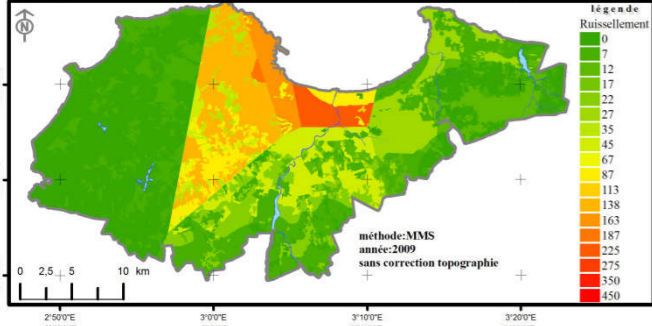
SCS_0



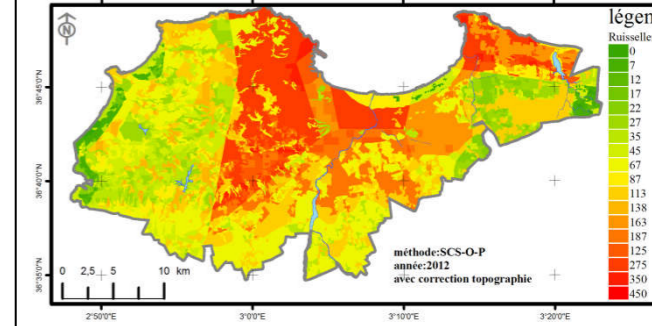
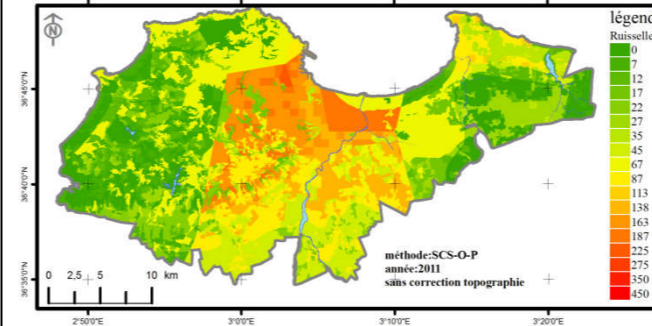
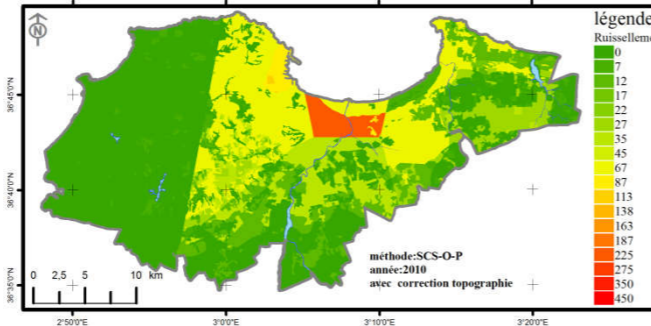
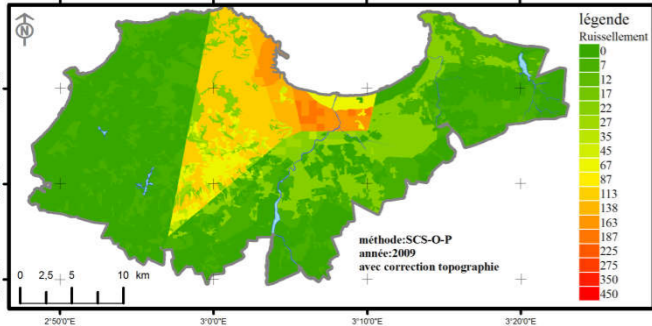
MS



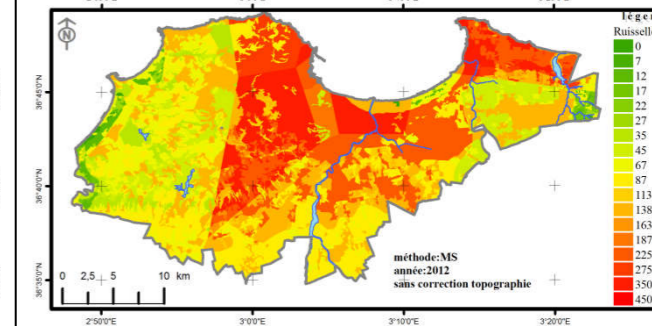
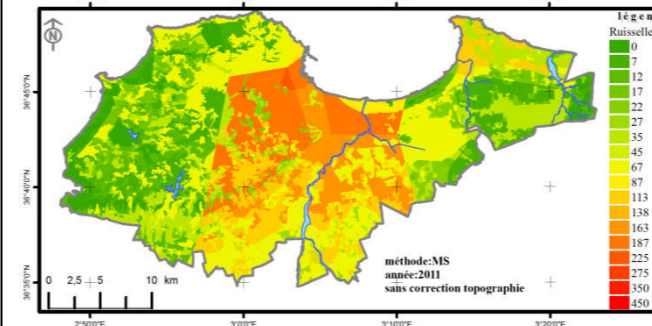
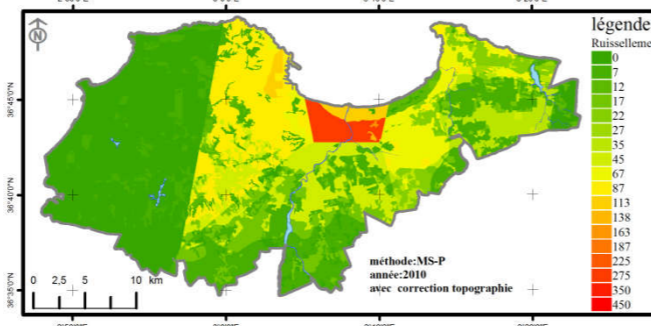
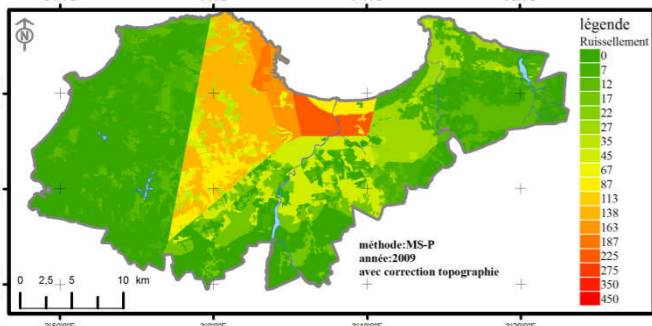
MMS



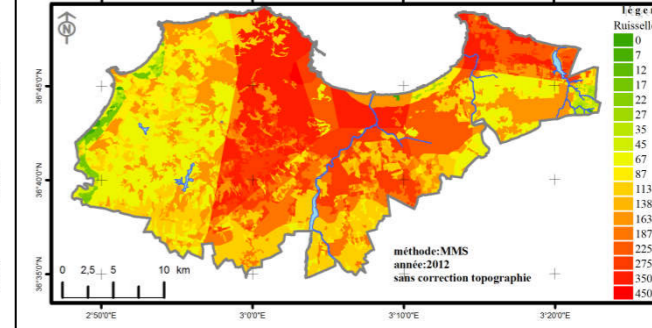
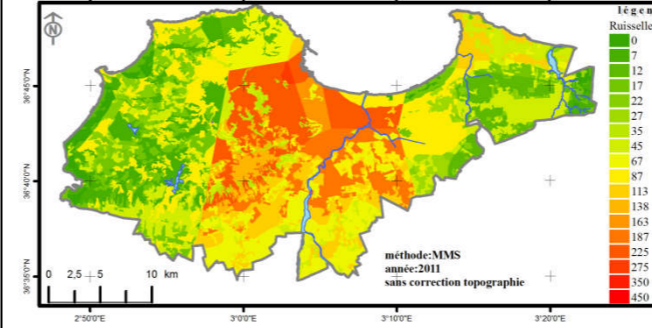
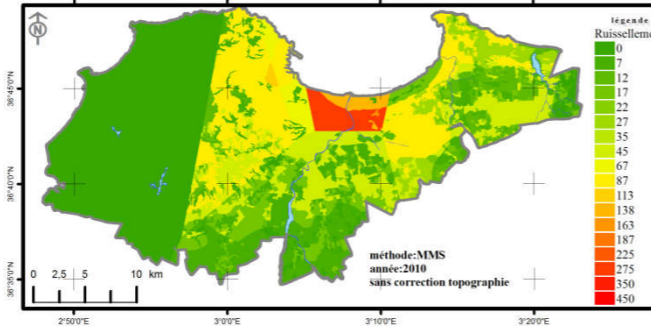
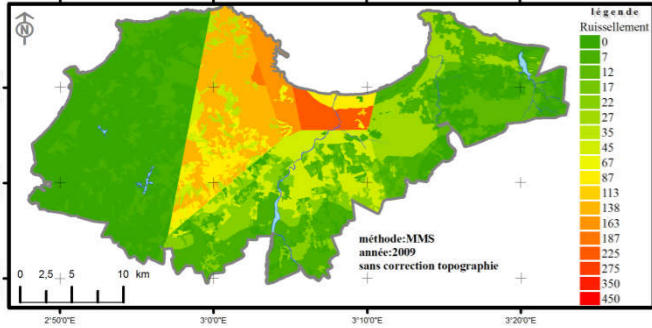
SCS-O-P



MS-P



MMS-P



ruissellement
($\frac{mm}{an}$)



infiltration

2009

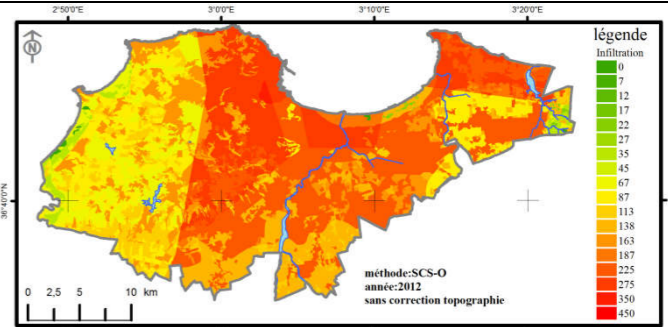
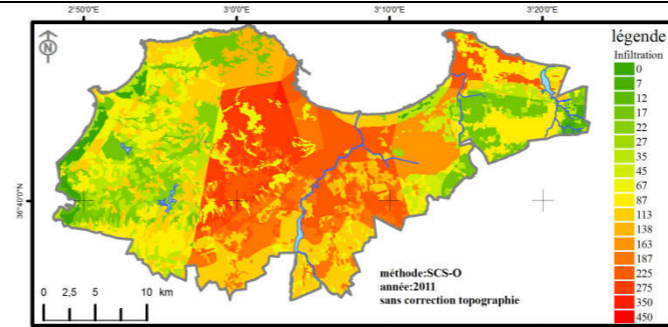
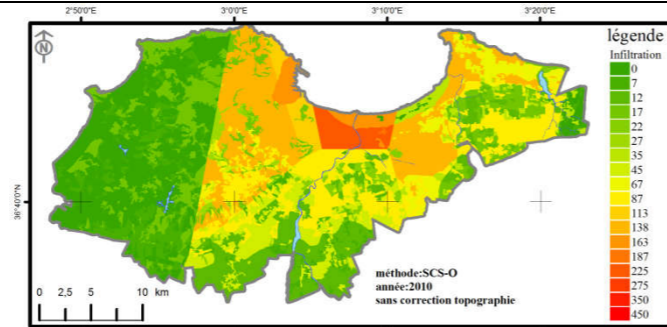
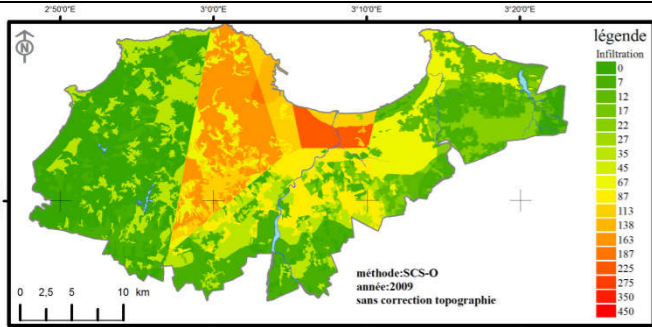
2010

2011

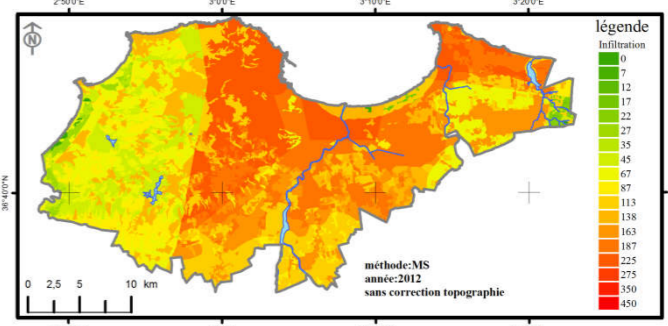
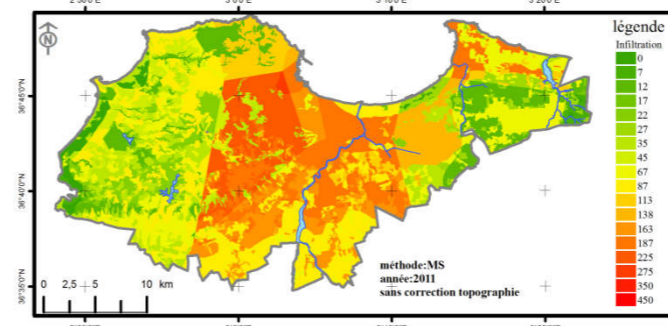
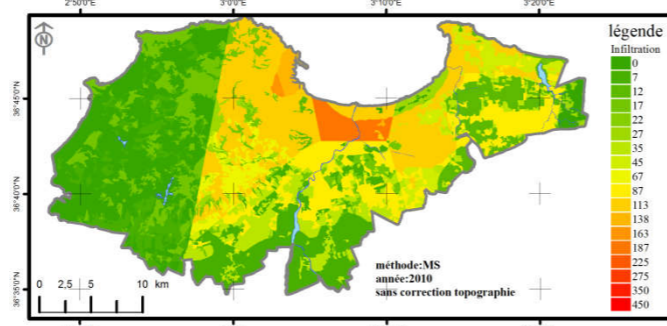
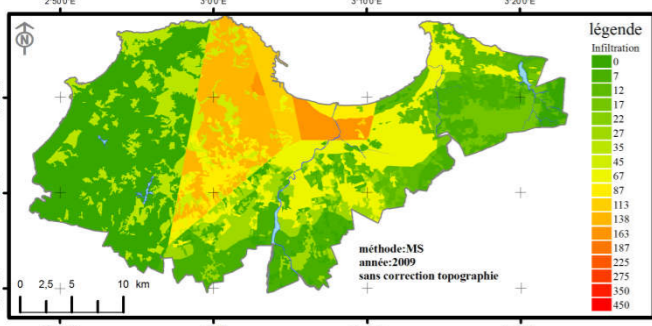
2012

légende

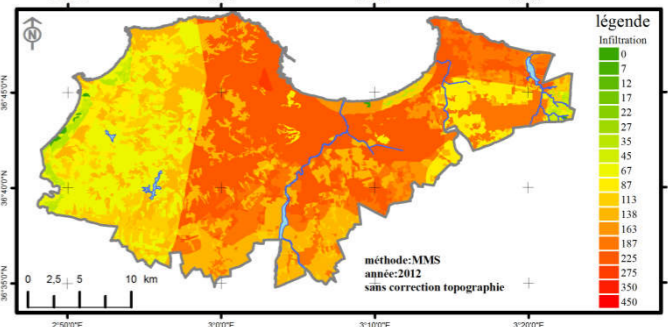
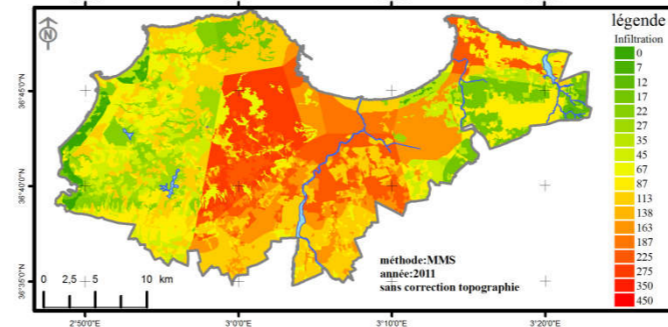
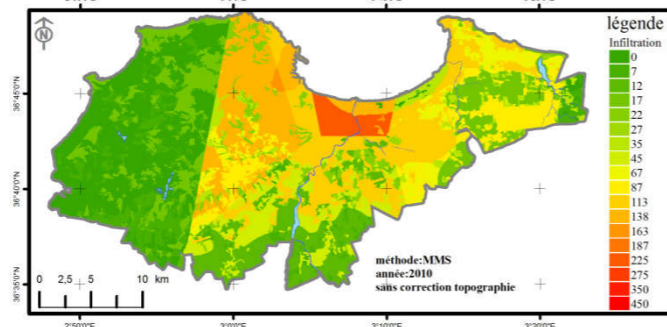
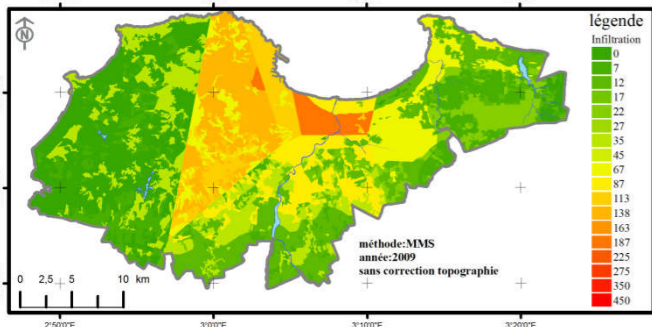
SCS_O



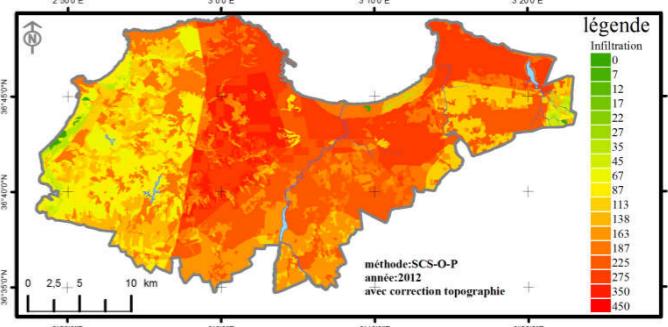
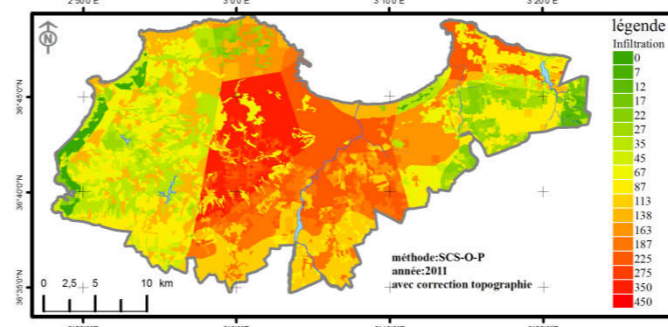
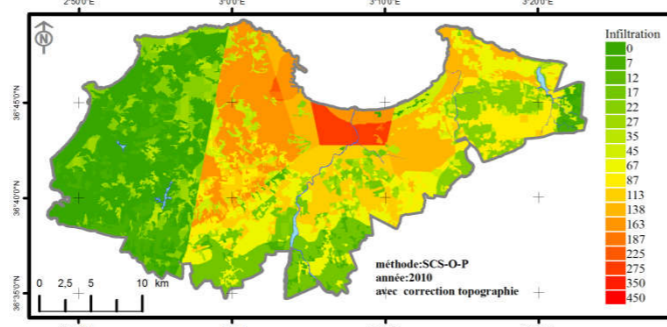
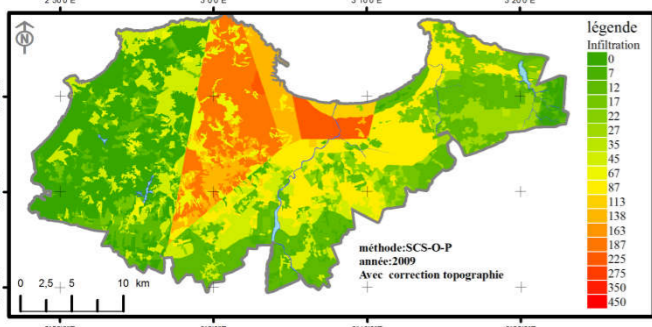
MS



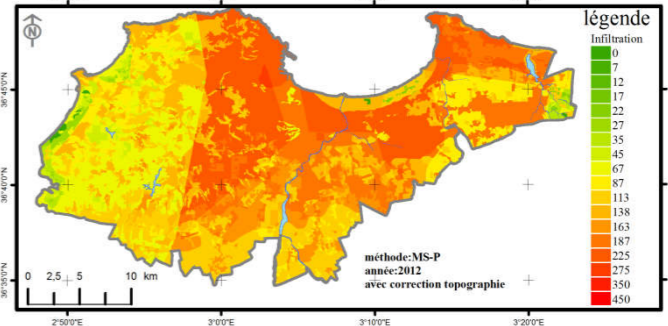
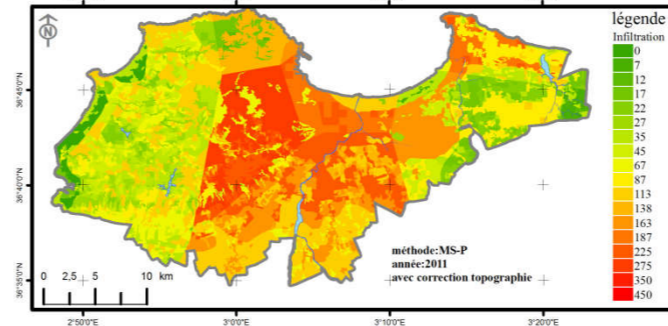
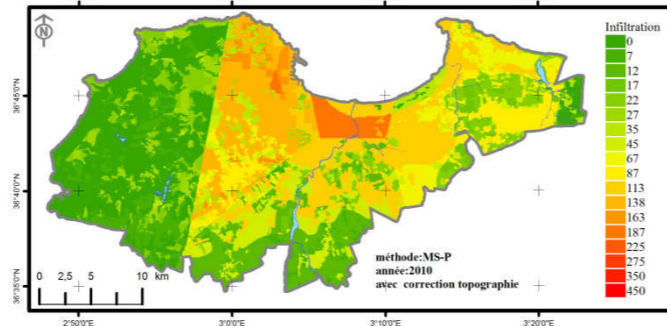
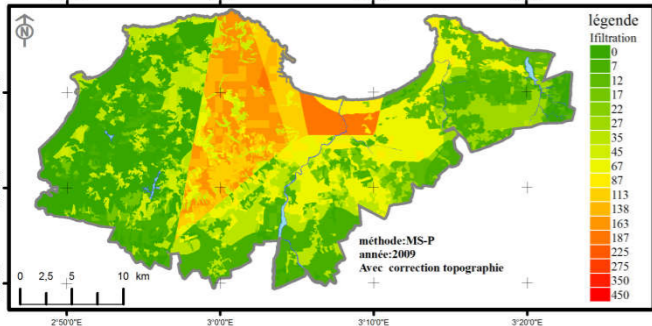
MMS



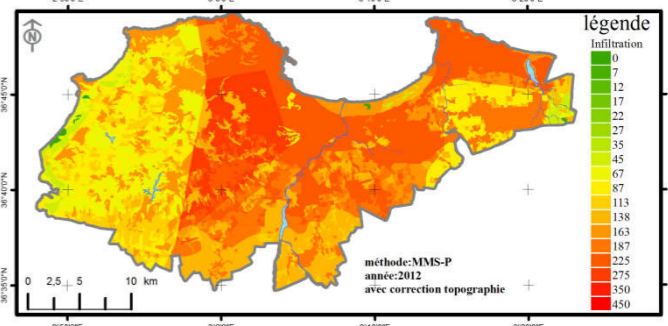
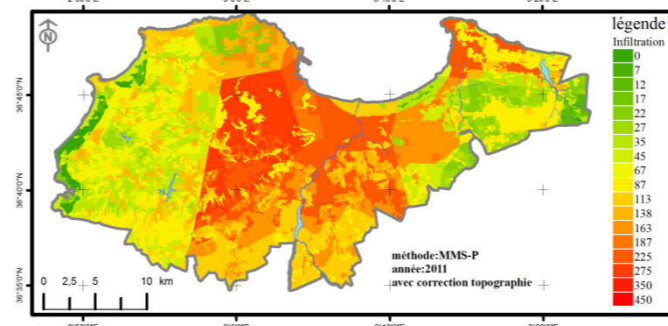
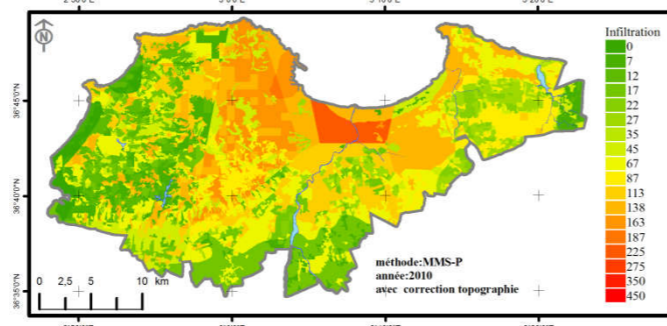
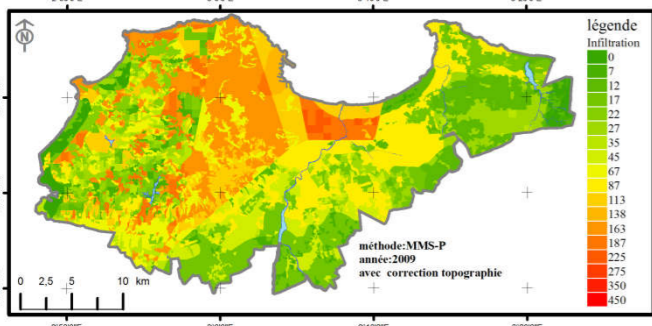
SCS-O-P



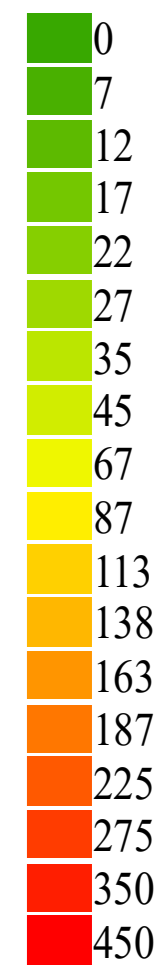
MS-P



MMS-P



infiltration
($\frac{mm}{an}$)



Conclusion général

Conclusion générale:

L'étude enfance donne une évaluation de la variabilité spatiale et temporelle des bilans hydrologiques de la wilaya d'Alger dans le but de souligner le potentiel impact de l'urbanisation et des changements des conditions climatiques sur ces bilans. Pour ce faire des composantes (infiltration et ruissèlement) du bilan hydrologique sont estimées en utilisant le modèle SCS-CN et cinq autres versions modifiées de ce model. Les résultats obtenus sont utilisés pour réaliser deux analyses comparatives:

- Analyse spatiale et temporelle en utilisant la couverture de terrain (construit et non-construit) comme critère de comparaison;
- Analyse être résultats des différentes méthodes utilisées.

Concernant l'impacte de l'urbanisation, nous avons trouvé que le ruissèlement à l'échelle construite est jusqu'a trois fois plus grand que le ruissèlement estimer à l'échelle non-construite. Cette différence peut être liée à l'imperméabilisation des terrains due à l'urbanisation.

En terme d'infiltration, le modèle SCS-CN ainsi que les versions modifiées utilisées donnent des valeurs d'infiltration dans les zones construites plus grandes que les celles en zones non-construites, ce que peut être vue comme illogique. Ce comportement est dû à la conception du modèle SCS-CN dans laquelle l'infiltration est définie comme étant directement proportionnelle au ruissèlement.

La comparaison entre les modèles de calcul indique des différences entre les résultats des composantes du bilan hydrique variant entre -27%(sous-estimation) et +229%(surestimation) en prenant la méthode SCS-CN originale comme référence. Similairement, la correction topographique, la comparaison entre les modèles de calcul indique des différences entre les résultats des composantes du bilan hydrique allons jusque +102%(surestimation) en prenant les méthodes SCS-CN sans correction topographique comme référence.

Finalement cette étude souligne l'intérêt d'une modélisation hydrologique distribuée (dans l'espace et dans le temps) pour estimer l'impact de l'évolution de l'urbanisation et des changements climatiques sur le bilan hydrologique d'un bassin versant

Bibliographie

André M Hydrologie Générale [Livre]. - Lausanne : Laboratoire d'Hydrologie et <Aménagements, 2005.

ANIREF Rubrique Monographie Wilaya d'Alger [Livre]. - alger : ANIREF, 2011.

Ansari T.A, Katpatal Y.B et Vasudeo A. D Spatial evaluation of impacts of increase in impervious surface area on SCS-CN and runoff in Nagpur urban watersheds, India [Revue] // Saudi Society for Geosciences. - 2016.

ASTER GDEM Modèle numérique de terrain(MNT). - 2011. - ASTER GDEM is a product of METI and NASA,Spatial resolution : 1 arc second,Satellite images acquisition date: 17 oct 2011.

Benchetrit M Les sols d'Algérie [Revue]. - alger : Revue de géographie alpin, 2016. - doi: 10.3406/rga.1956.1790.

Dion G Review of Rainfall Simulation Literature in Geomorphology [Revue]. - 2003. - pp. 1-2.

duac alger ATLAS Wilaya d'Alger [Livre]. - Alger : [s.n.], juin 2010 .

Duac Alger ATLAS Wilaya d'Alger [Livre]. - Alger : [s.n.], 2010.

DURAND J H hotige explicative generale de la carte des sols de l'algerie [Livre]. - alger : ISRIC World Data Centre for Soils, 1954. - Vol. I.

Elizabeth and Shaw M Hydrology in Practice Third edition [Book]. - London : Taylor & Francis e-Library, 1994.

GOWDISH L.C AN IMPROVED GREEN-AMPT SOIL INFILTRATION AND REDISTRIBUTION METHOD AND ITS APPLICATION TO 1-DIMENSIONAL AND QUASI 3-DIMENSIONAL (POINT AND ITS APPLICATION TO 1-DIMENSIONAL AND QUASI 3-DIMENSIONAL (POINT SOURCE) FLOW DOMAINS [Livre]. - FLORIDA : UNIVERSITY OF FLORIDA, 2007.

INSID Carte d'occupation de sol wilaya d'Alger. - 2011.

JAIN M. K, MISHRA S. K et SINGH V. P Evaluation of AMC-Dependent SCS-CN-Based Models Using Watershed Characteristics [Revue] // Water Resources Management . - 2006.

Michel C, Andreassian V et Perrin C Soil Conservation Service Curve Number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure? [Revue] // WATER RESOURCES RESEARCH. - 2005.

- Mishra K S et Singh P V** ANOTHER LOOK AT SCS-CN METHODE [Revue] // JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING. - 1999.
- MISHRA S K [et al.]** An Improved Ia-S Relation Incorporating Antecedent Moisture in SCS-CN Methodology [Revue] // Water Resources Management. - 2006.
- MISHRA S. K [et al.]** A Modified SCS-CN Method: Characterization and [Revue] // Water Resources Management. - 2003.
- Mishra S. K [et al.]** Experimental Verification of the Effect of Slope and Land Use on SCS Runoff Curve Number [Revue] // Water Resour Manage. - 2014.
- MISHRA S. K, JAIN M. K et SINGH V. P** Evaluation of the SCS-CN-Based Model Incorporating Antecedent Moisture [Revue] // Water Resources Management. - 2004.
- Mishra SURENDRA KUMAR et VIJAY SINGH P** SOIL CONSERVATION SERVICE CURVE NUMBER (SCS-CN) METHODOLOGY [Livre]. - USA : Kluwer Academic Publishers, 2003. - DOI:10.1007/978-94-017-0147-1.
- MUSY A et HIGY C** Hydrologie :1 Une science de la nature [Livre]. - Lausanne : presses polytechniques et universitaires romandes, 2003.
- NOAA** National Oceanic and Atmospheric Administration [En ligne]. - Département du Commerce des États-Unis, 03 10 1970. - <http://www.noaa.gov>.
- ONM** Office National de Météorologique [En ligne]. - 2016. - <http://www.meteo.dz>.
- ONS** [En ligne] // Office National des Statistiques. - 2008. - www.ons.dz.
- Ponce V.M [et al.]** Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity? [Revue] // Journal of Hydrologic Engineering . - 1996.
- Ravi V et Williams J.R** ESTIMATION OF INFILTRATION RATE IN THE VADOSE ZONE:COMPILATION OF SIMPLE MATHEMATICAL MODELS [Revue] // National Risk Management Research Laboratory. - 1998.
- Ravindra V K et Bhabagrahi S** Green-Ampt Infiltration Models for Varied Field Conditions: A Revisit [Revue] // Water Resour Manage. - 2011.
- ROCHE M** hydrologie de surface [Livre]. - paris : GAUTHIER - VILLARS ÉDITEUR, 1963.
- SCS** Hydrology, National Engineering Handbook [Revue]. - Washington : Soil Conservation Service, USDA, 1956. - Vol. Supplement A,Section 4, Chapter 10.
- SELMOUNI N** ANALYSE DE SENSIBILITE DU RUISSELLEMENT ET DU DEBIT DE POINTE AUX INCERTITUDES D'ESTIMATION DU PARAMÈTRE CN DE LA MÉTHODE SCS [Livre]. - Sherbrooke (Québec), Canada : Direction du patrimoine de l'édition, 2005.

Selvaradjou S-K [et al.] SOIL MAPS OF AFRICA [Livre]. - [s.l.] : EUROPEAN DIGITAL ARCHIVE OF SOIL MAPS (EuDASM), 2005.

Selvaradjou S-K [et al.] SOIL MAPS OF AFRICA [Livre]. - EUR : European Digital Archive of Soil Maps (EuDASM), 2005. - Vol. 386 pp.

Singh P. K [et al.] Development of a Modified SMA Based MSCS-CN Model [Revue] // Water Resour Manage. - 2015.

The U. S. Department of Agriculture (USDA) Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55 [Livre]. - Washington : [s.n.], 1986.

tutiempo tutiempo [En ligne] // tutiempo. - Tutiempo Network, S.L, 2001. - <http://www.tutiempo.net/>.

Williams J R [et al.] ESTIMATION OF INFILTRATION RATE IN VADOSE ZONE:APPLICATION OF SELECTED MATHEMATICAL MODELS [Revue]. - United States : United States Environmental Protection Agency, 1998. - Vol. II.