جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDALLAH DE FES
كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MEHRAZ FES

N° d'Ordre : /20

Formation Doctorale : Ressources naturelles, environnement et développement durable.

Discipline : Hydrologie et Hydraulique Urbaine

Spécialité : Géosciences et Ressources Naturelles

Laboratoire : Géosystème, environnement et développement durable

THESE de DOCTORAT

Présentée par

COUSCOUS Amine

Impact de l'extension urbaine sur les risques d'inondation, l'assainissement liquide et l'agriculture périurbaine dans la ville de Fès, Maroc

Soutenue le 29/02/2020 devant le jury composé de :

Pr. Boushaba Abdellah	***Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès***	***Président***
Pr. Benslimane Anasse	***Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès***	***Rapporteur***
Pr. Taleb Abdeslam	***Faculté des sciences et techniques - Mohammedia***	***Rapporteur***
Pr. Labbassi Kamal	***Faculté des sciences Chouaib Doukkali – EL jadida***	***Rapporteur***
Pr. Souabi Salah	***Faculté des sciences et techniques - Mohammedia***	***Examinateur***
Pr. Kacimi Ilias	***Faculté des Sciences Agdal – Rabat***	***Examinateur***
Pr. Baali Abdennasser	***Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès***	***Directeur de thèse***

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail de recherche et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ma thèse.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de thèse le Professeur BAALI Abdennasser pour l'opportunité qui m'a offert pour intégrer son groupe de recherche, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Par la même occasion, toute ma reconnaissance et mes remercîments sont adressés au corps professoral du département de géologie.

Je remercie également Madame Touria EL KAMEL ainsi que toute l'équipe de recherche du laboratoire Géosystèmes, Environnement et Développement Durable de la Faculté des Sciences Dhar Mahraz (Hamdani N., Hakam O., Mounir K. ...) pour leurs efforts précieux fournis et leur soutien pour l'accomplissement de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à messieurs les membres du jury, Pr. Boushaba Abdellah, Pr. Taleb Abdeslam, Pr. Souabi Salaheddine, Pr. Benslimane Anas, Pr. Kacimi Ilias et Pr. Labassi Kamal, pour leurs efforts pour examiner et évaluer mon travail.

Je tiens à remercier mes chers Professeurs, Salah Souabi et Ilias Kacimi qui ont contribué significativement à ma formation et m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études et mon travail de recherche.

Enfin, le meilleur pour la fin, j'adresse mes sincères remerciements à mes chers parents et mes frères Mohammed, Yassine et Hamza pour leurs encouragements et leur soutien.

Résumé

Durant ces dernières décennies, la ville de Fès a enregistré une extension urbaine au détriment des sols agricoles. Ce phénomène provoque l'imperméabilisation des sols induisant une augmentation considérable du coefficient de ruissellement. L'extension urbaine orientée vers l'Ouest et le Sud de la ville à l'encontre du sens d'écoulement provoque la surcharge des collecteurs des eaux pluviales en aval de la ville.

L'étude de l'impact de l'extension urbaine sur les risques d'inondation, l'assainissement liquide et l'agriculture périurbaine dans la ville de Fès est devenue une des priorités afin de prévenir les risques. Pour ce faire une démarche a été menée basée sur la détermination de l'évolution des surfaces urbanisées durant ces dernières décennies, le calcul du coefficient de ruissellement moyen et la détermination des débits de pointe des eaux pluviales, dans l'objectif de savoir à quel point l'extension urbaine peut impacter le comportement du réseau d'eaux pluviales lors des averses. Dans la même optique, une identification des zones à risques a été effectuée afin de détecter les points de déversement des eaux usées ou du dysfonctionnement du réseau d'assainissement, en vue de proposer des solutions techniques adéquates pour éliminer, minimiser ou gérer les risques.

Les principaux résultats obtenus mettent en relief une perte considérable en surface agricole périurbaine et un accroissement important du coefficient de ruissellement en passant d'environ 0,31 en 1912 à plus de 0,56 en 2012, il pourrait atteindre 0,65 en 2032. L'application du débit de pointe pour différents tronçons du réseau d'assainissement, montre une insuffisance hydraulique de certains collecteurs. Celle-ci pourrait être accentuée par l'usage non conforme du réseau d'assainissement. La simulation d'écoulement de l'Oued Fès en amont du pont Saâdyine montre une insuffisance hydraulique du dalot existant, sa zone amont présente une vulnérabilité à des éventuels débordements lors de la période pluvieuse. La zone de Boufekrane présente l'une des zones à risque de déversement des eaux usées à cause de nombreux débordements parvenant de temps à autre dus aux blocages occasionnés par les agriculteurs de cette zone ou à l'insuffisance hydraulique lors des périodes pluvieuses. La station de relevage reliant le réseau d'assainissement de l'extension ouest de la ville avec le réseau existant au centre et à l'Est peut être considérée comme facteur aggravant le risque de débordement en cas de panne.

Les principales solutions proposées reposent essentiellement sur l'adoption des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, la fragmentation des rejets de la ville et la proposition de l'installation d'une station d'épuration pour améliorer l'assainissement de l'extension urbaine Ouest et Sud-Ouest. En ce qui concerne la zone de Boufekrane, un déplacement latéral du collecteur drainant a été proposé. Le raccordement gravitaire du collecteur Massira-Dokkarat (Ouest de la ville) en évitant le passage des eaux usées par la station de relevage est techniquement possible et une estimation financière pour chaque solution a été proposée. Le débit des eaux épurées issues de la station d'épuration de la ville de Fès peut satisfaire les besoins en eau d'irrigation de sa zone adjacente, les paramètres évalués présentent des concentrations conformes aux normes. Néanmoins la décision finale ne peut être prise qu'après la réalisation des analyses bactériologiques de ces eaux.

Mots clés : Extension urbaine, coefficient de ruissellement, simulation hydrologique, insuffisance hydraulique, inondation, réutilisation des eaux, agriculture périurbaine.

Abstract

In recent decades, the city of Fez recorded an urban extension at the expense of agricultural land. This phenomenon causes the waterproofing of the soil, inducing a considerable increase in the runoff coefficient. The western and southern extension of the city counter the flow direction overloads the rainwater collectors downstream of the city.

The study of the impact of urban sprawl on flood risks, sewerage and peri-urban agriculture in the city of Fez has become a priority in order to prevent risks. To do this, an approach has been carried out based on determining the evolution of urbanized areas over the past decades, calculating the average runoff coefficient and determining the peak flows of rainwater, with the aim of knowing at what point urban extension can impact the behavior of the rainwater network during rain showers. In the same optical, an identification of the risk zones was carried out in order to detect the points of spill of the waste water or the dysfunction of the sewerage network, with a view to proposing adequate technical solutions to eliminate, minimize or manage the risks.

The main results obtained highlight a considerable loss in peri-urban agricultural area and a significant increase in the runoff coefficient from around 0.31 in 1912 to more than
0.56 in 2012; it could reach 0.65 in 2032. The application of peak flow for different sections of the sewerage network shows a hydraulic insufficiency of some collectors. This hydraulic insufficiency could be accentuated by the improper use of the sewerage network. The simulation of the flow of Oued Fès upstream of the Saâdyine bridge shows a hydraulic insufficiency of the existing box culvert, its upstream zone presents a vulnerability to possible overflows during the rainy period. The lifting station connecting the sewerage network of the western extension of the city with the existing network in the center and in the East can be considered as a factor which increases the risk of overflow in the event of a breakdown.

The main solutions proposer are essentially based on the adoption of alternative stormwater management techniques, fragmentation of releases of wastewater from the city and the proposed installation of a wastewater treatment plant to improve sanitation in urban extension West and Southwest. As regards the area of Boufekrane, a lateral displacement of the drainage manifold has been proposed. The gravity connection of the Massira-Dokkarat collector (West of the city) by avoiding the passage of wastewater through the lifting station is technically possible and a financial estimate for each solution has been proposed.

The flow of purified water from the treatment plant in the city of Fez can meet the irrigation water needs of its adjacent area; the parameters evaluated present concentrations in accordance with standards. However, the final decision can only be taken after the bacteriological analyzes of these water have been carried out.

Key words: Urban extension, runoff coefficient, hydrological simulation, hydraulic insufficiency, flooding, water reuse, peri-urban agriculture.

Table des matières

Résumé ii

Abstract iii

Introduction 1

Chapitre I : Présentation de la ville de Fès 4

I. Situation géographique et cadre administratif 4

I.1. Situation géographique 4

I.2. Cadre administratif 4

I.3. Ressources naturelles 6

II. Contexte géologique et géomorphologique 6

II.1. Contexte géologique 6

II.2. Contexte géomorphologique 8

III. Contexte climatique 9

III.1. Précipitations 9

III.2. Température 10

IV. Contexte hydrologique et hydrogéologique 11

IV.1. Contexte hydrologique 11

IV.1.1 Caractéristiques des bassins versants élémentaires 12

IV.1.2 Hypsométrie du bassin versant de l'Oued Fès 13

IV.1.3 Pente du bassin versant de l'Oued Fès 16

IV.2. Contexte hydrogéologique 16

IV.2.1 Nappe phréatique de la Plaine de Saïss 17

IV.2.2 Nappe profonde 19

IV.2.3 Nappe phréatique du Couloir Fès-Taza 20

V. Conclusion 21

Chapitre II : Historique du périmètre urbain de la ville de Fès 22

I. Historique de l'urbanisation de la ville de Fès 22

II. Démographie de la ville de Fès 26

II.1. Origine et historique des habitants 26

II.2. Evolution des habitants 28

III. Hydrographie de la ville de Fès 28

III.1. Rôle historique de l'Oued Fès 29

III.2. Fonctionnement du réseau de « l'eau traditionnelle » 30

IV. Conclusion 32

Chapitre III : Extension urbaine de la ville de Fès 33

I. Extension urbaine 33

I.1. Définition 33

I.2. Généralités sur l'extension urbaine 33

I.2.1 Facteurs 33

I.2.1 Lexique urbain 35

I.2.2 Nouveaux modes d'urbanisation 36

II. Extension urbaine dans la ville de Fès 37

II.1. Plans d'aménagement 37

II.1.1 Plan d'aménagement de Prost 38

II.1.2 Plans d'aménagement d'Ecochard (1948 et 1952) 40

II.1.3 Politique d'urbanisme avant 1980 41

II.1.4 Schéma *directeur* de l'urbanisme de 1980 41

II.2. Evolution de l'extension urbaine 44

II.2.1 Evolution du périmètre urbain 44

II.2.2 Accroissement de la surface bâtie 46

II.2.3 Extension sud-ouest 47

II.2.4 Indices de saturation 50

II.3. Simulation de la croissance urbaine 50

II.3.1 Modèle SLEUTH 51

II.3.2 Résultats de simulation 52

III. Impacts 54

III.1. Impacts sociaux 54

III.2. Impacts environnementaux 54

III.2.1 Imperméabilisation des sols 54

III.2.2 Perte des espaces verts et agricoles 55

III.2.3 Consommation d'énergie et émission du CO_2 55

III.3. Impacts économiques 56

IV. Conclusion 57

Chapitre IV : Agriculture urbaine et périurbaine de la ville de Fès 58

I. Agriculture urbaine et périurbaine : contexte mondial 58

I.1. Définition 58

I.2. Agriculture urbaine dans le monde 59

I.2.1 Expérience canadienne 59

I.2.2 Expérience européenne 59

I.3. Agriculture périurbaine dans le monde 60

I.3.1 Expérience canadienne 60

I.3.2 Expérience européenne 61

II. Agriculture périurbaine et urbaine dans la ville de Fès 62

II.1. Potentialités pédologiques 62

II.2. Mode d'agriculture 64

II.3. Impact de l'extension urbaine sur l'agriculture périurbaine 65

III. Conclusion 66

Chapitre V : Réseau d'assainissement liquide et techniques alternatives de gestion des eaux pluviales 67

I. Typologie des réseaux d'assainissement 67

I.1. Systèmes autonomes 67

I.2. Systèmes collectifs 67

I.2.1 Système Unitaire 68

I.2.2 Réseau séparatif 68

I.2.3 Réseau pseudo-séparatif 69
I.3. Avantages et inconvénients 70
I.3.1 Système unitaire 70
I.3.2 Système séparatif 70
I.3.1 Système pseudo-séparatif 71

II. Ouvrages d'assainissement liquide 72
II.1. Ouvrages de départ 72
II.2. Canalisations d'évacuation 74
II.3. Ouvrages de visite et ouvrages spéciaux 75

III. Méthodes de dimensionnement des réseaux d'assainissement 77
III.1. Données de base du dimensionnement 77
III.2. Méthodologie du dimensionnement 78
III.2.1 Choix de la période de retour (T) 78
III.2.2 Découpage des sous-bassins versants 79
III.2.3 Calcul de la pente moyenne 79
III.2.4 Calcul du coefficient de ruissellement 79
III.2.5 Calcul du coefficient d'allongement 80
III.2.6 Calcul des débits des eaux pluviales 80
III.2.7 Calcul des débits des eaux usées 82
III.2.8 Assemblage des bassins versants 83
III.2.9 Dimensionnement des collecteurs 84

IV. Réseau d'assainissement dans la ville de Fès 88
IV.1. Partenaires 88
IV.1.1. Etat 88
IV.1.2. Agence du bassin hydraulique de Sebou 88
IV.1.3. RADEEF 88
IV.1.4. Entreprises sous-traitantes 88
IV.2. Mode de gestion 89
IV.3. Exploitation du réseau d'assainissement 89
IV.3.1. Sectorisation 89
IV.3.2. Eléments de base 91
IV.3.3. Dégradation et affaiblissement des performances 91
IV.3.4. Méthodes d'exploitation 93
IV.4. Description du réseau d'assainissement 96
IV.4.1. Linéaire et types de réseau 96
IV.4.2. Bassins versants 97
IV.4.3. Ouvrages spéciaux 99
IV.4.4. Mode d'utilisation 99

V. Techniques alternatives de gestion des eaux pluviales 99
V.1. Chaussées à structure réservoir (CSR) 100
V.1.1. Principe de fonctionnement 100
V.1.2. Conception 101
V.1.2.1. Structure réservoir 101
V.1.2.2. Revêtement drainant et compact 101
V.1.2.3. Evacuation 101
V.1.3. Entretien 102
V.1.4. Avantages et inconvénients des chaussées à structure réservoir 102

V.2. Noues et fossés 102
V.2.1. Principe de fonctionnement 102
V.2.2. Conception 103
V.2.3. Entretien 103
V.2.4. Avantages et inconvénients 103
V.3. Tranchées drainantes et filtrantes 104
V.3.1. Principe de fonctionnement 104
V.3.2. Conception 104
V.3.3. Entretien 105
V.3.4. Avantages et inconvénients 105
V.4. Toitures stockant 105
V.4.1. Principe de fonctionnement 105
V.4.2. Conception 106
V.4.3. Entretien 107
V.4.4. Avantages et inconvénients 107
V.5. Bassins de rétention 107
V.5.1. Bassins de rétention à ciel ouvert 107
V.5.1.1. Collecte des eaux et alimentation 109
V.5.1.2. Structure du bassin 109
V.5.1.3. Evacuation des eaux 109
V.5.1.4. Avantages et inconvénients 109
V.5.2. Bassins de rétention enterrés 110
V.5.2.1. Collecte des eaux 110
V.5.2.2. Système de drainage 110

VI. Conclusion 110

Chapitre VII : Epuration des eaux usées 112

I. Définition et procédés 112
I.1. Définition 112
I.2. Procédés d'épuration 112
I.2.1. Lagunage 113
I.2.2. Lagunage naturel 113
I.2.3. Lagunage aéré 116
I.2.4. Boues activées 116
I.3. Avantages et inconvénients 116

II. Présentation du procédé de traitement de la STEP de la ville de Fès 117
II.1. Dégrillage 118
II.2. Dessablage/déshuilage 119
II.3. Décantation primaire 120
II.4. Bassin biologique 121
II.5. Décantation secondaire 121
II.6. Situation actuelle et capacité 122
II.7. Qualité des eaux épurées 124

III. Conclusion 125

Chapitre VIII : Etude des risques d'inondation 126

I. Coefficient de ruissellement 126
I.1. Définition 126

I.2. Calcul du coefficient de ruissellement Cr 126

II. Simulation par logiciel HEC-RAS (Amont pont Saâdyine) 127

II.1. Présentation 127

II.2. Préparation des données de base de simulation 127

II.3. Simulation du tronçon amont pont Saâdyine 131

III. Surcharge des collecteurs 132

III.1. Réseau principal d'évacuation 132

III.2. Calcul des débits de pointe 132

IV. Résultats obtenus 133

IV.1. Tronçon amont pont Saâdyine 133

IV.2. Réseau d'assainissement 135

V. Conclusion 140

Chapitre IX : Réutilisation des eaux pluviales et épurées 141

I. Champs Agricoles adjacents à la STEP 141

I.1. Délimitation des espaces agricoles 141

I.2. Calcul des besoins en eau d'irrigation 142

I.3. Résultats obtenus 142

I.4. Qualité des eaux épurées 144

II. Espaces verts de la ville de Fès 145

II.1. Etat des lieux des espaces verts 145

II.2. Besoins en eau d'arrosage 147

II.3. Résultats obtenus 149

III. Conclusion 150

Chapitre X : Etude des risques de contamination du milieu naturel par les eaux usées 151

I. Zones à risque 151

I.1. Zone industrielle Ain Nokbi 151

I.2. Zone Boufekrane 152

I.2.1. Nature de l'effluent transporté 153

I.2.2. Itinéraire de la conduite principale 154

I.2.3. Bouchage du réseau 154

I.3. Déversoirs d'orage 155

I.4. Station de relevage 156

II. Améliorations effectuées 157

II.1. Réhabilitation 158

II.2. Déviation 158

II.3. Renforcement 158

II.4. Mise à niveau 159

II.5. Chemisage 159

II.6. Extension de la station de relevage 160

III. Conclusion 160

Chapitre XI : Solutions proposées 161

I. Gestion en amont 161

I.1. Laminage des débits de pointes _____ 161
I.2. Abandon de la station de relevage _____ 162
I.3. Fragmentation des rejets _____ 164
I.4. Réhabilitation et protection du collecteur Boufekrane _____ 176
I.4.1. Déplacement du réseau existant _____ 176
I.4.2. Renouvellement et renforcement _____ 177

II. Gestion en aval _____ 177

III. Conclusion _____ 178

Conclusions et recommandations _____ 179

Bibliographie _____ 182

Annexes _____ CLXXXIII

Table des figures

Figure 1 : Carte de localisation de la ville de Fès 4
Figure 2 : Cadre administratif de la ville de Fès 5
Figure 3 : Découpage administratif de la ville de Fès (Bouadoud et al 2013) 6
Figure 4 : Coupe géologique schématique du bassin FES- MEKNES (Taltasse, 1953) 8
Figure 5 : Morphologie et coupe géologique schématique du bassin versant de l'oued Fès (Reynard et al., 2011) 9
Figure 6 : Précipitations moyennes mensuelles de la station Fès-DRH 9
Figure 7 : Précipitations moyennes annuelles entre 1980 et 2015 (ABHS /FES) 10
Figure 8 : Températures moyennes annuelles de la station Fès-Sais 10
Figure 9 : Carte du réseau hydrographique de Fès 12
Figure 10 : Carte hypsométrique et pourcentage de surface des classes de relief du bassin versant de l'Oued Fès (ABHS, 2013) 13
Figure 11 : Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la superficie (Khaissidi, 2013) 14
Figure 12 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Fès (ABHS, 2013) 15
Figure 13 : Interprétation de la courbe hypsométrique 15
Figure 14 : Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Fès (Khaissidi, 2013) 16
Figure 15 : Carte des nappes phréatique de la région Fès-Meknès (ABHS, 2013) 17
Figure 16 : Carte piézométrique de la nappe libre du bassin de Fès (ABHS, 2007) 18
Figure 17 : Niveau piézométrique de la nappe phréatique du secteur central du bassin de Fès-Meknès (ABHS,2015) 18
Figure 18 : Carte piézométrique de la nappe profonde du Lias du bassin Fès-Meknès (ABHS, 2007) 19
Figure 19 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Sud du plateau de Meknès Piézomètre N°IRE290/22) (ABHS,2015) 20
Figure 20 : Carte piézométrique de la nappe du Couloir Fès – Taza de (ABHS, 2007) 21
Figure 21 : Historique de l'urbanisation de la ville de Fès entre le 9ème et le 20ème siècle, modifiée (Pinceau, 1991) 25
Figure 22 : Evolution de la population de la ville de Fès entre 1936 et 2014 (SDAU 1991, HCP 2014) 28
Figure 23 : Répartiteur de Bab Boujloud 29
Figure 24 : Hydrographie ancienne de la Médina de Fès (Pinceau, 1991) 30
Figure 25 : Noria Bab Boujloud Jnane Sbil (1939) 31
Figure 26 : Schéma de principe de l'écoulement de l'eau dans la Médina 31
Figure 27: Cercle vicieux de l'étalement urbain (Université Nice - Sophia Antipolis, 2018) 34
Figure 28 : Processus de l'étalement urbain (Institut national de la statistique et des études économiques, 2014) 35
Figure 29 : Premier plan de Fès-nouvelle d'Henri Prost 1916 (Jelidi, 2007) 39
Figure 30 : Second plan d'aménagement d'Henri Prost (Jelidi, 2007) 39
Figure 31 : Schéma directeur de l'urbanisme de Fès de 1980 (Pinceau, 1991) 43
Figure 32 : Schéma d'aménagement de l'extension sud-ouest de Fès de 1980 (Pinceau, 1991) 44
Figure 33 : Evolution de la surface du périmètre urbain entre 1912 et 2012 45
Figure 34 : Evolution de la surface bâtie de la ville de Fès entre 1912 et 1995 (AUSF, 2008) 46
Figure 35 : Evolution de la surface du bâti dans la ville de Fès entre 1912 et 2012 46
Figure 36 : Surface du bâti entre 2000 et 2011 (Ministère de l'agriculture et pêche maritime, 2013) 47
Figure 37 : Urbanisation entre 2000 et 2011 de la zone sud-ouest (ministère de l'agriculture et pêche maritime, 2013) 48
Figure 38 : Plan d'aménagement d'Oulad Tayeb (Ministère de l'agriculture de la pêche maritime, 2013) 49
Figure 39 : Urbanisation d'une Ferme (Oulad Tayeb) (ministère de l'agriculture et pêche maritime, 2013) 49
Figure 40 : Procédé de simulation de l'expansion urbaine 51
Figure 41 : Données d'entrées du modèle SLEUTH 52
Figure 42 : Accroissement de la surface du bâti entre 1912 et 2032 53
Figure 43 : Bâti simulé de la ville de Fès et ses périphéries (2032) 53
Figure 44 : Consommation annuelle moyenne pour transport en fonction de la densité de population (Sainteny, 2008) 56

Figure 45 : Carte de groupes des sols du centre d'Oulad Tayeb (Novec, 2013) 63
Figure 46 : Pourcentages des surfaces agricoles utiles irriguées et non irriguées (Novec, 2013) 65
Figure 47 : Urbanisation de la ville de Fès au dépend des terres fertiles entre 2000 et 2011 65
Figure 48 : Schéma du réseau unitaire 68
Figure 49 : Schéma du réseau séparatif 69
Figure 50 : Schéma du réseau pseudo-séparatif 69
Figure 51 : Bouche d'égout à grille et avaloir 73
Figure 52 : Canalisations circulaires en PEHD 74
Figure 53 : Représentation schématique d'un ovoïde 74
Figure 54 : Coupes d'un regard de visite sur conduite circulaire (AFNOR, 2003) 75
Figure 55 : Coupes d'un regard de chute (AFNOR, 2003) 76
Figure 56 : Exemple de courbe intensité-durée-fréquence (IDF) 79
Figure 57 : Variation journalière de la consommation en eau potable 83
Figure 58 : Illustration d'un assemblage en parallèle 84
Figure 59 : Illustration d'un assemblage en série 84
Figure 60 : Abaque de variations de débit et de vitesse en fonction de la hauteur de remplissage (Fascicule N° 70, 2003) 86
Figure 61 : Synthèse de la méthodologie de dimensionnement des canalisations 87
Figure 62 : Illustration des secteurs d'exploitation d'assainissement 90
Figure 63 : Récapitulatif de processus de dégradation 93
Figure 64 : Morphologie du réseau d'assainissement 94
Figure 65 : Photo d'une hydrocureuse utilisée pour curage des réseaux d'assainissement 95
Figure 66 : Réseau d'assainissement dans la ville de Fès 97
Figure 67 : Sous-bassins versants de la ville de Fès 98
Figure 68 : Schéma de principe d'un déversoir d'orage 99
Figure 69 : Fonctionnement des chaussées à structure réservoir 101
Figure 70 : Fonctionnement des noues 103
Figure 71 : Tranchée d'infiltration et tranchée drainant 104
Figure 72 : Conception des tranchées 104
Figure 73 : Fonctionnement des toitures stockant 106
Figure 74 : Dispositifs des toitures stockant 106
Figure 75 : Coupe en travers d'un bassin à ciel ouvert 108
Figure 76 : Vue en plan d'un bassin à ciel ouvert 108
Figure 77 : Schéma d'épuration des eaux usées par lagunage naturel (www.lagunage.eu) 115
Figure 78: Station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès (https://tool-online.com/free-map-tools.php) .. 118
Figure 79: Dégrilleur entrée STEP de Fès (Asraou, 2013) 119
Figure 80: Dessableur-déshuileur de la STEP Fès (Asraou, 2013) 120
Figure 81 : Décanteur primaire de la STEP Fès (Asraou, 2013) 121
Figure 82 : Illustration du recyclage de la biomasse du clarificateur vers le bassin biologique 122
Figure 83 : Débit moyen à l'entrée de la STEP et domaine de garantie 123
Figure 84 : Concentration de la DBO5 à l'entrée de la STEP et domaine de garantie 123
Figure 85 : Concentration de la DCO à l'entrée de la STEP et domaine de garantie 124
Figure 86 : Concentration de la MES à l'entrée de la STEP et domaine de garantie 124
Figure 87 : Accroissement du coefficient de ruissellement entre 1912 et 2032 127
Figure 88 : Carte des pentes et découpage des sous-bassins versants 128
Figure 89 : Tronçon de simulation hydrologique (amont pont Saâdyine) 131
Figure 90 : Résultats de la simulation hydrlogique Q10 et Q100 134
Figure 91 : Extension de l'inondation Q10 et Q100 135
Figure 92 : Tronçons des collecteurs vulnérables à la saturation 138
Figure 93 : Situation des champs agricoles par rapport à la station d'épuration (Vue Google Map) 141
Figure 94 : Besoins en eau d'irrigation et pluviométrie mensuelle 143
Figure 95 : Comparaison des valeurs de DBO5, DCO, MES des eaux épurées avec la norme marocaine 145
Figure 96 : Pourcentages des espaces verts (cumulés) arrosés et non arrosés 147

Figure 97 : Besoins en eau d'arrosage et pluviométrie mensuels 148
Figure 98 : Délimitation du bassin versant Boufekrane 153
Figure 99 : Nombre des débordements du collecteur Boufekrane entre Janvier et Août 2017 (RADEEF, 2017) 154
Figure 100 : Variation de la charge polluante en périodes sèche et pluvieuse 156
Figure 101 : Localisation de la station de relevage par rapport au réseau d'assainissement de la ville de Fès 157
Figure 102 : Dépenses totales annuelles pour la réhabilitation, le renforcement et la déviation du réseau d'assainissement de la ville de Fès 158
Figure 103 : Plan du bassin de rétention des eaux pluviales du lotissement choisi 162
Figure 104 : Itinéraire du projet de raccordement gravitaire après suppression de la station de relevage 163
Figure 105 : Schéma de fragmentation des rejets 164
Figure 106 : Pourcentage de surface d'occupation des bassins versants de la ville de Fès 165
Figure 107 : Schéma du canal dessableur parshall 167
Figure 108 : Déviation du collecteur Boufekrane 177

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des sous bassins versants de l'Oued Fès (ABHS, 2004) 12
Tableau 2 : Fréquences et pourcentages cumulés au-dessus de la limite inférieure 14
Tableau 3 : Origine de la population de la ville de Fès en 1982 (Pinceau, 1991) 26
Tableau 4 : Prix du Foncier du plateau du Borj sud entre 1975 et 1990 (Fejjal, 1990) 41
Tableau 5: Surface du périmètre urbain entre 1912 et 2012 45
Tableau 6 : Prévision du plan d'aménagement de 1997 d'Oulad Tayeb (AUSF) 48
Tableau 7 : Indices de saturation des espaces urbanisables de la ville de Fès 50
Tableau 8 : Surface des espaces verts par arrondissement et indice Ev/hab 55
Tableau 9 : Différentes utilisations de la zone agricole dans la communauté métropolitaine de Québec 60
Tableau 10 : Répartition des sols par groupe de la région de Fès (Novec, 2013) 62
Tableau 11: Répartition de sols par groupe au niveau du centre d'Oulad Tayeb (Novec, 2013) 63
Tableau 12 : Répartition des terres agricoles dans la région de Fès 64
Tableau 13 : Avantages et inconvénients du système unitaire 70
Tableau 14 : Avantages et inconvénients du système séparatif 70
Tableau 15 : Avantages et inconvénients du système pseudo-séparatif 71
Tableau 16 : Dimensions admissibles des regards de façade (AFNOR, 2003) 72
Tableau 17 : Dimensions admissibles des dispositifs de branchements (AFNOR, 2003) 72
Tableau 18 : Dimensions admissibles de la bouche d'égout avaloir (AFNOR, 2003) 73
Tableau 19 : Dimensions admissibles des déversoirs d'orage (AFNOR, 2003) 76
Tableau 20 : Dimensions admissibles des fosses septiques (AFNOR, 2003) 77
Tableau 21: Formule de calcul de la pente moyenne 79
Tableau 22 : Formule de calcul du coefficient de ruissellement 80
Tableau 23 : Coefficient de ruissellement en fonction de l'occupation du sol 80
Tableau 24 : Formule de calcul du coefficient d'allongement 80
Tableau 25 : Expression de la formule de Caquot 81
Tableau 26 : Expression mathématique des coefficients k, u, v et w 81
Tableau 27: Expression de la formule rationnelle 82
Tableau 28 : Dotations unitaires en eau potable (RADEEMA, 2011) 82
Tableau 29 : Expression de la formule du calcul du débit moyen des eaux usées 82
Tableau 30 : Formules de détermination des paramètres des bassins équivalents 84
Tableau 31 : Formule de Manning Strickler 85
Tableau 32 : Types de liaisons et ouvrages adéquats 94
Tableau 33 : Informations fournies par inspection télévisée 95
Tableau 34 : Linéaire du réseau primaire de la ville de Fès (Amarti, 2013) 97
Tableau 35 : Caractéristiques des bassins versants 98
Tableau 36 : Entretien préventif et curatif des chaussées à structure réservoir imperméables 102
Tableau 37 : Avantages et inconvénients des chaussées à structure réservoir imperméables 102
Tableau 38 : Avantages et inconvénients des noues et fossés 103
Tableau 39 : Avantages et inconvénients des drainantes / filtrantes 105
Tableau 40 : Avantages et inconvénients des toitures stockant 107
Tableau 41 : Avantages et inconvénients des bassins de rétention à ciel ouvert 109
Tableau 42: Avantages et inconvénients du lagunage naturel 117
Tableau 43 : Avantages et inconvénients du lagunage aéré 117
Tableau 44 : Avantages et inconvénients des boues activées 117
Tableau 45 : Types de dégrillage 118
Tableau 46 : Concentration de DBO5, DCO et MES à l'entrée et à la sortie de la STEP (2016) 125
Tableau 47 : Données de base pour le calcul du coefficient de ruissellement entre 1912 et 2032 126
Tableau 48 : Paramètres de calcul des débits des eaux pluviales 129
Tableau 49 : Formules utilisées pour le calcul hydrologique 129
Tableau 50 : Résultat du calcul hydrologique 130

Tableau 51 : Paramètres de calcul (caractéristiques des sous-bassins versants) 132
Tableau 52 : Débit de pointe par collecteur et par bassin versant 133
Tableau 53 : Vitesse d'écoulement des collecteurs principaux d'assainissement 136
Tableau 54 : Pourcentage d'insuffisance des collecteurs étudiés 137
Tableau 55 : Evapotranspiration de référence (ET0) mensuelle (ABHS, 2015) 142
Tableau 56 : Besoins mensuels en eau d'irrigation des champs agricoles adjacents à la station d'épuration 142
Tableau 57 : Volumes d'eau d'irrigation mensuels demandés 143
Tableau 58 : Résultats de l'analyse des eaux épurées 144
Tableau 59 : Comparaison des résultats d'analyse avec la norme marocaine 144
Tableau 60 : Surface des espaces verts par arrondissement et indice Ev/hab 145
Tableau 61 : Pourcentage des systèmes d'arrosage par arrondissement (AUSF, 2014) 146
Tableau 62 : Besoins mensuels en eau d'arrosage des espaces verts 147
Tableau 63 : Volumes d'eau d'arrosage mensuels demandés 148
Tableau 64: Coefficient de restitution selon les types de surface (ABHS, 2012) 149
Tableau 65: Surface totale de l'impluvium de la ville de Fès 149
Tableau 66 : Surface de l'impluvium pour chaque arrondissement de la ville de Fès 150
Tableau 67 : Données de base du dimensionnement de la STEP 2 166
Tableau 68 : Formules du dimensionnement du dégrilleur (Souabi, 2010) 166
Tableau 69 : Formules des calculs des pertes de charge, canal aval et canal amont 166
Tableau 70 : Formules du dimensionnement du canal parshall (EMI, 2008) 168
Tableau 71 : Formules du dimensionnement du déshuileur (EMI, 2008) 169
Tableau 72 : Formules du dimensionnement du décanteur primaire (Souabi, 2010) 170
Tableau 73 : Formules du dimensionnement du bassin biologique (EMI, 2008), (Souabi, 2010) 171
Tableau 74 : Valeurs des paramètres liés au bassin d'aération 171
Tableau 75 : Formules des calculs pour dimensionnement du bassin biologique (Souabi, 2010) 172
Tableau 76 : Résultat des calculs du dégrilleur 172
Tableau 77 : Résultat des calculs du canal amont 173
Tableau 78 : Résultat des calculs des pertes de charge 173
Tableau 79 : Résultat des calculs du canal aval 173
Tableau 80 : Résultat des calculs du Parshall dessableur 174
Tableau 81 : Résultat des calculs du déshuileur 174
Tableau 82 : Résultat des calculs du décanteur primaire 175
Tableau 83 : Résultat des calculs du bassin biologique 175
Tableau 84 : Résultat des calculs du clarificateur 176

Introduction

Mondialement l'extension urbaine des villes constitue le résultat logique de plusieurs facteurs, à savoir l'accroissement démographique, la demande en logement, le prix bas du foncier dans la périphérie, les facilités d'accordement des prêts de logements et la négligence de la valeur des espaces verts et agricoles périurbains. En effet, l'accroissement démographique implique automatiquement l'augmentation de la demande en logement. Le prix du foncier dans la partie centrale des villes est excessivement élevé par rapport à la périphérie, ce qui explique le recours vers les zones périphériques pour implanter des lotissements et des zones d'habitats afin de satisfaire les besoins en logement.

Dans cette optique et avec les conditions mises en place par les organismes monétaires pour accorder des prêts de logements, qui sont basées essentiellement sur les ressources et les garanties de payement, ne tiennent pas en compte les conditions de localisation ou le type de logement. La négligence de la valeur réelle des espaces agricoles périurbains engendre la sous-tarification du foncier périurbain (Sainteny, 2008).

Au Maroc, la poussée démographique et la mobilité croissante des populations durant le 20ème siècle ont eu pour conséquence l'extension des villes déjà existantes et l'apparition d'autres agglomérations un peu partout dans le pays. Il est aisé de remarquer la non-correspondance entre la croissance urbaine et le développement des équipements de toutes sortes pour certaines villes. Ces besoins en équipements sont rarement satisfaits, d'autant plus que les communes sont pauvres, et que le désengagement financier de l'État devient de plus en plus une réalité face à une culture d'autonomie communale qui a du mal à se mettre en place avec la mondialisation et la récession économique (EL Jihad, 2005).

L'imperméabilisation des sols entraîne une augmentation des débits des eaux pluviales que les réseaux avals ne peuvent souvent pas supporter et l'amortissement des débits de pointe permet d'avoir des collecteurs avals de diamètre plus économique. Les orientations actuelles en matière de conception des réseaux d'assainissement urbain favorisent la maîtrise des eaux pluviales, notamment par la gestion en surface et la rétention à la source qui permettent le laminage des débits de pointe.

Le système d'assainissement unitaire est de plus en plus abandonné et les projets d'aménagement urbain sont orientés vers le système séparatif (ou pseudo-séparatif). Les modes de contrôle du ruissellement mettent en jeu, soit des stockages temporaires avec restitution à débits plus faibles (laminage), soit des stockages pour réutilisation en divers secteurs (arrosage des espaces verts, lavage des voies…).

L'extension urbaine vers la périphérie de la ville affaiblit la valeur économique et sociale de l'agriculture périurbaine qui permet de fournir des produits de proximité avec moins d'exigence en termes d'emballage et de conditionnement. Là où la pression urbaine est plus forte, l'agriculture est en marge. Elle ne relève plus vraiment du système rural de production territoriale, elle est trop en dépendance à l'intérieur du système urbain. Elle est menacée au sein d'un espace périurbain trop convoité. Le maintien d'une agriculture

périurbaine passe par l'affirmation de celle-ci au sein d'un nouveau système territorial dont la cohérence tient à la place acquise par l'agriculture (Brigitte, 1994).

Dans le même concept, la ville de Fès a fait l'objet d'une extension urbaine au détriment des sols agricoles. Ce phénomène provoque l'imperméabilisation des sols et le coefficient de ruissellement devient de plus en plus important. L'extension orientée vers l'Ouest et le Sud de la ville à l'encontre du sens d'écoulement peut provoquer la surcharge des collecteurs d'assainissement en aval de la ville. En effet les conduites posées durant les années passées étaient responsables de l'évacuation des débits de pointe produits dans des zones d'apport limitées par rapport à l'état actuel ; après l'extension urbaine, elles doivent évacuer des débits plus importants que ceux des années précédentes.

Le coefficient de ruissellement constitue l'un des paramètres majeurs dans la détermination du débit produit par une surface imperméable lors d'une averse. Tout accroissement de ce coefficient implique un débit important des eaux pluviales qui est parfois difficile à gérer en présence d'un milieu aval saturé ou chargé.

Actuellement l'ancien réseau d'assainissement de type unitaire constitue l'exutoire des zones récemment urbanisées, il est chargé d'acheminer un débit plus important qu'avant. La surcharge des collecteurs d'assainissement (palpable lors des averses) prend une ampleur plus grande que les années précédentes. Avec l'extension urbaine et l'annulation du projet d'épuration à l'Ouest de la ville, les débits de pointe circulant dans ces collecteurs demeurent plus importants qu'avant, conséquemment une fréquence de débordements suite aux bouchages qui peuvent parvenir de temps à autre.

Le système d'assainissement pseudo-séparatif adopté pour les zones récemment urbanisées préconise le rejet des eaux pluviales des chaussées vers les Oueds traversant la ville, notamment l'Oued Fès qui constitue l'exutoire des eaux pluviales des lotissements Oued Fès, Hadika et Hay Tghat. Sur la totalité des surfaces urbanisées de ces zones seulement 40% des eaux pluviales rejoignent l'Oued Fès, le reste trouve son chemin dans le réseau des eaux usées vu que les eaux de toitures sont raccordées avec le branchement des eaux usées ménagères.

La zone du lit de l'Oued Fès présente des pentes trop faibles voire même nulles pour des tronçons et l'existence de la végétation sur place participe au ralentissement de l'écoulement qui rend l'évacuation des eaux très pénible. Cette situation s'aggrave lors des averses pour le tronçon en amont du pont Saâdyine qui a enregistré plusieurs débordements notamment dans la partie nord du quartier industrielle Dokkarat.

La surcharge des collecteurs jusqu'à présent est gérée par le biais des déversoirs d'orage qui laminent les débits de pointe par déviation du surplus vers les Oueds (Mahraz, Oued Fès aval…). Cette solution, encore limitée et incapable d'éliminer le risque définitivement, néglige la quantité de la charge polluante qui peut atteindre le milieu naturel. Il est indispensable de parvenir à une efficacité globale et cohérente du système d'assainissement dans toutes les conditions météorologiques.

Les eaux à l'intérieur du réseau d'assainissement de la ville de Fès s'écoulent généralement d'une façon gravitaire. Néanmoins le raccordement du collecteur Massira-Dokkarat avec le collecteur Nord se fait par le biais d'une station de relevage de 9 mètres de hauteur par des vises d'Archimède et des pompes. Cette station a récemment subi une extension pour pouvoir évacuer le débit des eaux usées lors de la pointe. Tout dysfonctionnement au niveau de ses équipements met sous pression sa zone amont, à savoir les quartiers Merja, Zouagha et Bensouda qui font partie du sous-bassin versant Massira-Dokkarat.

La problématique de l'extension urbaine de la ville de Fès peut être synthétisée dans le fait qu'elle s'effectue dans une orientation opposée au sens d'écoulement, le réseau d'assainissement réalisé dans les années précédentes est aujourd'hui chargé de transporter les eaux usées et pluviales des anciennes zones et des zones récemment urbanisées. Les calculs effectués dans ce sens montrent qu'il faut intervenir pour proposer des solutions pour décharger ces réseaux et laminer les débits de pointe en amont.

Les débordements enregistrés prouvent que ces réseaux ne sont plus capables de transporter les débits de pointe lors des averses, tout blocage ou bouchage de l'un de ces collecteurs peut se manifester par des débordements risquant de causer des dégâts matériels. Les solutions proposées jusqu'à présent n'arrivent pas à éliminer définitivement le risque, elles peuvent être synthétisées en réhabilitation et chemisage alors que le problème est purement hydraulique (insuffisance hydraulique). Cette situation met les autorités face à de sérieux problèmes et augmente le nombre d'intervention lors des averses, les opérations de débouchage du réseau d'assainissement durant les mois pluvieux demandent le renforcement du personnel et augmentent les frais d'intervention (carburant, personnels, matériels…).

Ce travail de recherche vise l'étude de l'extension urbaine et de son impact sur le coefficient de ruissellement, la détermination des débits de pointe et l'étude du comportement du réseau d'assainissement lors des averses et sa capacité de transporter tout genre de débits et quantifier le pourcentage d'insuffisance moyen de chaque collecteur. Par ailleurs, il vise aussi l'étude de l'impact de l'extension urbaine sur l'agriculture périurbaine, dans l'objectif ultime de proposer des solutions techniques fiables permettant la pérennisation de la durée de vie des ouvrages d'assainissement et la protection de l'environnement.

L'étude des risques d'inondation comprend deux parties, la première liée à l'Oued Fès, dans la zone en amont du pont Saâdyine, et la deuxième liée aux débordements du réseau d'assainissement qui peuvent parvenir chaque fois que la capacité d'évacuation présente un pourcentage d'insuffisance élevé.

L'impact de l'extension urbaine sur l'agriculture périurbaine met en relief les surfaces agricoles urbanisées, le déplacement de ces activités en dehors du périmètre urbain et la négligence de leur valeur réelle en dénigrant leur rôle économique et environnemental.

Chapitre I : Présentation de la ville de Fès

I. Situation géographique et cadre administratif

I.1. Situation géographique

La ville de Fès est située à une altitude de 387 m, au point de convergence de quatre grandes régions naturelles, et au croisement de deux grandes parties du Maroc : le Moyen Atlas au Sud et à l'Est, les plaines Fès Meknès à l'Ouest, le Rif au Nord. Elle est implantée au pied de la montagne Tghat (837 m) et de Zalagh (900 m), là où le cours de l'oued Fès après avoir traversé la plaine marécageuse du Saïss s'accélère pour rejoindre l'oued Sebou (Epaulard, 1981).

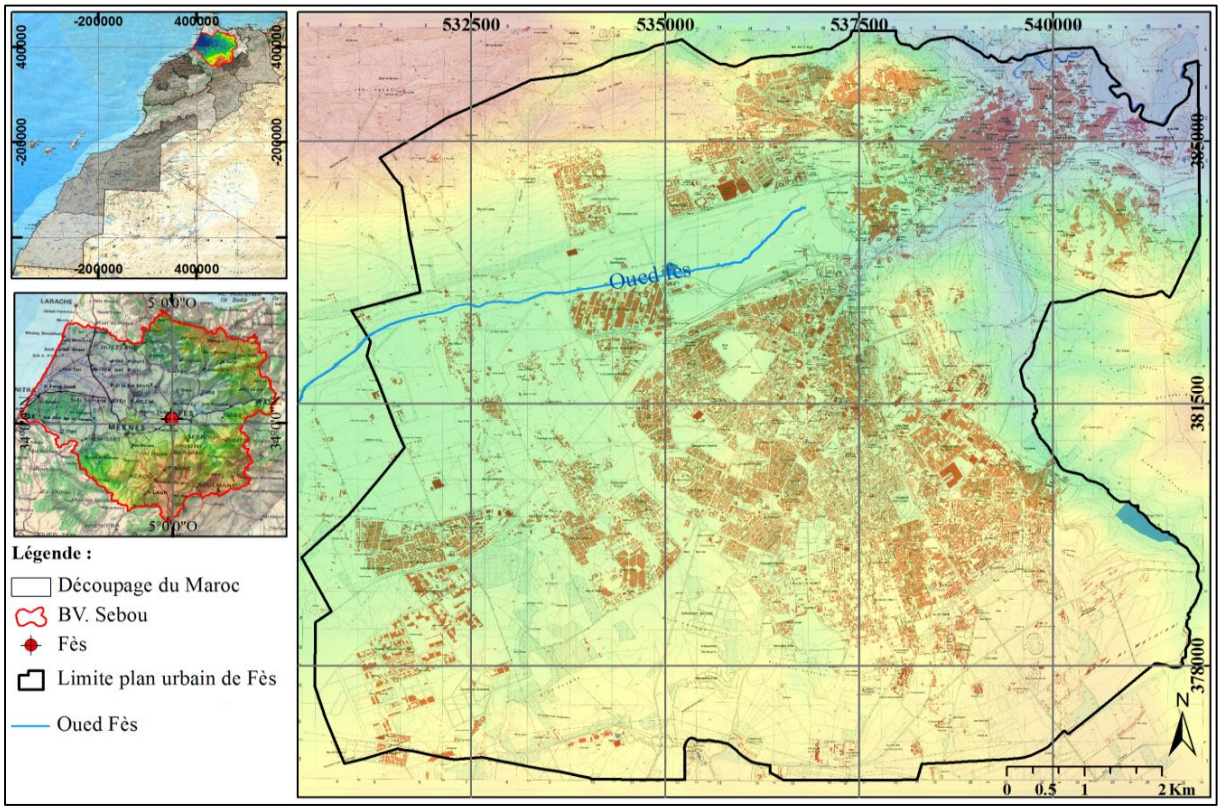


Figure 1 : Carte de localisation de la ville de Fès

I.2. Cadre administratif

La ville de Fès fait partie de la région Fès Meknès selon le nouveau découpage territorial de 2014. La région de Fès-Meknès, fait partie des douze régions que compte le Royaume depuis le découpage régional de 2014, qui a succédé au découpage de 1966.

La région compte actuellement deux préfectures (Meknès et Fès) dont Fès est chef-lieu, et sept provinces (El Hajeb, Ifrane, Sefrou, Taza, Taounate, Boulemane et Moulay Yacoub). Elle est située au Centre Nord du Royaume et couvre une superficie de 39 044 Km², soit 5.47% du territoire national, en plus elle se caractérise par une diversité des milieux physiques et des conditions naturelles.

Par ailleurs, la région Fès Meknès est limitée au Nord par la région de Tanger-Tétouan-Al Hoceima, à l'Ouest par celle de Rabat-Salé-Kenitra, à l'Est par la région de l'oriental et au Sud par celle Beni Mellal-Khenifra et Draa-Tafilalet.

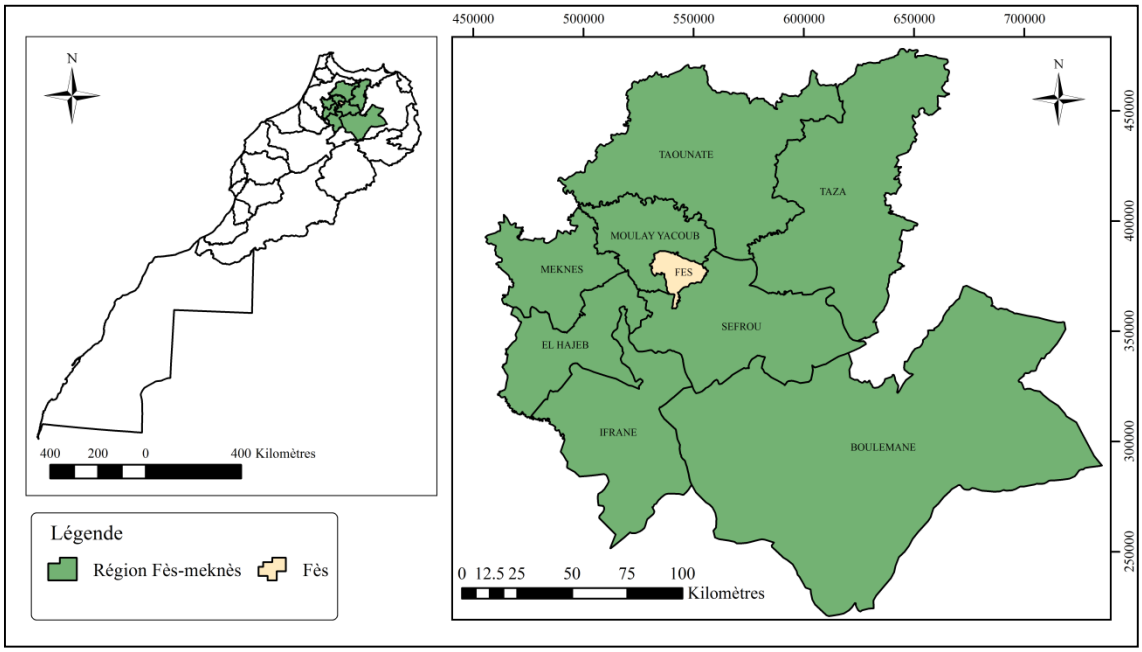


Figure 2 : Cadre administratif de la ville de Fès

La ville de Fès est découpée en 7 arrondissements :

- Arrondissement les Mérinides ;
- Arrondissement Fès-Médina ;
- Municipalité Mechouar-Fès Jdid ;
- Arrondissement Jnane El Ouard ;
- Arrondissement Agdal ;
- Arrondissement Zouagha ;
- Arrondissement Saïs.

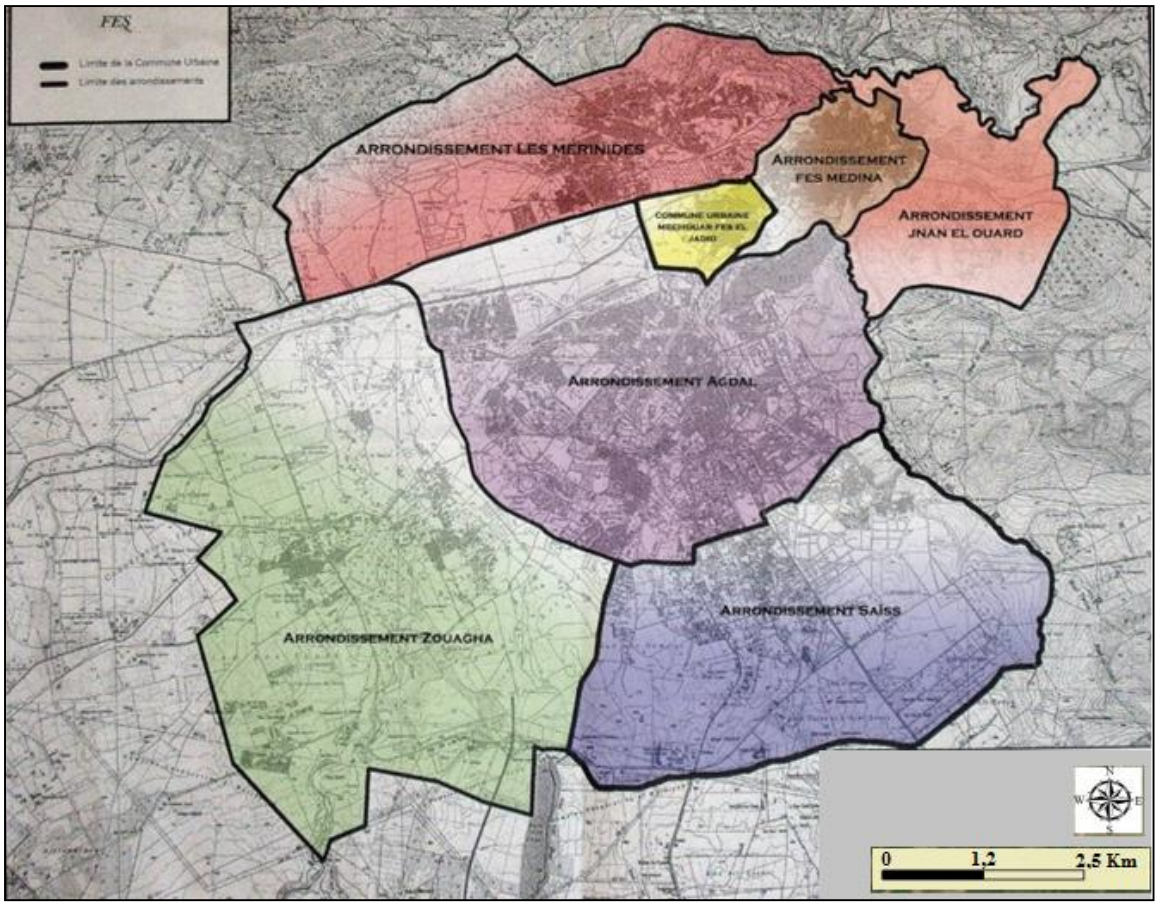


Figure 3 : Découpage administratif de la ville de Fès (Bouadoud et al 2013)

I.3. Ressources naturelles

Concernant les ressources en eau, la région est drainée par d'importants cours d'eau, dont Oued Sebou et ses affluents sont les principaux. Quant aux eaux souterraines, elles sont constituées de neuf nappes. La région offre aussi des opportunités considérables en matière de ressources thermales minérales avec les sources de Sidi Harazem, Moulay Yacoub et Ain Allah.

Parmi ces potentialités, il y a les richesses hydrauliques importantes que recèlent la région et qui qualifient sa partie (Moyen-Atlas), de « château d'eau du Maroc ». A cet effet, des barrages collinaires édifiés selon les spécificités requises par chaque zone, pour l'alimentation en eau potable, l'alimentation de la nappe ou l'irrigation des terres agricoles. Il s'agit notamment, du barrage de Sidi Chahed à la limite Nord de Meknès, Idriss 1er sur l'Oued Inaouène dans la province de Taounate, Allal Al Fassi sur l'Oued Sebou dans la province de Sefrou.

II. Contexte géologique et géomorphologique

II.1.Contexte géologique

Du point de vue géologique, le secteur d'étude fait partie du Sillon sud-rifain central qui est encadré au Nord par la chaîne rifaine et au Sud par la chaîne du Moyen Atlas tabulaire. Ce sillon, qui s'est individualisé au Miocène supérieur sur un substrat géologique composé de

terrain d'âge paléozoïque et mésozoïque, a fonctionné d'abord comme un bassin marin depuis le Miocène supérieur jusqu'au Pliocène moyen puis comme un bassin continental, d'abord fluvio-lacustre puis fluviatile, depuis le Pliocène supérieur jusqu'à l'actuel (Taltasse, 1950 ; Ahmamou 1987 ; Boumir, 1990).

Les formations géologiques paléozoïques sont formées principalement de schistes, de grès et de quartzites. Ces terrains, qui vont depuis l'Ordovicien jusqu'au Carbonifère, affleurent au Sud dans le Massif central et au niveau de certaines boutonnières paléozoïques, situées dans la zone de transition du Moyen Atlas et du bassin du Saïs et dont les plus importantes sont les deux boutonnières d'Imouzzer du Kandar, à l'ENE, et d'EL Hajeb à l'WSW (Ouarhache, 1987 ; Charrière, 1984). Les terrains mésozoïques de couverture reposent en discordance angulaire majeure sur le socle paléozoïque bien tectonisé.

Les terrains triasiques débutent par des conglomérats et grès chenalisés de type fluviatile et se suivent par une sédimentation fine composée de silts et d'argiles plus au moins indurées, de couleur rouge et gypso-salifères. Ces dépôts sédimentaires continentaux à lagunaires comportent des intercalations de roches volcaniques composées principalement de basaltes doléritiques altérés et localement de projections volcaniques, constituées essentiellement de tufs et de cendres plus au moins indurés (Ouarhache, 1987 ; Charrière, 1984). Les terrains jurassiques reposent en concordance angulaire sur le Trias et sont formés principalement par des formations carbonatées (calcaires et calcaires dolomitiques) du Lias inférieur et moyen (El Arabi, 1987).

Ces formations, qui affleurent largement dans le Moyen Atlas au Sud et constituent l'ossature des rides sud-rifaines au Nord, s'ennoient sous les formations miocènes et plio-quaternaires du bassin du Saïs. Elles constituent, grâce à leur étendue et leur nature pétrographique et épaisseur, un aquifère karstique important, et représentent la source la plus importante de la matière minérale carbonatée en solution qui a servi à l'édification et la précipitation des carbonates continentaux plio-quaternaires. Ces carbonates, composés de calcaires lacustres et de travertins, forment des dépôts importants au niveau de la bordure nord du Moyen Atlas et constituent l'essentiel du remplissage plio-quaternaire continental du bassin du Saïs (Ahmamou, 1987).

Les terrains tertiaires reposent en discordance angulaire sur les formations carbonatées jurassiques. Ils sont formés par une grande série sédimentaire marine qui s'échelonnent depuis le Miocène supérieur jusqu'au Pliocène moyen et qui correspond à un cycle sédimentaire. La ride transgressive de ce cycle débute par des conglomérats et des grés, se suit par des silts ocres et se termine par des marnes bleues ou grises de moins en moins sableuses. La série régressive est composée de marnes similaires qui deviennent de plus en plus sableuses vers le sommet et se termine par des grès jaunâtres littoraux, de plus en plus grossiers vers le sommet. L'épaisseur de ces dépôts, à dominante marneuse, atteint environ 1000m au niveau de la ville de Fès. Leur mise en place s'est effectuée dans un sillon profond, dissymétrique et à flanc court du côté de la chaîne rifaine.

Les terrains plio-quaternaires continentaux reposent en discordance angulaire sur les terrains marins néogènes. Ces terrains débutent par une sédimentation fluviatile puis se suivent

par une sédimentation fluvio-lacustre et se terminent par une sédimentation fluviatile qui continue actuellement au fond des vallées actuelles.

Les dépôts fluviatiles, de la base de cette série sédimentaire continentale, sont formés de conglomérats et de grés chenalisés qui se sont mis en place dans des systèmes fluviatiles principalement de type en tresse. Les dépôts fluvio-lacustres sont constitués de carbonates continentaux à intercalations de lentilles conglomératiques et gréseuses. Les carbonates sont formés de travertins de barrages qui passent latéralement à des calcaires lacustres de faciès variés. Les dépôts fluviatiles ultimes sont composés d'épandages conglomératiques de cônes de déjection qui se sont développés aux pieds des reliefs atlasiques et sud-rifains où ils se présentent sous formes de glacis étagés à emboîtés, comme c'est le cas aux pieds des deux rides de Tghat et Zalagh. Ces épandages passent au fond du bassin à des dépôts limoneux argileux à intercalation de lentilles conglomératiques chenalisées. Ces dépôts, qui comportent des intercalations de paléosols, sont coiffés par des croûtes calcaires. Les dépôts fluviatiles de fond de vallées se présentent sous forme de terrasses étagées à emboîtées et de plaine d'inondation. Ils sont formés de dépôts détritiques et de travertins. Les dépôts détritiques sont composés de faciès variés consolidés à meubles, allant des conglomérats et cailloutis jusqu'aux silts argileux. Les travertins sont composés le plus souvent de tufs travertineux en édifices et couches intercalées dans les alluvions fluviatiles.

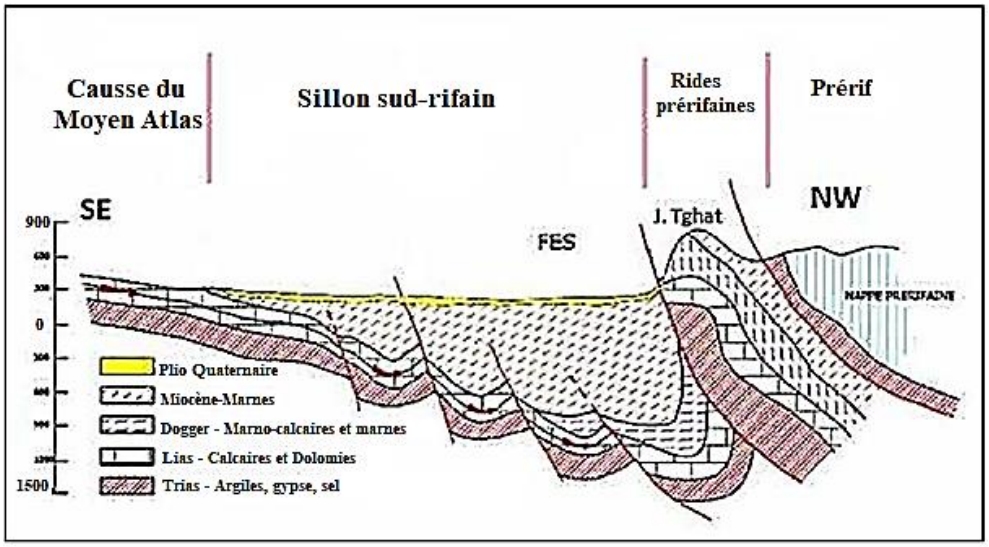


Figure 4 : Coupe géologique schématique du bassin FES- MEKNES (Taltasse, 1953)

II.2. Contexte géomorphologique

La ville de Fès fait partie du bassin du Saïss qui occupe le Couloir sud-rifain ou le Sillon sudrifain central. Ce bassin, considéré du point de vue géomorphologique, comme une vaste gouttière synclinale dissymétrique dont le fond correspond à une grande plaine fertile et intensément cultivée, se tient à une altitude moyenne d'environ 500 m. celle-ci est marquée géomorphologiquement par une rupture de pente de dénivelée importante pouvant atteindre 50 m, appelée la flexure de Taoujdat (Taltasse, 1953).

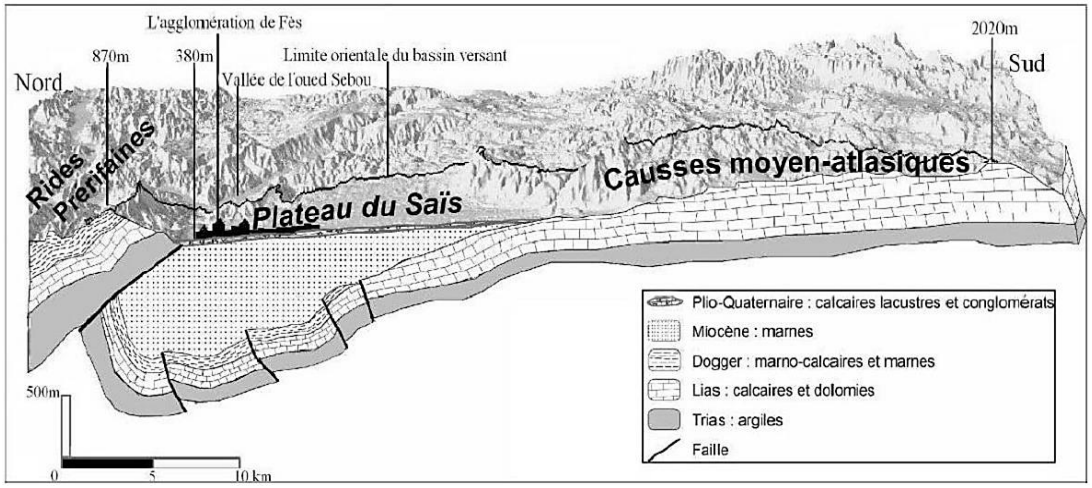


Figure 5 : Morphologie et coupe géologique schématique du bassin versant de l'oued Fès (Reynard et al., 2011)

III. Contexte climatique

La ville de Fès est située dans la partie nord-ouest du Maroc relativement arrosée par rapport au reste du pays. Le type de climat est défini selon les données météorologiques offertes par les stations de la région.

La région de la ville de Fès dispose de plusieurs stations météorologiques bien reparties et éloignées les unes des autres. Les données de la station Fès-DRH sont retenues vu sa situation dans le secteur d'étude et le détail qu'elle offre sur une longue période de l'histoire climatologique de la région.

III.1. Précipitations

L'observation des histogrammes des précipitations moyennes mensuelles et annuelles établit sur une période de 34 ans, depuis 1980 jusqu'au 2015, montre que l'année se répartit en deux saisons (Fig.6 et 7). Une saison sèche qui dure du mois de juin au mois de septembre et une autre humide qui dure du mois d'octobre au mois de mai. Les mois les plus pluvieux de cette saison sont les mois allant de novembre à janvier.

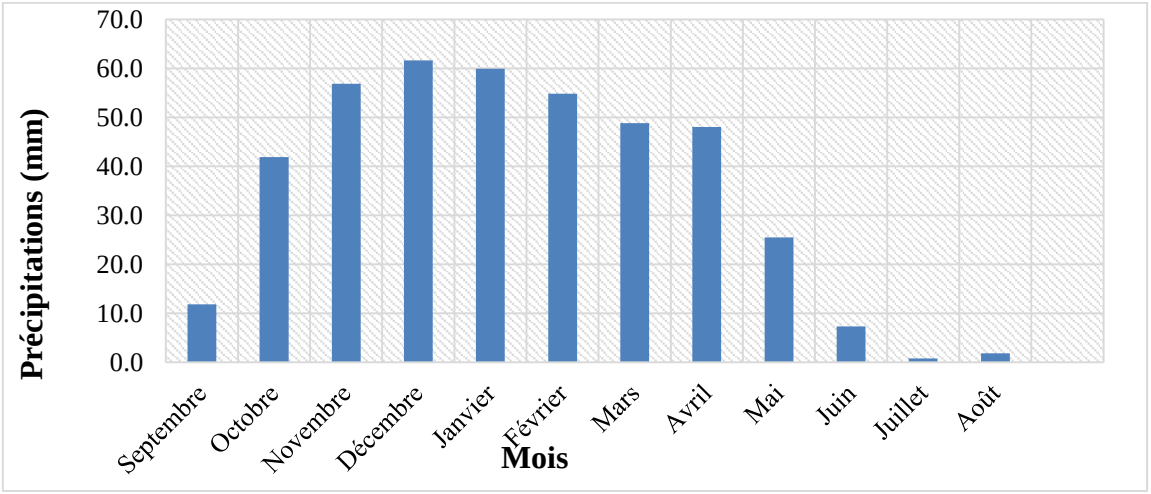


Figure 6 : Précipitations moyennes mensuelles de la station Fès-DRH

Les précipitations moyennes annuelles montrent une importante irrégularité interannuelle avec une alternance irrégulière de périodes plus au moins humides et de périodes plus au moins sèches. Les périodes les plus sèches enregistrent des moyennes pluviométriques de l'ordre de 200 mm alors que les périodes les plus humides enregistrent des moyennes pluviométriques de l'ordre de 800mm. Entre ces périodes extrêmes, existent des périodes à pluviométrie moyenne de l'ordre de 400 à 500mm. Ces périodes sont les plus fréquentes au cours des trois dernières décennies.

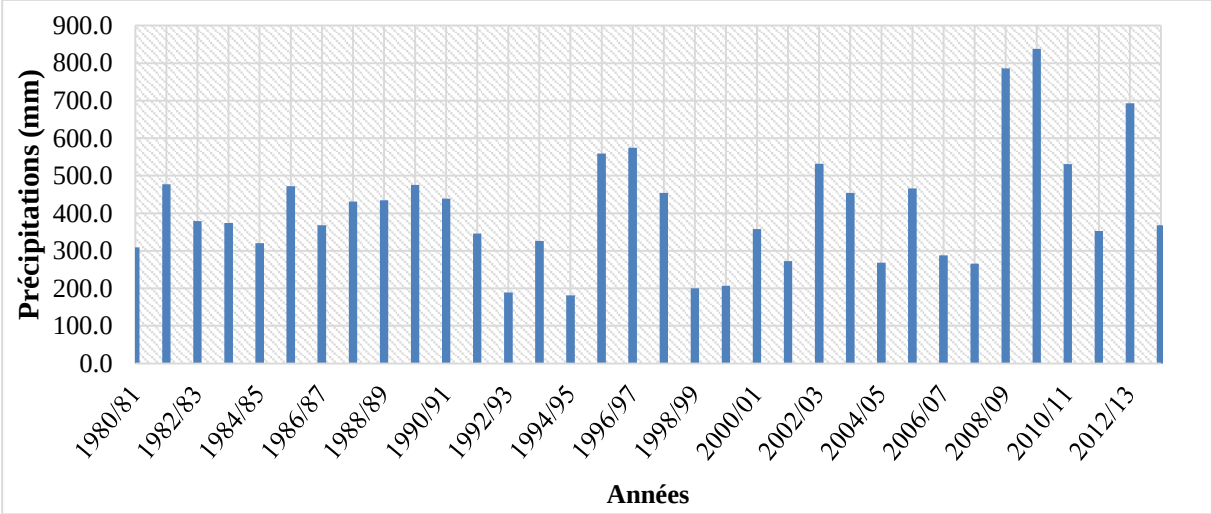


Figure 7 : Précipitations moyennes annuelles entre 1980 et 2015 (ABHS /FES)

III.2. Température

Les données disponibles à la station Fès DRH représentent la période qui s'étale sur 37 ans, allant de 1979 à 2016. La température moyenne interannuelle calculée sur cette période est de l'ordre de 19.27°C.

Les années les plus chaudes sont celles qui montrent des valeurs nettement supérieures à la moyenne interannuelle retenue égale à 17.7°C, tandis que les années les plus modérées sont celles qui révèlent des moyennes annuelles relativement basses.

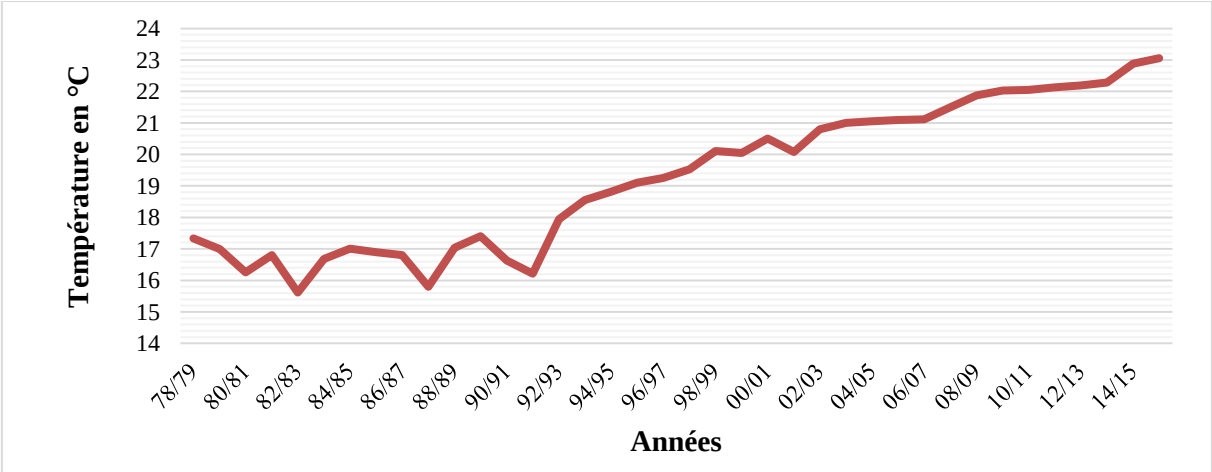


Figure 8 : Températures moyennes annuelles de la station Fès-Sais

IV. Contexte hydrologique et hydrogéologique

IV.1. Contexte hydrologique

L'hydrologie de la région de Fès est caractérisée par un système hydrographique axé sur l'Oued Fès qui coule de l'Ouest vers l'Est, depuis ses sources de Ras El Ma jusqu'au Sebou en traversant l'ancienne médina de Fès. L'Oued Fès a plusieurs affluents le long de son parcours vers l'Oued Sebou qui sont alimentés par des résurgences de la nappe phréatique tels l'Oued Mahraz, l'Oued Miyet, l'Oued Boufkrane et d'autres qui drainent essentiellement les eaux de ruissellement : l'Oued Mellah, l'Oued Smen, l'Oued Ain chkef (El Ouali Alami & al, décembre 2011). Il est limité au Nord par la ligne des crêtes correspondant aux rides pré-rifaines, à l'Ouest par le bassin de l'Oued Nja, à l'Est par le bassin de Sebou et au Sud par des falaises du Causse moyen atlasique d'Immouzer (Figure 9).

Les principaux oueds qui traversent la ville de Fès sont respectivement :

- Oued Fès : prend naissance de la source de Ras El Ma et a plusieurs affluents et plusieurs sources ; son bassin versant a une superficie de 400 km² et une longueur d'environ 28 km ;
- Oued Boufkrane : prend origine de la source Ain Rta, située au pied de Jbel Ksiksou dans la région de Bhalil ; sa direction d'écoulement est SE-NW et la superficie de son bassin versant est de l'ordre 40 km^2. Il reçoit l'eau de plusieurs sources ;
- Oued El Mahrez : circule dans un bassin versant de superficie de 122 km^2 et ayant une longueur d'environ 10 km, il est presque sans débit notable en dehors des périodes pluvieuses ;
- Oued El Himmer : la superficie de son bassin versant est de 80 km², il traverse la plaine à trois reprises avant de se jeter dans un canal appelé précédemment la Seguia de Zouagha pour rejoindre Oued Fès ;
- Oued Ain Chkef : comme son nom l'indique, il prend son origine de la source Ain Chkef ; généralement son écoulement a une direction S-N et la superficie de son bassin versant est de 11 km^2 ;
- Oued Ain Smen : prend son origine de la source de Ain Smen et traverse la plaine de Saiss dans la partie ouest avec une superficie de son bassin versant de 14 km^2 ;
- Oued Bourkaiz : prend naissance de la source de Ain Bou Rkaiz ; son écoulement à direction S-N ;
- Oued Ain Cheggag : prend naissance de la source d'Aïn Cheggag ; son écoulement est du Sud vers le Nord ;
- Oued El Melah : prend naissance des rides pré-rifaines.

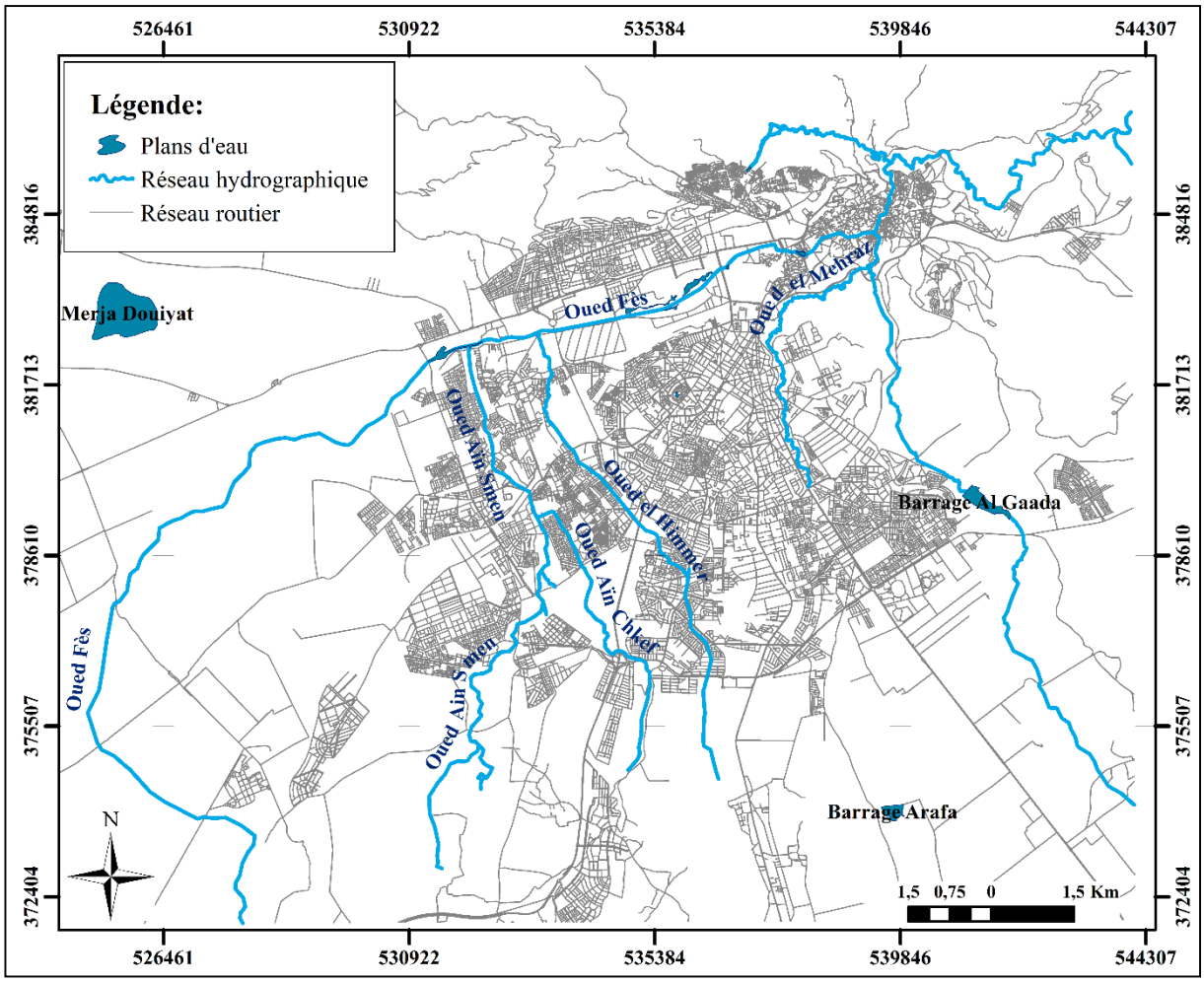


Figure 9 : Carte du réseau hydrographique de Fès

IV.1.1 Caractéristiques des bassins versants élémentaires

Les principaux oueds qui contribuent à la formation des débits de pointe les plus importants à l'entrée de la ville (Oued Boufkrane, Oued Mehrez et Oued Himmer) ont des bassins versants avec une superficie comprise entre 50 et 130 km^2, des longueurs d'une trentaine de kilomètres et des dénivelées de 800 à 1000 m (ABHS, décembre 2004).

Tableau 1 : Caractéristiques des sous bassins versants de l'Oued Fès (ABHS, 2004)

Oued	Section	Superficie du bassin versant (km^2)	Longueur du plus grand thalweg (km)	Dénivelé (m)
Boufkrane	Barrage Blad Gaada	39	24	695
	Entrée de la ville	48	28	775
El Mahraz	Barrage My Arafa	103	18	645
	Entrée de la ville	122	22	700
	Digue El Mahraz	130	27	770
El Himmer	Sortie des reliefs	19	10	631
	Aéroport	49	24	940
	Entrée de la ville	80	36	1084
Ain Chkef	Confluence avec AinSmen	11	9	131
Ain Smen	Confluence avec A. Chkef	14	12	140
Fès	Quartier Moulay Abdellah	41	21	424

IV.1.2 Hypsométrie du bassin versant de l'Oued Fès

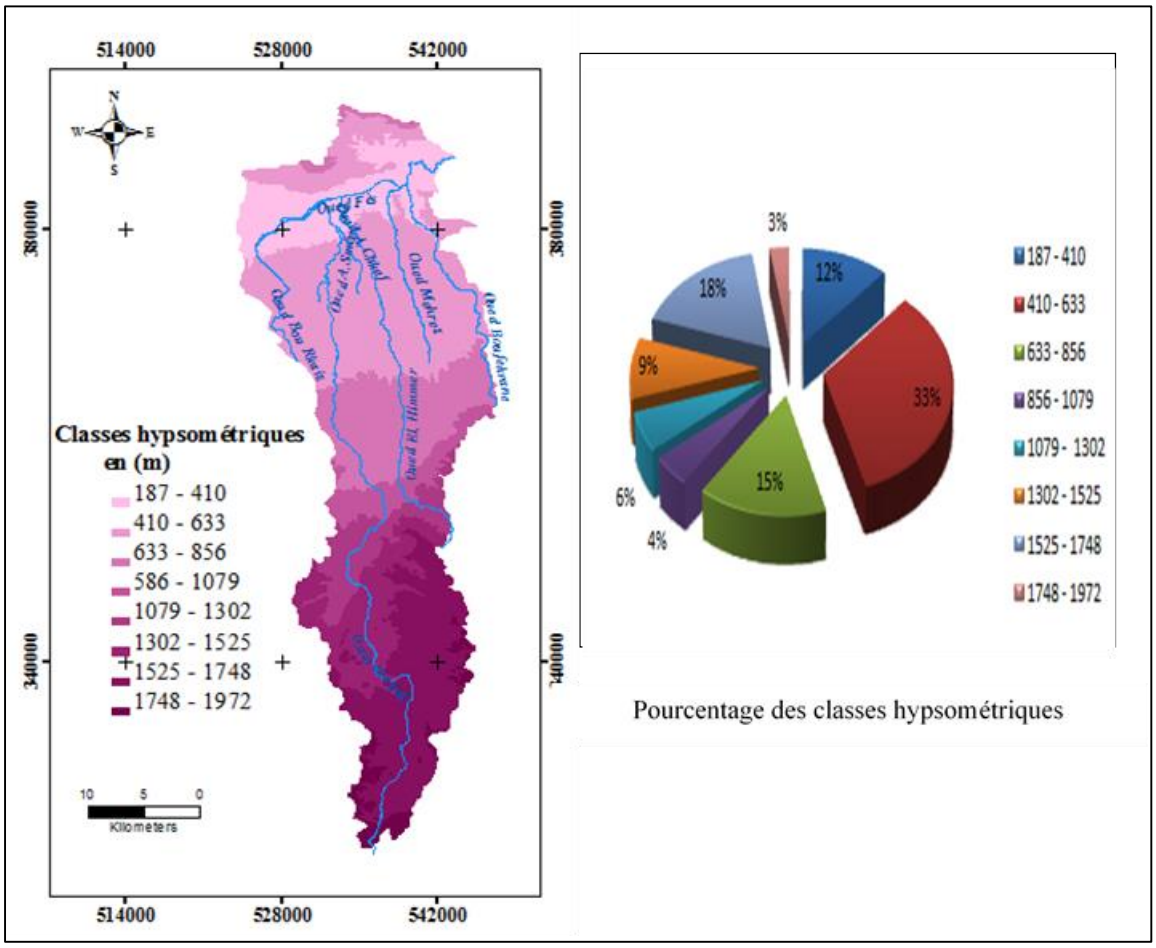


Figure 10 : Carte hypsométrique et pourcentage de surface des classes de relief du bassin versant de l'Oued Fès (ABHS, 2013)

D'après la courbe hypsométrique on constate que les altitudes les plus élevées sont concentrées au Sud du bassin versant (le Causse moyen atlasique) avec un pourcentage d'occupation qui ne dépasse pas les 3% couvrant une superficie égale à 2348 ha.

Suivant l'écoulement du Sud vers le Nord, les altitudes qui diminuent à 1748m couvrent un pourcentage de 18% et une surface de 15210 ha. La classe hypsométrique 1302-1525 couvre une superficie de 8043ha avec un pourcentage d'occupation de 9%, tandis que la classe 1079-1302 occupe une surface de 5073ha avec un pourcentage qui ne dépasse pas les 6%. Les altitudes continuent la diminution jusqu'à atteindre la classe de 856-1079 avec un pourcentage d'occupation de 4% et une superficie de 3817ha. En atteignant la plaine de Saïss, les altitudes tiennent des valeurs moins élevées en arrivant à la classe hypsométrique 633-856 et occupant une surface de 12749ha avec un pourcentage de 15%. Les altitudes atteignent les187m avec une superficie de 10325ha et un pourcentage de 12% au niveau de la vallée de l'Oued Fès (Fig. 11 et Tab.2).

Tableau 2 : Fréquences et pourcentages cumulés au-dessus de la limite inférieure

Classes d'altitude (m)	Surface (ha)	% du totale de la surface	% au-dessus de la limite inférieur
187 – 410	10325.48	12%	100
410 – 633	28947.66	33%	88
633 – 856	12749.5	15%	55
856 – 1079	3817.06	4%	40
1079 – 1302	5073.15	6%	36
1302 – 1525	8043.63	9%	30
1525 – 1748	15209.91	18%	21
1748 – 1972	2347.17	3%	3

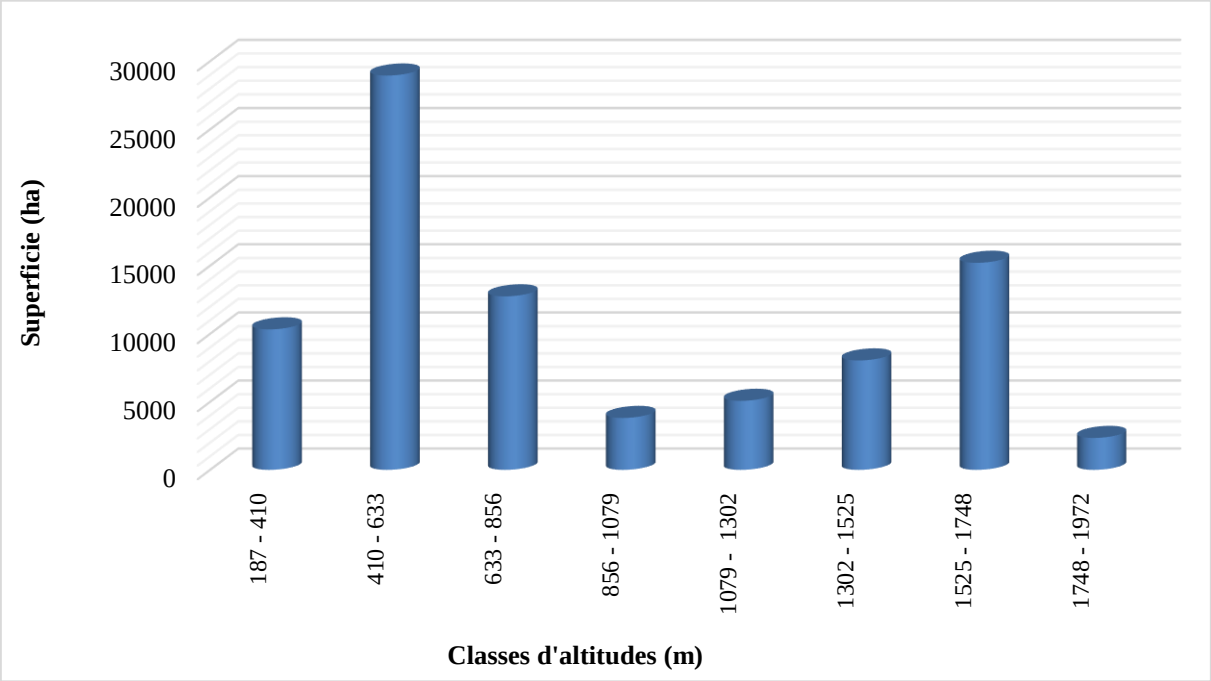


Figure 11 : Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la superficie (Khaissidi, 2013)

Les différentes caractéristiques statistiques du bassin versant de l'Oued Fès :

- la valeur maximale de l'histogramme des fréquences altimétriques, au niveau du bassin versant de l'Oued Fès est celle de la classe (410 - 633) avec une superficie de 28947.66 ha.
- l'altitude moyenne est l'abscisse moyenne de la courbe hypsométrique est de 1079 m.
- l'altitude de fréquence 1/2 (la médiane) définit l'altitude qui correspond à 50% de la surface totale du bassin versant, sur la courbe hypsométrique. Dans notre bassin, la classe médiane est 633 – 856.

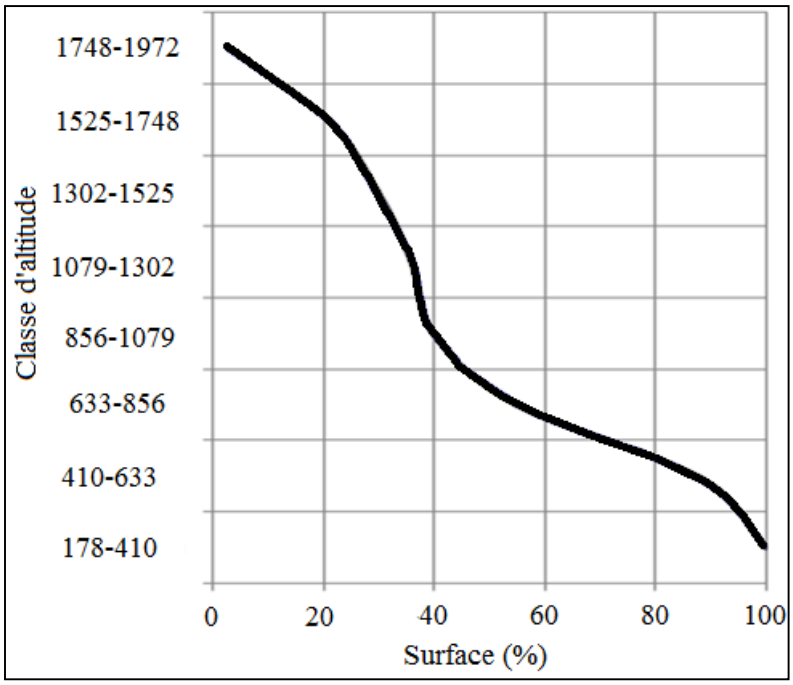


Figure 12 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Fès (ABHS, 2013)

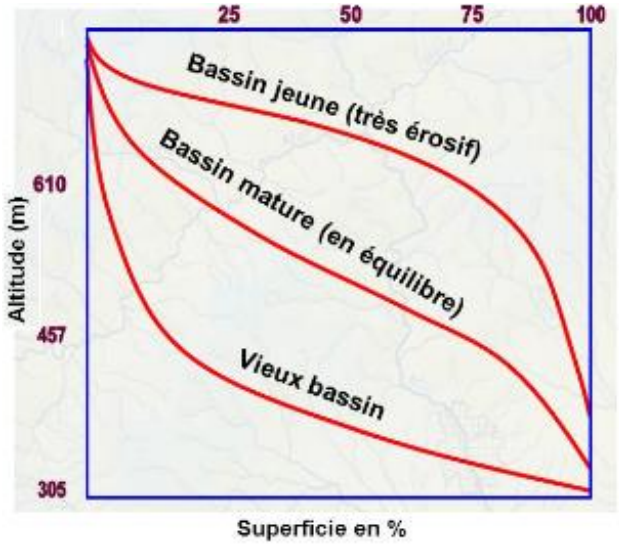


Figure 13 : Interprétation de la courbe hypsométrique

D'après la courbe hypsométrique (figure12) le changement de la surface cumulée se traduit par un changement faible de l'altitude, ce qui évoque le cas d'un bassin versant mature ou en cours de dégradation.

IV.1.3 Pente du bassin versant de l'Oued Fès

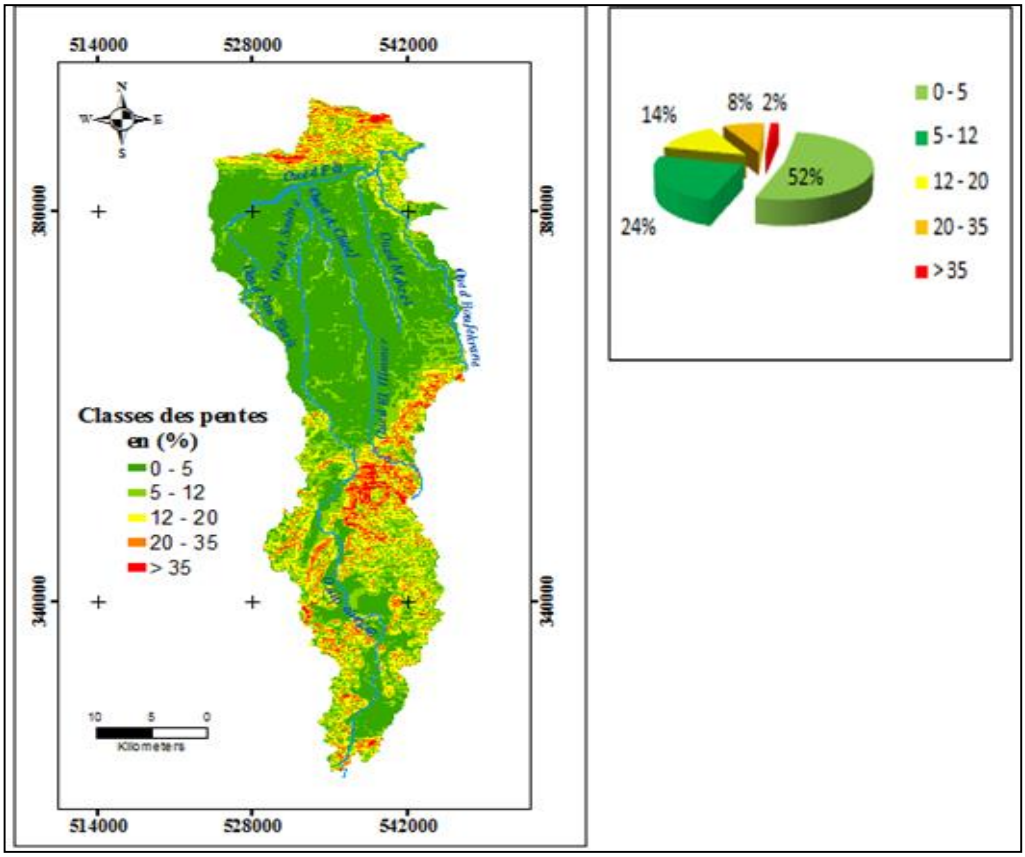


Figure 14 : Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Fès (Khaissidi, 2013)

La carte des pentes du bassin versant de l'Oued Fès est marquée par des fortes pentes qui sont respectivement concentrées au Nord et au Sud occupant une superficie faible environ 1472 ha soit 2% de la superficie du bassin versant de l'Oued Fès.

Les pentes modérées sont implantées sur différentes zones du bassin versant au voisinage des pentes fortes. Elles sont représentées par différentes classes (05-12, 12-20, et 20-35) avec un pourcentage d'environ 46%.

Les faibles pentes occupent la partie majoritaire du bassin versant et elles sont concentrées sur la partie centrale (plaine de Saiss) avec un pourcentage de 52% et une superficie d'environ 45350 ha.

IV.2. Contexte hydrogéologique

Appartenant à la région de Fès-Meknès, la ville de Fès se situe dans une zone riche en ressources en eau souterraine, réparties sur plusieurs nappes dont principalement :

- la nappe du bassin Fès-Meknès (phréatique et profonde) ;
- la nappe du couloir de Fès-Taza ;
- la nappe du Causse du Moyen Atlas ;
- la nappe du Moyen Atlas plissé.

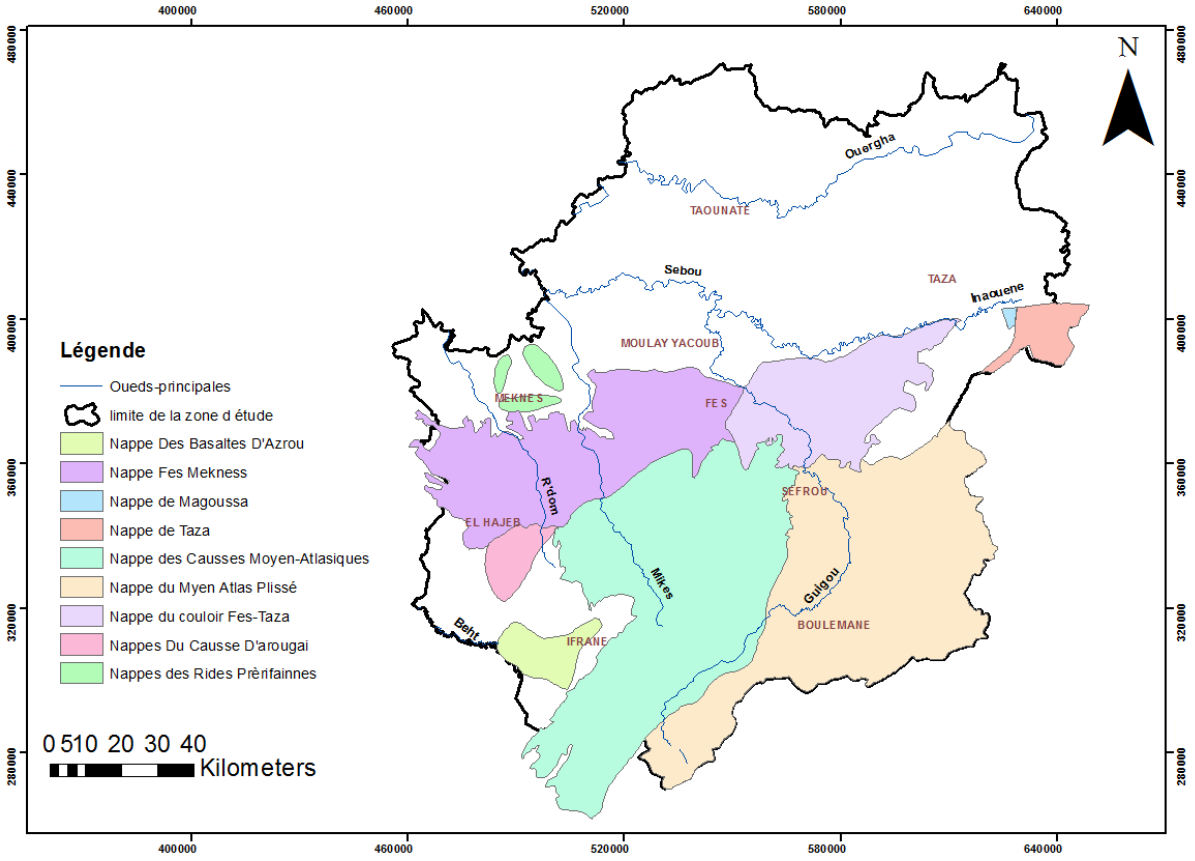


Figure 15 : Carte des nappes phréatique de la région Fès-Meknès (ABHS, 2013)

Ces nappes phréatiques constituent les principales ressources en eau souterraine de la région Fès-Meknès, contribuent à son développement socio-économique du fait qu'elles assurent l'approvisionnement en eau des périmètres irrigués ainsi que l'alimentation en eau potable et industrielle.

IV.2.1 Nappe phréatique de la Plaine de Saïss

Elle circule principalement dans des grès et des conglomérats et les calcaires lacustres reposant sur des sables plus ou moins argileux au centre et à l'Ouest de la Plaine de Saïss, sa superficie globale est de l'ordre de 2100 Km².

L'épaisseur de l'aquifère pour la plus grande partie de la Plaine de Saïss varie entre 20 et 50 m, elle devient beaucoup plus importante dans les cuvettes miocènes avec des épaisseurs moyennes entre 30 et 70 m.

Les niveaux piézométriques de la nappe phréatique du bassin de Saïss varient entre 300 et 900 m, ils sont de l'ordre de 300 m au Nord-Est de la nappe et plus de 870 voire 900 m au niveau de la limite Sud-ouest (figure 16).

L'écoulement général de la nappe se fait du SSE (piémont du causse atlasique) vers le NNE (rides pré-rifaines) dans le plateau de Meknès et du SSW vers le NNE dans la plaine de Fès.

Selon les données fournies par les organismes étatiques compétents, l'historique de la piézométrie de la nappe montre des variations du niveau piézométrique en fonction des années avec une tendance générale à la baisse (Figure 17). Cette baisse quasi-générale des niveaux de la nappe est la conséquence directe du déficit pluviométrique, qui dure depuis le début des années 80 et de l'augmentation des prélèvements agricoles par pompage qui en découlent.

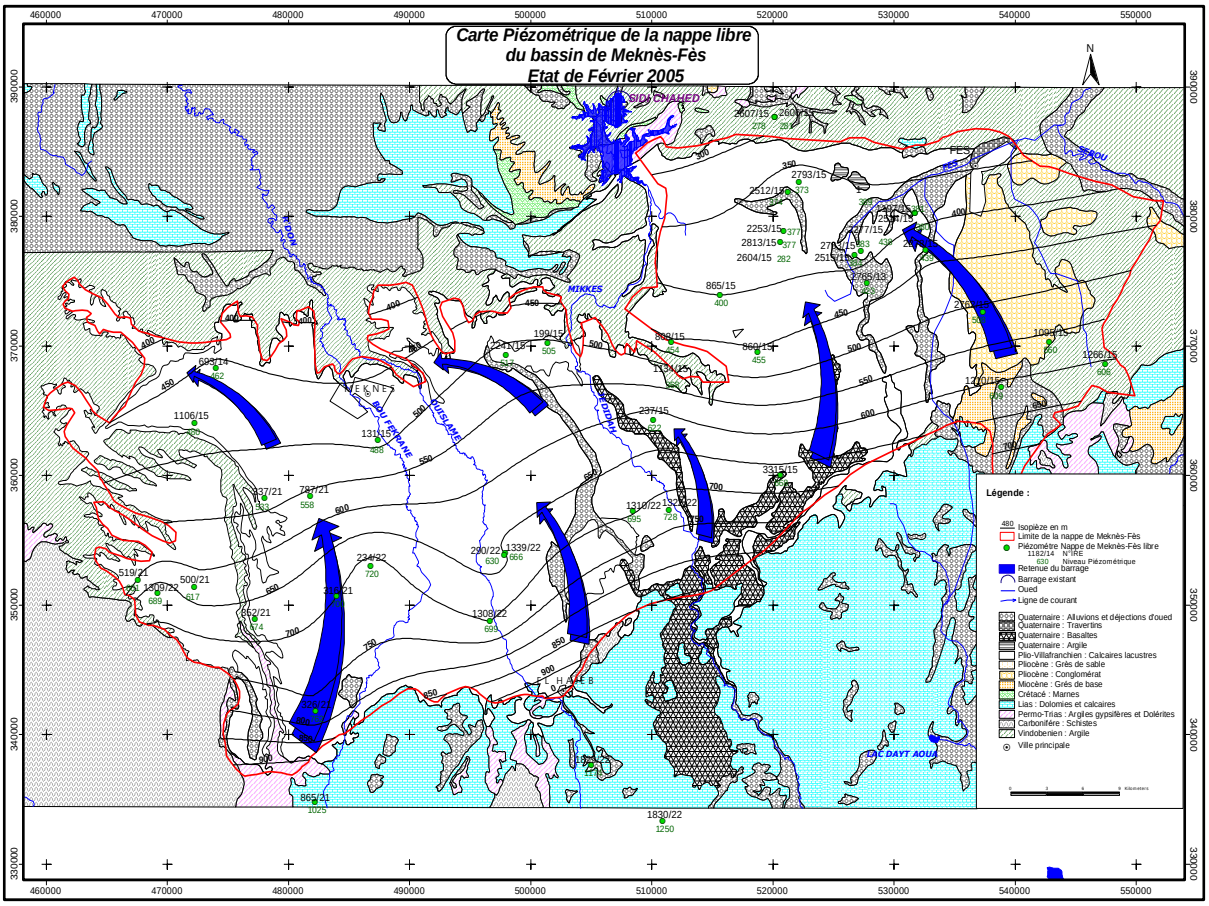


Figure 16 : Carte piézométrique de la nappe libre du bassin de Fès (ABHS, 2007)

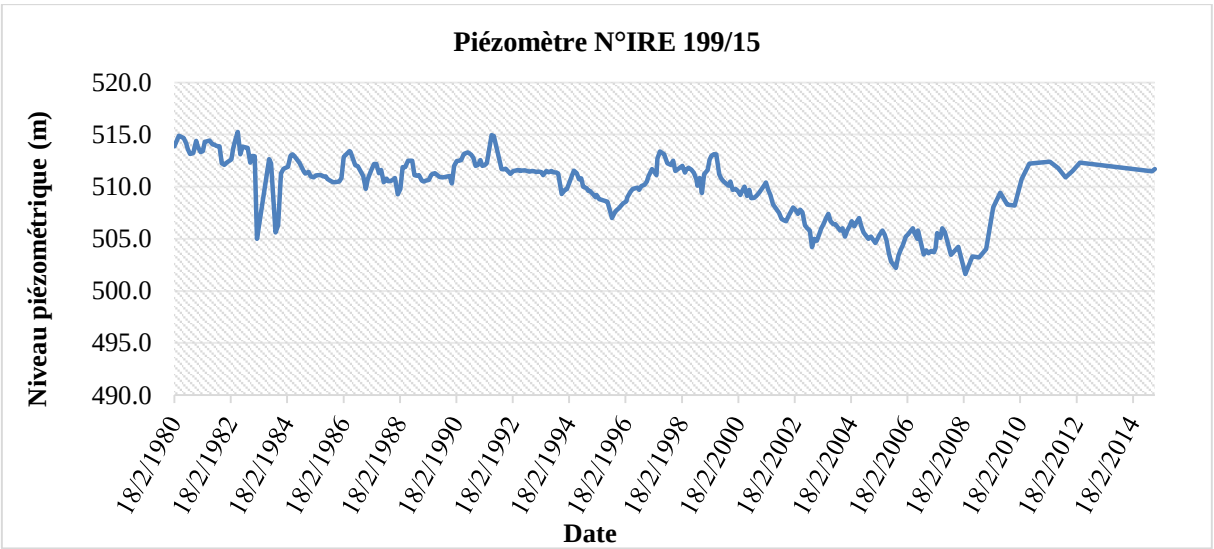


Figure 17 : Niveau piézométrique de la nappe phréatique du secteur central du bassin de Fès-Meknès (ABHS,2015)

IV.2.2 Nappe profonde

Cet aquifère présente des épaisseurs allant de 30 m sur la bordure sud jusqu'à 760 m au Nord de la plaine, il couvre une superficie d'approximativement 3500 Km² et siège principalement dans les formations calcaires dolomitiques fissurées du Lias. Sous l'effet de la tectonique, cet aquifère est subdivisé en plusieurs panneaux (Saïs, Haj Kaddour, Meknès…) qui sont éventuellement inter-communicants par endroits.

Les cotes de la surface piézométrique fluctuent entre 350 m au Nord au niveau de la limite N-W du bassin de Saïss et 1000 m au Sud (au voisinage d'El Hajeb). L'écoulement général de la nappe se fait du sud vers le NNE du bassin de Saïss et vers le NNW dans le plateau de Meknès.

Les niveaux piézométriques de la nappe ont connu une baisse continue depuis le début des années 80. Cette baisse est beaucoup plus importante dans le plateau de Meknès où elle est d'environ 2,6 m/an et varie entre 1,4 et 1,9 m/an dans le bassin de Saïss.

L'analyse de l'historique piézométrique du piézomètre 290/22 montre une baisse du niveau, ceci est dû à la surexploitation de la nappe (Figure 19). La baisse approximative moyenne des niveaux de la nappe peut être estimée à environ 2 m/an (ABHS, 2013).

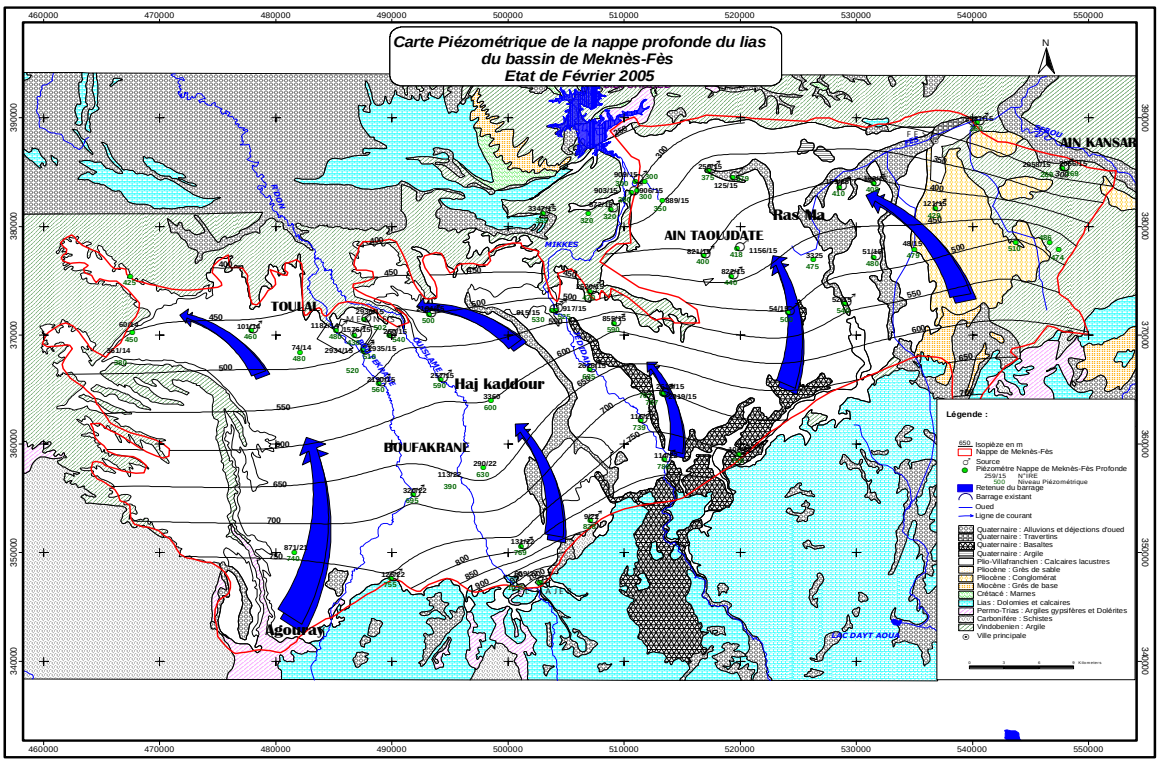


Figure 18 : Carte piézométrique de la nappe profonde du Lias du bassin Fès-Meknès (ABHS, 2007)

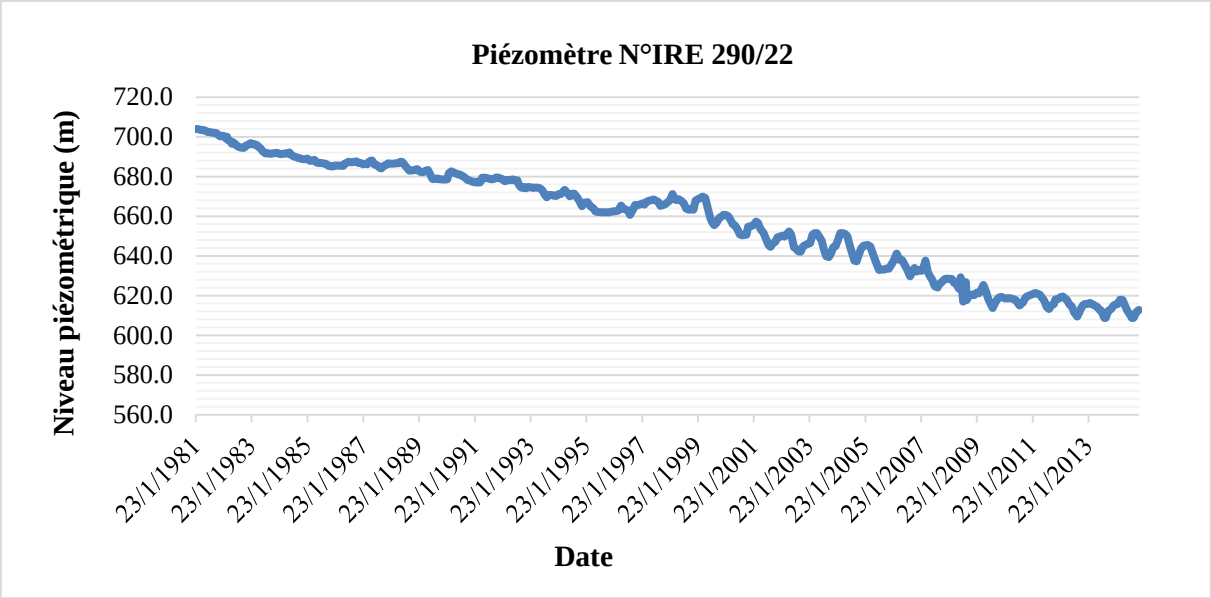


Figure 19 : Historique piézométrique de la nappe du Lias (Sud du plateau de Meknès Piézomètre N°IRE290/22) (ABHS,2015)

IV.2.3 Nappe phréatique du Couloir Fès-Taza

Couvrant une superficie d'environ 1200 km², le Couloir de Fès-Taza renferme deux principaux aquifères, le premier est représenté par les carbonates liasiques représentant l'aquifère principal du fait qu'il capitalise une ressource mobilisable de plus de 265 Mm^3/an. Le second est représenté par les grès du Miocène avec un faible potentiel mobilisable.

L'aquifère représenté par les carbonates liasiques, sous l'effet des mouvements tectoniques subis par le bassin, est divisé en plusieurs compartiments. Ces derniers sont limités par des failles et drainés par plusieurs sources ce qui rend difficile une caractérisation hydrogéologique précise.

La carte piézométrique tracée à partir des relevées de février 2005 montre que dans le secteur sud-ouest du Couloir, la nappe phréatique du Lias, en charge sous les marnes, s'écoule vers le Nord avec une pente comprise entre 2 et 3% (Figure 20).

Les exutoires de la nappe phréatique dans ce secteur sont quatre sources principales (El Ouali, Lekseb, Atrouss et Skhounate) localisées à proximité du confluent des Oueds Sebou et Lyhoudi. Les sources de Lekseb, Atrouss et Skhounate sont alignées suivant une direction Nord-Est/Sud-Ouest, pouvant correspondre à un alignement tectonique. Les sources de Skhounate, Atrouss et Lekseb sortent de griffons karstifiés dans les grès conglomératiques calcaires de la base du Miocène qui recouvrent les dolomies liasiques sur une épaisseur de quelques mètres. La source d'El Ouali sort des bancs dolomitiques et calcaires situés immédiatement sous les grès de la base du Miocène.

Plus à l'Est, en amont du barrage d'Allal El Fasi, la nappe phréatique liasique s'écoule vers le Nord avec un gradient de l'ordre de 2,5%. Cette nappe, libre jusqu'à environ 8 km du barrage, devient captive à l'aval sous les formations miocènes.

Dans la partie centrale du Couloir Fès-Taza, la piézométrie de la nappe reflète les conditions de gisement du Lias : le gradient d'écoulement très élevé (8%) sur les pourtours du Tazzeka s'abaisse à 1% sous la Rhomra. Cette diminution progressive du gradient vers l'aval traduit les conditions géométriques de piedmont dans la partie proche du Tazzeka et l'effet d'écran étanche créé vers le Nord par les nappes pré-rifaines.

Dans le versant nord-ouest du Tazzeka, les formations géologiques du Lias affleurent largement et ne sont pas recouvertes que très partiellement à l'extrême Nord du Couloir. Il s'agit d'une série de horsts plus ou moins surélevés par des failles de direction Nord-Ouest/ Sud-Est. L'écoulement est de direction majeure Sud-Est/Nord-Ouest avec un gradient relativement constant de l'ordre de 2,5% (Hamdani, 2015).

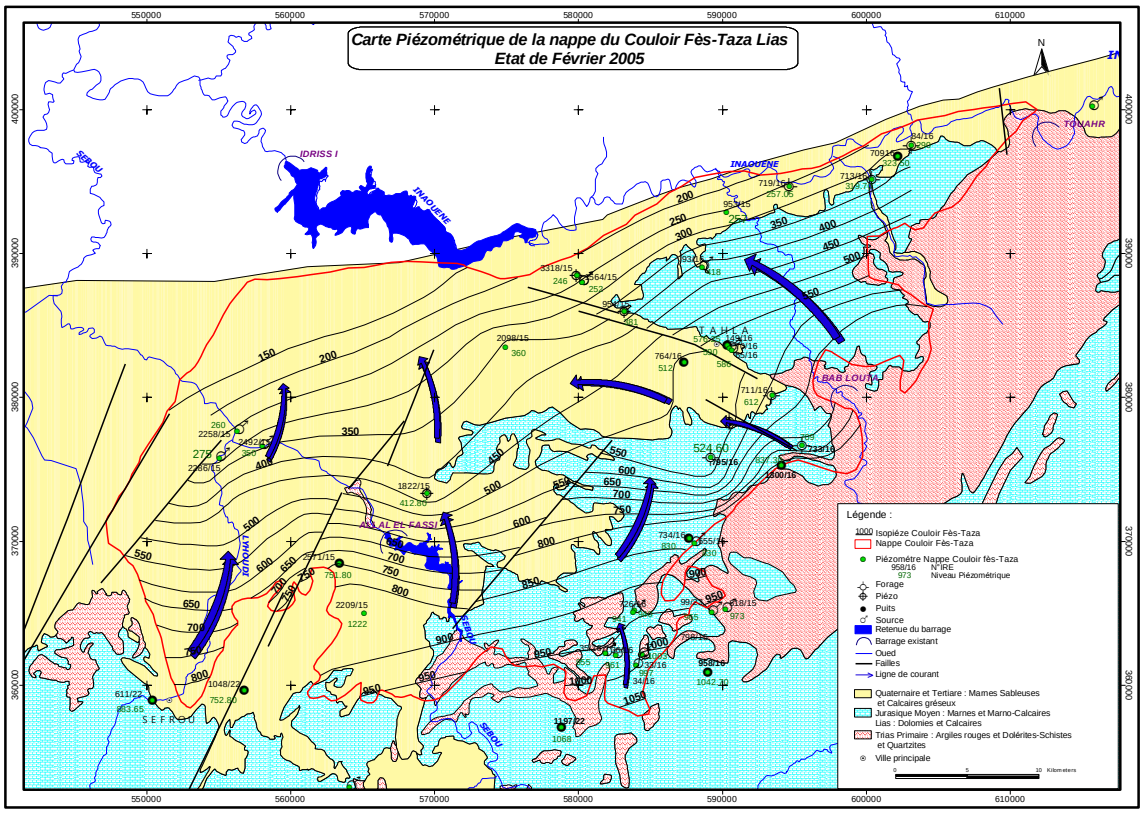


Figure 20 : Carte piézométrique de la nappe du Couloir Fès – Taza de (ABHS, 2007)

V. Conclusion

Située au centre du pays, la ville de Fès constitue la capitale de la région Fès-Meknès et le carrefour entre l'Est et l'Ouest du royaume. Elle est située dans une zone relativement arrosée par rapport aux autres villes marocaines. De point de vue géomorphologique, elle est située dans un bassin considéré comme une vaste gouttière synclinale dissymétrique, dont le fond correspond à une grande plaine fertile et intensément cultivée. Elle est traversée par plusieurs Oueds, constituant un réseau hydrographique axé sur l'Oued Fès qui s'écoule de l'Ouest vers l'Est et traverse l'ancienne Médina pour déboucher dans l'Oued Sebou en aval.

Chapitre II : Historique du périmètre urbain de la ville de Fès

I. Historique de l'urbanisation de la ville de Fès

L'histoire de la ville met en relief les composantes arabe et berbère, politique et religieuse, artistique et commerciale qui persistent dans la nature contemporaine d'une cité qui a connu son apogée au 14ème siècle. De même, sa dynamique de croissance au fil du temps s'est effectuée de façon originale et toujours dans la même direction, en remontant le cours de l'Oued Fès.

La ville de Fès a été fondée à la fin du 8ème siècle par Idriss 1er, un des descendants du Prophète. Peu avant sa mort, il y transféra sa capitale jusqu'alors située à Volubilis. Il s'agit alors d'une cité assez frustre d'origine berbère installée dans une cuvette creusée dans le calcaire par l'Oued Fès. Sa situation, au carrefour de la grande Plaine du Saïs au Sud-Ouest et de la vallée du Sebou à l'Est, en fait un site privilégié sur les routes marchandes. De nombreuses sources, résurgences de la nappe phréatique et la confluence de trois Oueds, lui apportent de l'eau en abondance. Le site possède donc d'énormes avantages pour permettre à cette agglomération de se développer.

Vingt ans plus tard, Idriss II crée sur la rive gauche une extension plus complète comprenant Palais Royal, mosquées, canaux et murailles.

Au 9ème siècle, ces deux quartiers vont accueillir des réfugiés musulmans d'Espagne sur la rive droite, aujourd'hui quartier des Andalous, et sur la rive gauche des Arabes de Tunisie aujourd'hui quartier des Kairouanais. Ces nouveaux arrivants stimulèrent ces deux cités naissantes par l'apport conjoint des techniques et des modes de vie élaborés, mais très différents. Il en résulte l'instauration à Fès d'une civilisation originale. Toutefois les deux cités continuèrent à se développer derrière leurs murs respectifs.

Au 11ème siècle, un nouvel apport est donné par l'arrivée de la dynastie Almoravide et par l'action de Youssef Ben Tachfine qui a unifié les deux cités en un seul ensemble. Les Almohades accentuèrent au 12ème siècle la modernisation de la ville en installant à proximité de l'Oued des moulins, des tanneries, des ateliers de cuivre et de céramique (Pinceau, 1991).

En 1145, les Almohades s'emparèrent de la ville et détruisirent les remparts et la Kasba. Le Calife Almohade Mohamed en-Nasir reconstruit une solide ceinture autour de Fès, et ce furent les remparts définitifs de la ville avec ses portes parfois monumentales (Gaillard, 1905).

En 1248, la ville de Fès est sous « la coupe » d'une nouvelle dynastie, les Mérinites avec Abou Yousof Ya'koub qui fonde une nouvelle ville : Fès Jdid (Fès la Nouvelle). Il créa le Mellah, quartier uniquement réservé à la population juive au XIVème siècle. Les Mérinites sont aussi à l'origine de nombreuses medersas (école coranique).

Après l'arrivée des Saadiens en 1549, ces derniers conquièrent la ville par la violence et fondent la ville de Marrakech, qui deviendra à son tour la capitale du Royaume marocain.

Une sombre période précède l'arrivée des Alaouites, avec Moulay Rachid en 1666, ancêtre de l'actuel roi. La ville de Fès avait à cette période-là une composition qui traversait les époques et ne subissent que de légères modifications jusqu'en 1912.

Les villes nouvelles européennes au Maroc sont nées entre 1910 et 1920. Ces années-là ont été marquées par l'expérimentation et l'innovation ; en effet la constitution de l'urbanisme comme une discipline autonome dans les années 1910 et le développement de l'architecture régionaliste en France ont permis à ces expériences urbaines de voir le jour. Mais les problèmes liés aux facteurs politiques, économiques et culturels posés par ces villes ont été à l'origine des recherches des solutions originales dans un pays où architecture et urbanisme rimaient avec traditions. Les urbanistes ont appliqué six principes aux villes marocaines, et, en particulier à la ville de Fès (Marrast & Vois, 1960) :

- emplacement de voirie principale avec des repères d'alignement et de nivellement qui définissent les voies destinées à être les grandes voies d'accès à la ville. Entre ces diverses artères, les terrains seraient laissés libres pour "des îlots susceptibles d'une utilisation pratique" ;
- emplacements de terrains seraient réservés aux services publics, "puissants foyers d'attraction ;
- emplacements prévus pour des places, des jardins ;
- répartition en quartiers (zoning) de la superficie urbaine (quartiers industriels, quartiers d'habitations, de petits commerces et quartiers de plaisance) ainsi que le "cantonnement dans certains secteurs des établissements dangereux, incommodes ou insalubres" ;
- importance de répondre à des conditions «de salubrité, d'esthétique» (obligation de respecter des législations de hauteur, l'introduction de portiques dans l'architecture le long de certaines voies, l'instauration de recul sur l'alignement, la construction des villas…) ;
- introduction de réseaux de moyens de transports en commun (chemin de fer, bus....).

Pendant la colonisation, les projets d'extension des villes du Maroc avaient des données très éloignées des théoriciens français depuis le XIXème siècle. L'urbaniste Henri Prost et le Maréchal Lyautey ont été à l'origine, avec les moyens légaux du Protectorat, de la création des villes nouvelles au Maroc. L'impact des directives de Lyautey proviennent de l'inscription des collègues de Prost dans la mouvance des idées du Musée Social, avec lequel Henri Prost entretenait d'étroites relations, car l'école française de l'art urbain dominait la Société Française des Urbanistes crée en 1911. Deux des principes que Lyautey et Prost mettent en avant dans leur politique d'urbanisation permettent de comprendre les moyens qui ont été mis en œuvre pour la création des villes nouvelles (Marrast & Vois, 1960) :

- Le respect de l'intégralité artistique et sociale des villes anciennes ;
- L'application aux villes nouvelles des "règles de l'urbanisme les plus modernes".

A Fès, près de la moitié des terrains inclus dans la ville nouvelle étaient la propriété de l'Etat (biens Makhzen) ou bien de fondations religieuses contrôlées par lui (Habous). Ces lots

de terre ont constitué les premiers lotissements qui furent mis en vente en 1916, à prix réduits avec obligation de bâtir (Hoddé et Rossi, 2002).

Ainsi, le remembrement, les associations syndicales et la cession des terrains Habous (Ministère des Affaires Islamique) ont généré une politique foncière qui a permis aux municipalités d'urbaniser sans que cela coûte trop, tout en laissant aux constructeurs les bénéfices de leurs entreprises. Les terrains compris entre ces lotissements et la gare de chemins de fer, étaient des propriétés privées où la construction a été faite par la suite.

Le Centre Urbain de la ville de Fès, 3ème agglomération au recensement de 1982 derrière Casablanca et Rabat, devant Marrakech et Meknès, représente à cette date 5,14% de la population urbaine du Maroc. Ville de rang majeur, Fès bénéficie également d'une localisation privilégiée.

Au pied du massif pré-rifain du Zalagh et, en vue des premiers contreforts du Moyen Atlas, l'Oued Fès, dont la vallée constitue le site originel de la ville, dissèque le rebord de la Plaine du Saïss, deuxième site de la ville, sur lequel se sont implantés Fès Jdid et la Ville Nouvelle.

Le site de la ville de Fès révèle ainsi tous ses avantages, en assurant à la ville une position de contact avec les grandes entités physiques du Maroc "Centre Nord", à savoir la Plaine du Saïss et les chaînes du Rif, du Pré-Rif et du Moyen Atlas.

Cette position carrefour explique l'influence qu'avait la ville de Fès sur son arrière pays, conduisant à la formation d'une vaste zone de rayonnement, à tel point que, entre le 16ème siècle et les années 1990, la ville de Fès pouvait être définie comme un exemple de "pôle commercial".

L'intégration très forte de la ville de Fès dans la région a généré un pôle remarquable ayant une fonction collectrice (rurale) et une fonction de redistribution. Mais cette polarisation exercée par la ville peut être qualifiée d'excessive, d'une part du fait de son intensité trop forte, mais aussi et surtout par sa nature même. Son faible poids dans le domaine industriel, malgré son rôle commercial de grand marché régional et ses fonctions politiques et administratives, l'empêche d'être un véritable pôle de développement (Pinceau, 1991).

Au 20ème siècle, la ville a connu l'apparition des quartiers tels que la ville nouvelle qui a été conçue de façon à être le siège de l'administration. Elle est localisée sur la Plaine de Saïss limitée par l'Oued Fès en amont et au Nord.

Selon le schéma directeur de l'urbanisme de 1991, le quartier ville nouvelle a été divisé au départ en 5 zones principales qui sont respectivement :

- le centre-ville (la partie centrale) : il a été formé principalement de villas et immeubles de type moderne dans le temps (immeuble colonial). Il a regroupé en un temps restreint une grande partie d'activités commerciales et administratives tout en subissant un développement accéléré, avec le temps cette zone est devenue le noyau de la ville de Fès et rassemble la population aisée,

- à l'Ouest de l'avenue HASSAN II, une zone hétérogène d'habitats et d'activités a connu un développement foncier représenté par un mélange de villas isolées, de villas en bande ainsi que d'immeubles de trois à quatre étages,
- au Sud et à cette époque la ville a connu sur les embranchements de route Sefrou et Immouzer la création et le développement du quartier Atlas ; cette zone enregistre aussi des activités commerciales,
- le plateau de Dhar Mahraz qui réunit la caserne militaire, l'université, l'hôpital et d'autres équipements occupant beaucoup d'espace, a connu aussi le pullulement des habitats informels et a présenté à cette époque une grande possibilité d'urbanisation,
- la zone Narjis s'étend entre la route d'Ain chkef et route de Sefrou.

La ville de Fès a connu également au milieu du 20ème siècle le développement des zones d'Ain Kadous, Ben Debbab et Dhar Lakhmiss ; ces quartiers ont été conçus principalement dans le cadre du recasement de bidonvilles de douars améliorés et destinés aux couches sociales moyennes ayant bénéficié des facilités et des conditions avantageuses des lotissements d'état. Ben Debbab qui constituait le noyau de départ de développement de cette zone est composé généralement des habitats néo-traditionnels avec des habitants de couche moyenne.

Dans l'ensemble, ces secteurs souffraient du manque d'équipements sociaux et de l'absence de réseau d'assainissement. Les commerces et l'artisanat y sont mal répartis et les industries absentes ont posé selon le schéma directeur de l'urbanisme de 1991 de réels problèmes pour la population.

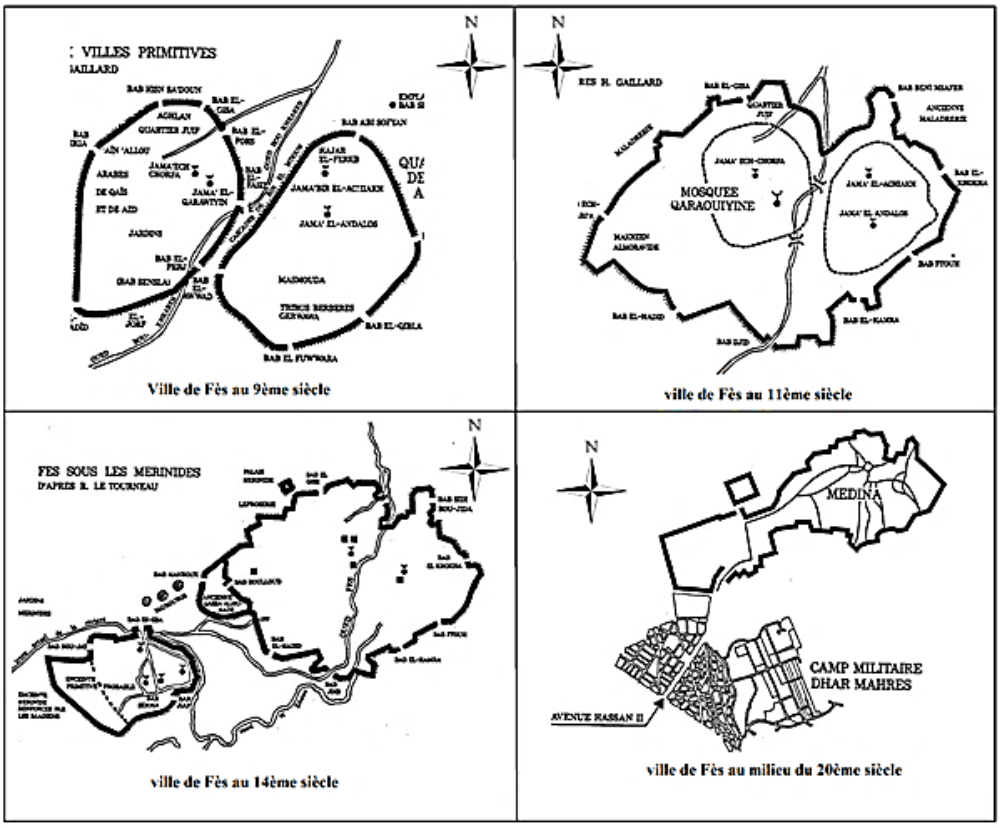


Figure 21 : Historique de l'urbanisation de la ville de Fès entre le 9ème et le 20ème siècle, modifiée (Pinceau, 1991)

II. Démographie de la ville de Fès

II.1. Origine et historique des habitants

La quantification de la population de la ville de Fès pour la période précoloniale est une tâche difficile. Cette difficulté est inhérente au manque de documents statistiques nécessaires pour la réalisation de cette étude. La population de la ville de Fès avant le protectorat comprenait trois catégories (Le Tourneau, 1950) :

- AHL FES : une population Fassie de longue date (Berbères, Andalous, Queyraouns et juifs) évaluée à 60.000 ;
- nouveaux arrivants : une population qui n'est pas encore bien intégrée, formée d'immigrés politiques ou économiques ou bien des tribus militaires ;
- temporaires : sont des travailleurs saisonniers (jardiniers, ouvriers dans les usines de huile….). Ils habitaient souvent dans les Fondouks. La plupart sont des ruraux de la région de Fès tel que : Hyayna, Oulad El Haj et Bni Sadden, mais il y avait aussi des gens qui venaient du Rif et d'autres régions du Maroc.

Tableau 3 : Origine de la population de la ville de Fès en 1982 (Pinceau, 1991)

Origine (lieu de naissance)	Nombre	%
Sur place	297.136	62.1
Rurale	128.304	26.8
Grandes Villes	18.020	3.8
Autres villes	28.988	6.00
Etrangers	2 420	0.7
Non déclarés	2 596	0.5

Vers 1900, la population de la ville de Fès se composait de 4 communautés réparties en 4 zones :

- la population de la ville de Fès qui habite la ville des Idrissides (Médina de Fès El-Bali) : est la communauté urbaine la plus importante. Elle était de 80.000 habitants répartis dans 18 quartiers plus ou moins densément peuplés. C'est la population la plus ancienne, la plus riche et qui constitue l'essence de la civilisation fassie (Tharaud, 1930) ;
- la population de Fès Jdid : est la communauté des fonctionnaires et serviteurs du Makhzen aussi que les chefs des tribus militaires. Cette population n'est pas stable et dépend des déplacements du Makhzen (Boukir, 1995) ;
- la population de Mellah est formée essentiellement de la communauté juifs ;
- la colonie européenne : au début du XXème siècle était la moins importante. Elle se composait essentiellement du personnel diplomatique, de conseillers militaires, hommes d'affaires, de représentants commerciaux et de quelques immigrés installés dans les quartiers périphériques de la Médina (Boujloud et Mellah).

Le protectorat a joué un rôle très important dans le déclenchement du phénomène de l'exode rural dans la région de Fès. Pour comprendre ce rôle, il faut examiner l'organisation des terres agricoles à la veille de la colonisation et l'installation des collons dans la région. La ville de Fès était influencée par la région Nord-Est peuplée des tribus berbères et la zone Sud-Ouest (la plaine de Saïss et le Moyen Atlas) (Boukir, 1995).

Pour empêcher l'installation de ces tribus dans la ville, le Makhzen a installé des groupements militaires (Guich) sur des terrains vastes et fertiles qui allaient attirer les colons après la colonisation. Ainsi le premier flot d'émigration des ruraux vers Fès a commencé dès 1926 après l'installation d'une centaine de colons sur 23.000 ha. Ce mouvement s'est accéléré entre 1926 et 1930 après l'occupation de 19.000 ha par 110 nouveaux colons (Calderat, 1982).

C'est pendant cette période que la colonisation agricole s'est amplifiée dans la Plaine de Saïss ou elle accapara les meilleures terres agricoles de Fès et Meknès environ 210.000 ha (Escallier, 1981). Une partie de la population des campagnes de ces zones a commencé l'émigration vers la ville, attiré par les travaux de construction de la ville nouvelle ainsi que par les emplois urbains de la Médina. Il est à signaler que certains événements politiques et économiques ont contribué à maintenir ce phénomène jusqu'à l'indépendance comme la sécheresse de 1925, la crise mondiale de 1930, la deuxième guerre mondiale et la famine de 1945 (Boukir, 1995).

Selon le schéma directeur de l'urbanisme (SDAU), les entrées et les sorties de la population de la ville peuvent être résumées comme suit :

- les entrées

Entre 1975 et 1982, le total des émigrants dans la ville de Fès était de 55.988 ; leur origine rurale pour 35.464 en 1975 représente un taux de ruralité de 63,3 %. Deux immigrants sur trois s'installant à Fès, proviennent de la campagne et principalement de la province de Taounate et de Taza. C'est la plus forte proportion enregistrée dans les grandes villes marocaines. Le développement de l'artisanat de Fès, au point d'ancrage d'une zone à forte densité agricole, fait de cette ville un endroit idéal pour l'implantation de la main d'œuvre non spécialisée.

Les immigrants d'origine urbaine provenaient surtout de l'axe privilégié Casablanca-Oujda-Meknès ; Casablanca et Rabat totalisent 49 % de cet afflux - Oujda et Taza ne représentent que 16 %.

- les sorties

L'émigration est une tradition ancienne : "Très tôt les entreprises fassies ont envoyé leurs représentants à la conquête des marchés. Depuis le second conflit mondial, l'émigration s'est accentuée et ne se limite plus aux couches sociales aisées".

Les émigrants sont constitués essentiellement de citadins, artisans, cadres et commerçants. Entre 1960 et 1971, le taux d'émigration était de 0,87 %.

Casablanca est le principal pôle d'attraction avec l'axe Casablanca- Kénitra, qui absorbe 72 % des émigrants fassis. L'axe Meknès – Oujda intervient ensuite pour 15 %.

Au cours des années 1960-1971, le solde migratoire, différence entre les entrées et les sorties, s'était élevé à 1,31 %. Cet accroissement était dû pour deux tiers à l'excèdent des naissances sur les décès et pour un tiers au solde migratoire positif.

Le recensement de 1982 a donné comme population pour l'agglomération de la ville de Fès 484.154 habitants. L'emprise territoriale définie par le schéma directeur de l'urbanisme (SDAU) comme périmètre urbain de la ville de Fès est plus vaste que celle retenue par les services du recensement pour chiffrer la population de l'agglomération.

II.2. Evolution des habitants

Au cours du XX^{ème} siècle, l'accroissement de la population de la ville de Fès s'est opéré selon un rythme fort inégal. Le taux de croissance, en hausse jusqu'en 1936, a connu une chute de 1936 à 1952, chute suivie d'une reprise (Pinceau, 1991).

D'après Roger Le Tourneau (1950), la population de la ville de Fès était estimée à 125.000 hab en 1936, est passée à 165.000 hab en 1946 et a atteint 216.263 hab en 1960. D'après le SDAU, la population de Fès est passée de 340.662 en 1971 à plus de 500.000 hab en 1982. Les résultats du dernier recensement (2014) montrent que la population de la ville de Fès a pu atteindre 1.112.072 hab.

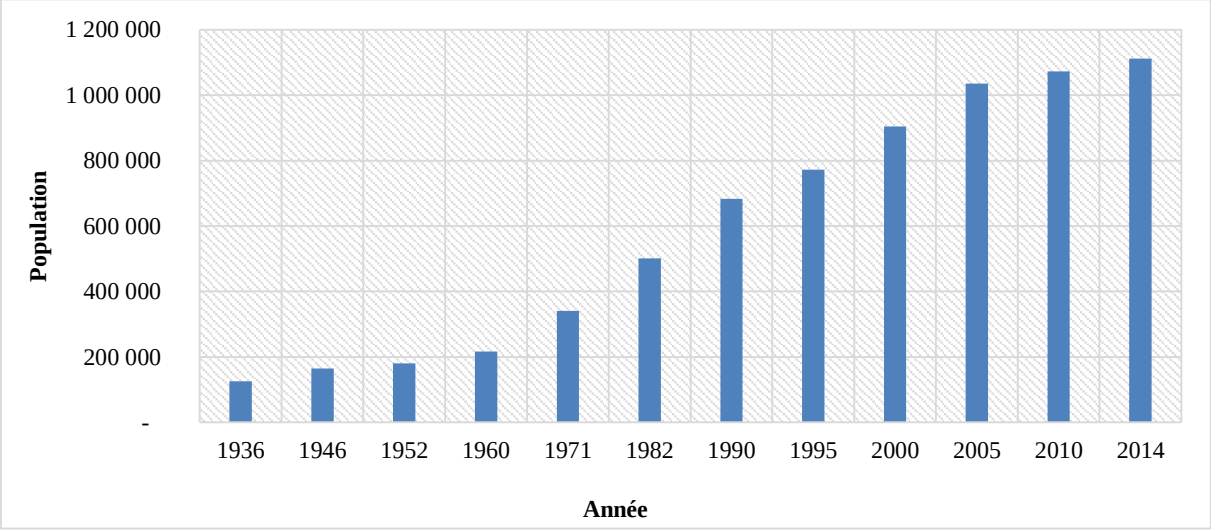


Figure 22 : Evolution de la population de la ville de Fès entre 1936 et 2014 (SDAU 1991, HCP 2014)

III. Hydrographie de la ville de Fès

Le système hydrographique de la ville de Fès présente la particularité d'être axée sur l'Oued Fès qui coule de l'Ouest vers l'Est jusqu'à l'Oued Sebou en traversant l'ancienne Médina. L'Oued Fès représentait l'axe majeur du paysage urbain de Fès notamment la plaine haute de Saïss à l'Ouest de la ville et la plaine basse adjacente à l'Oued Sebou.

III.1. Rôle historique de l'Oued Fès

L'eau avait un rôle historique majeur dans le développement de la ville de Fès et a été à l'origine de sa fondation et de son rayonnement culturel. Pendant des siècles l'Oued Fès a alimenté la Médina en eau potable et a servi de réseau d'assainissement. Cette double utilisation fut installée probablement dès le XIV^{ème} siècle en subissant au cours des siècles des modifications importantes. Les branches principales du réseau de distribution sont des cours d'eau artificiels, tantôt à ciel ouvert, tantôt couverts par les maisons, les moulins, les mosquées et les rues (Le Tourneau, 1950).

De sa naissance à partir des sources de Ras-el-Ma sur une distance de 14 Km, l'Oued Fès traversait une partie de la Plaine de Saïss sur une pente très faible voire même nulle dans des tronçons. Arrivé à Bab Boujloud (entrée de la Médina), il se divisait par un répartiteur en quatre voûtes (Fig. 23) et forme une section : l'une envoyait son eau à la rive gauche (Madinat Qarawiyin) et l'autre à la rive droite (Madinat Andalous). A partir de là, l'eau arrivait dans les quartiers en quatre canalisations principales. Du Nord au Sud on trouve (Fig. 24) :

- l'Oued Fejjalin qui se divisait en deux grands bras : l'Oued lemttyne au Nord et l'Oued Fejjalin proprement dit au Sud. Ces deux bras alimentaient toute la partie nord de la ville et se rejoignaient vers la sortie de la ville pour former l'Oued Zhoul ;
- l'Oued Hamia qui se divisait du Nord au Sud en trois Oueds : chaîne Souaffine, l'Oued Ras-el-Jnane et Oued Zbel ;
- Sakiyat el-Abbassa qui servait à irriguer les jardins entre Fès Jdid et Bab-el-Hdid ;
- l'Oued Cheracher qui irriguait les jardins entre Fès Jdid et l'Oued Zitoune. A la hauteur de la Médina, il était renforcé par l'Oued Zitoune et prend le nom de l'oued Masmouda qui servait à l'alimentation de toute la rive des Andalous (Boukir, 1995).



Figure 23 : Répartiteur de Bab Boujloud

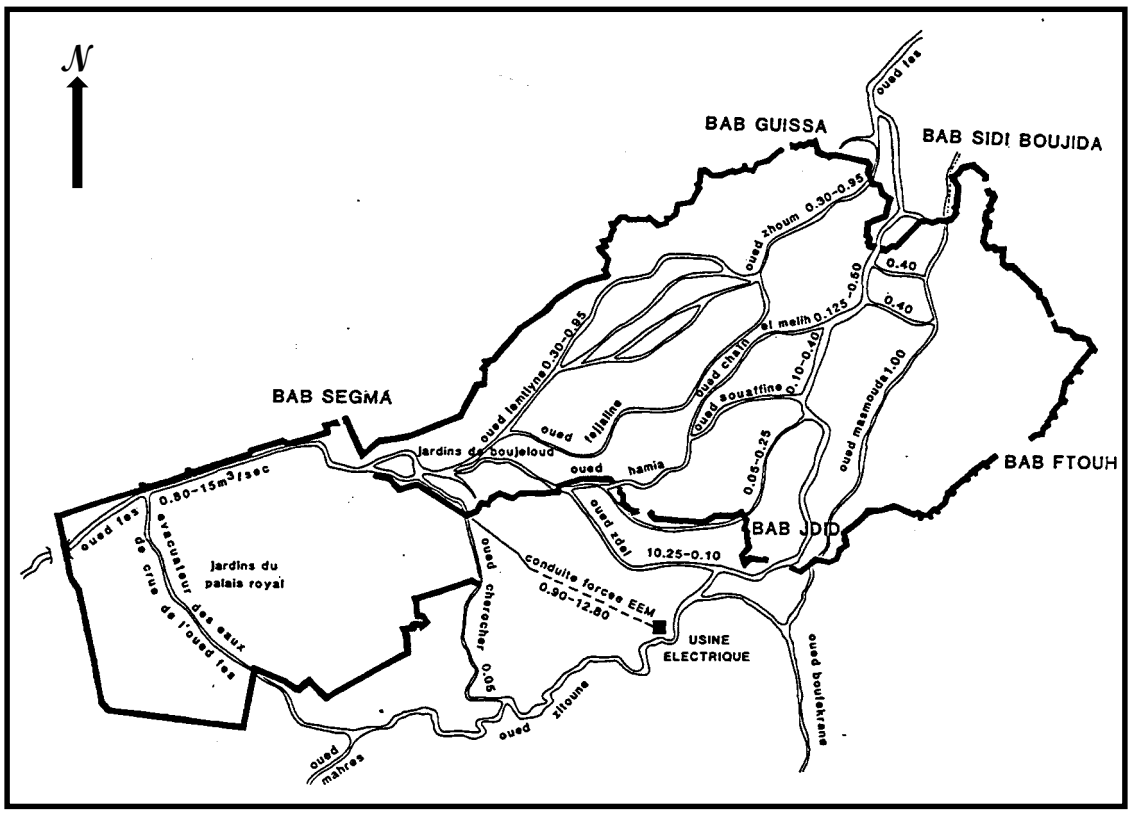


Figure 24 : Hydrographie ancienne de la Médina de Fès (Pinceau, 1991)

III.2. Fonctionnement du réseau de « l'eau traditionnelle »

Comme on a évoqué auparavant l'Oued Fès dès qu'il arrive dans la Médina se divisait en plusieurs cours d'eau assurant l'irrigation de différentes rues de la Médina ainsi que l'évacuation des eaux usées en plus des ordures ménagères des habitants.

L'écoulement de l'eau dans le réseau traditionnel (nommé El Ma El Beldi en arabe) à travers les canaux d'acheminement se faisait d'une manière gravitaire du fait de la forte dénivelée entre l'amont et l'aval de la Médina. Les zones situées à une altitude supérieure à celle du point de prélèvement étaient desservies par le biais des Norias (Fig. 25).

Ce réseau ramifié qui fut développé sous les Almoravides se regroupe en aval en une seule sortie, ainsi on distingue deux parties (Fig. 26) :

- la première propre qui assurait l'alimentation du réseau de distribution d'eau traditionnelle. Elle était complétée par des sources et puits qui se sont fermés vers 1es années 90 par les services de l'hygiène de la ville, jusqu'en 1995 où juste 20 à 30% de ces puits pouvaient être utilisés (Boukir, 1995) ;
- la deuxième nommée Oued égout signifiant la partie contenant les eaux usées et les ordures ménagères.

Les Kwadsiya (ouvriers des conduites) assuraient le bon fonctionnement du réseau de l'eau traditionnel afin de pérenniser sa durée de vie et assurer l'alimentation de la population en eau (Foucault, 1969).



Figure 25 : Noria Bab Boujloud Jnane Sbil en 1939 (Foucault, 1969)

Le schéma ci-après inspiré de l'Institut Méditerranéen de l'eau, illustre et schématise le principe de l'écoulement des eaux dans la Médina de Fès à savoir le réseau de l'eau traditionnelle, le réseau d'assainissement (ou Sloquiat) et l'Oued égout qui acheminait les eaux usées vers la sortie de la Médina en aval.

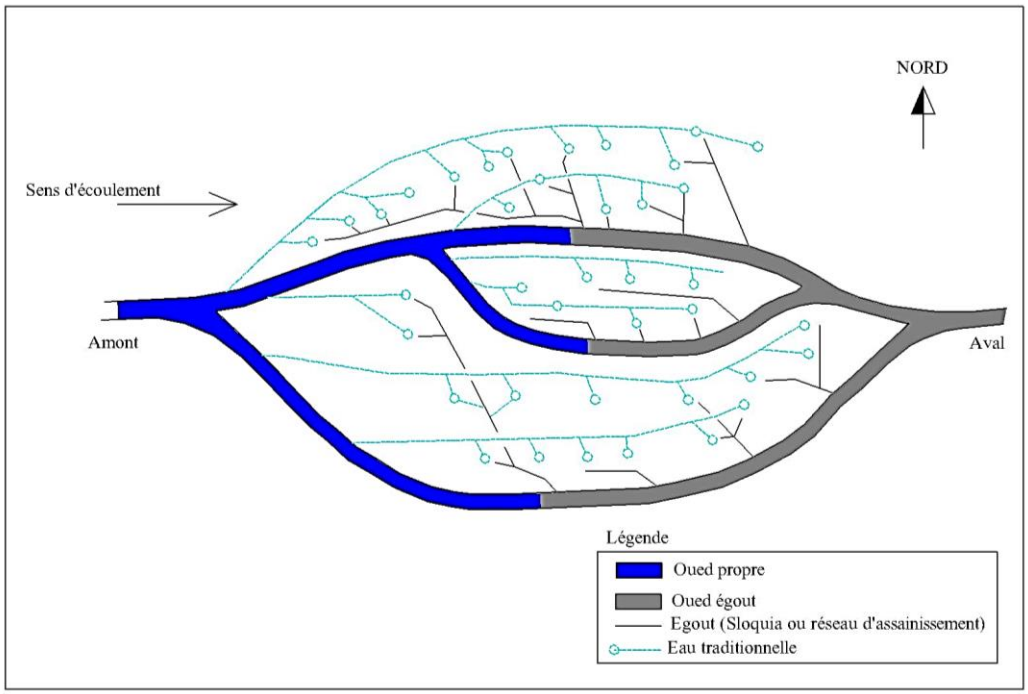


Figure 26 : Schéma de principe de l'écoulement de l'eau dans la Médina

IV. Conclusion

Historiquement, la présence des Oueds et l'abondance de l'eau ont joué un rôle important dans le développement de la ville de Fès. L'Oued Fès assurait les besoins en eaux et servait de réseau d'assainissement de l'ancienne Médina. La population de la ville de Fès se composait de quatre catégories principales, les habitants de la Médina des Idrissides, les habitants de Fès Jdid, les habitants juifs du Mellah et les habitants de la colonie européenne constituée principalement de diplomates et de conseillers militaires. Cependant, la ville de Fès a connu un accroissement démographique au milieu du 20ème siècle, causé par la conjoncture socio-économique régnante à l'époque, notamment avec l'exode rural et l'arrivée des habitants villageois des centres ruraux de la région.

Chapitre III : Extension urbaine de la ville de Fès

I. Extension urbaine

I.1. Définition

L'extension urbaine ou l'étalement urbain a constitué ces dernières années un sujet d'extrême importance pour les décideurs et les responsables d'aménagement des villes. Approché sous différents angles, il est souvent assimilé à une dilution de l'espace urbain qui se manifeste par la dispersion des populations et du bâti sur une grande distance du centre de la ville (Bennasr, 2003). Il représente la forme de développement caractérisée par une faible densité d'occupation, une dispersion des zones urbaines sans véritable planification et la fragmentation du contrôle de l'utilisation du sol entre plusieurs municipalités (Groupe Teknika, 2004).

I.2. Généralités sur l'extension urbaine

I.2.1 Facteurs

En général, plusieurs facteurs peuvent influencer et conditionner le phénomène de l'étalement urbain à savoir :

- l'accroissement démographique : l'accroissement naturel de la population de la ville engage l'implantation et l'aménagement de nouvelles zones d'habitat afin de satisfaire les besoins en logement ;
- l'exode rural : l'émigration des ruraux vers la ville, souvent attirés par la ville et surtout rejetés par la campagne (Bailly & Huriot, 1999) ; ils ont l'envie de développer leur niveau de vie en trouvant un emploi garantissant un revenu stable et fixe ;
- le transport : le développement du transport commun ce qui renforce la mobilité des habitants et la facilité des procédures d'acquisition des voitures (crédit gratuit…..), ce qui a augmenté la facilité des déplacements quotidiens tout en renforçant la possibilité de s'installer loin des zones d'activités et donc un étalement urbain plus favorisé ;
- la volonté des administrations publiques à freiner ce phénomène, les décideurs dans certains cas l'ont même encouragé en mettant en place les infrastructures nécessaires (voirie, assainissement…) sans planification proprement dite.

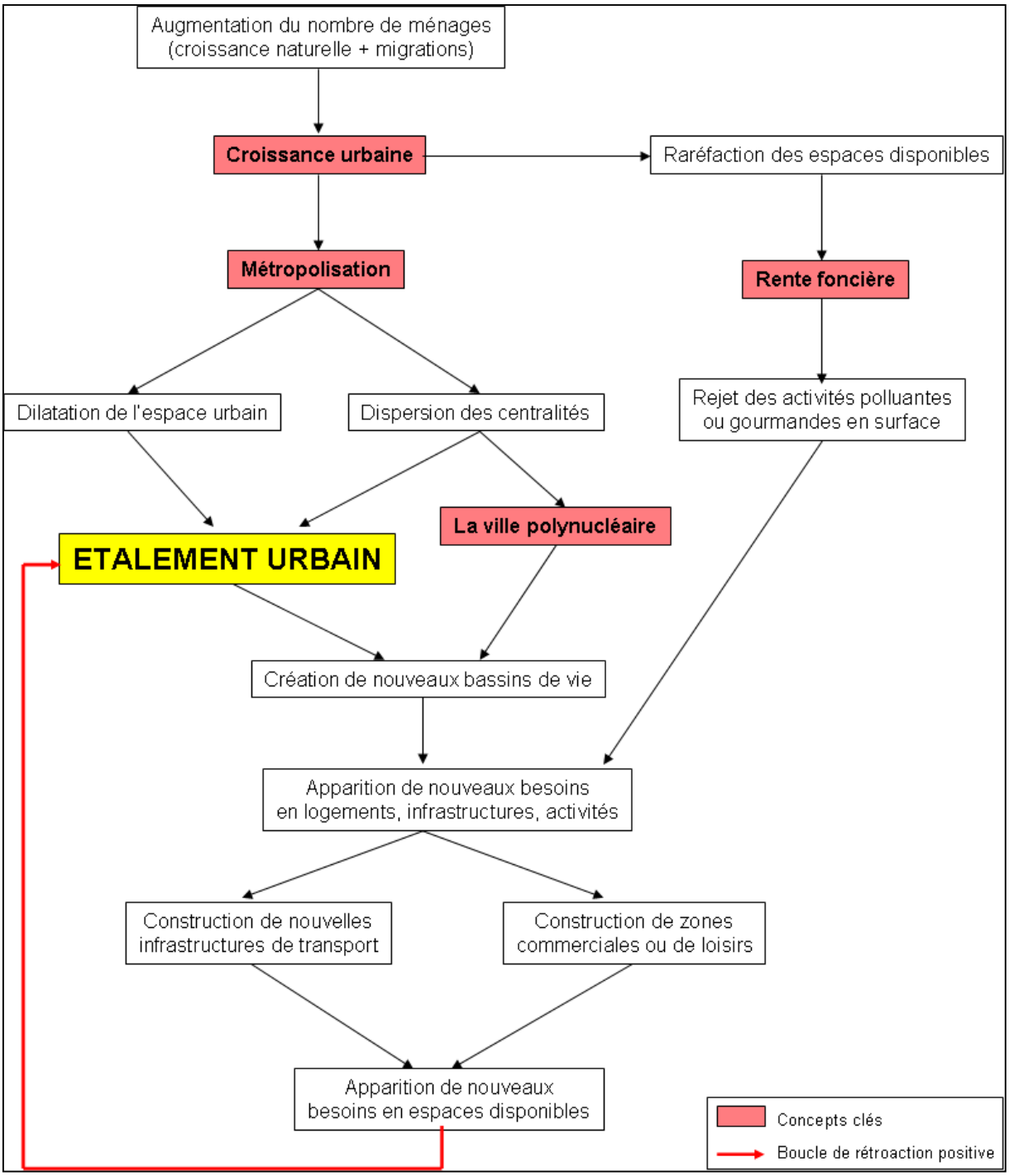


Figure 27: Cercle vicieux de l'étalement urbain (Université Nice - Sophia Antipolis, 2018)

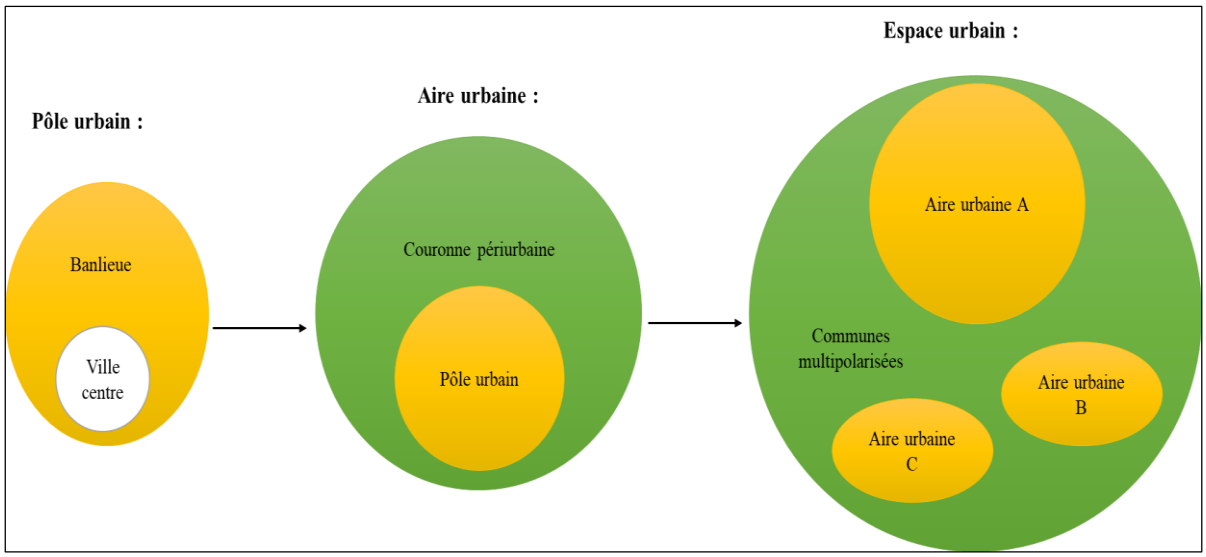


Figure 28 : Processus de l'étalement urbain (Institut national de la statistique et des études économiques, 2014)

I.2.1 Lexique urbain

Le lexique urbain selon le centre régional de la documentation pédagogique de Lyon peut être synthétisé comme suit :

- agglomération : l'ensemble de plus de 50.000 habitants d'un seul tenant et sans enclave autour d'un ou plusieurs communes centres d'au moins 15.000 habitants ;
- aire d'influence urbaine : espace sur lequel une ville exerce son influence, repérable par les flux que la ville attire et émet. L'aire peut dépasser l'aire urbaine. L'intégration de certaines aires urbaines dans l'aire d'influence d'une autre traduit le phénomène de la polarisation ;
- pôle urbain : unité urbaine offrant au moins 5000 emplois et organisant un espace urbain aux alentours de l'aire urbaine ;
- périurbanisation : urbanisation autour de la ville, les limites avec l'espace rural sont souvent difficiles à tracer. La périurbanisation se traduit généralement par un étalement urbain autour de l'agglomération. Le terme de rurbanisation, très proche, met d'avantage l'accent sur l'intégration d'un espace rural dans un ensemble urbain ;
- réseau urbain : ensemble de villes hiérarchisées en relation d'échanges et de commandement. On peut distinguer deux différents types de réseaux urbains à savoir les réseaux mono-centriques qui sont dominés par une métropole et les réseaux multipolaires.
- métropole : grande ville concentrant population, activités et richesses. Les métropoles sont les têtes des réseaux urbains à différentes échelles : régionale, nationale et mondiale. Elles étendent leur aire d'influence sur des territoires étendus. Sorte de portes d'entrée à la mondialisation, elles sont au point d'articulation entre le globe et les territoires locaux. Le renforcement de la place relative des métropoles depuis une vingtaine d'années dans le monde est traduit par le terme de métropolisation.

I.2.2 Nouveaux modes d'urbanisation

Au cours de ces dernières années, plusieurs approches ont été proposées dans le monde notamment dans les pays développés pour revoir les modes d'urbanisation afin de les adapter aux principes du développement durable. Les principales approches sont la croissance intelligente, le nouvel urbanisme et le développement pensé en fonction du transport commun (Groupe Teknika, 2004).

La croissance intelligente propose essentiellement la direction de la croissance vers les zones urbaines plutôt que de poursuivre l'étalement classique de l'urbanisation. Elle implique une mixité des fonctions urbaines et une densité globale plus élevée (ce qui est opposé à l'étalement urbain classique), tout en offrant une diversité de logements. Cette approche a pour objectif principal freiner l'étalement urbain, limiter les coûts collectifs liés à ce phénomène (pollution, infrastructures, aménagement de l'espace…etc.) et garantir l'optimisation de l'utilisation des infrastructures existantes.

La croissance intelligente repose sur 10 principes (www.smartgrowth.org) qui sont :

- la création d'un environnement piétonnier du fait que les collectivités axées sur la marche sont des endroits agréables pour vivre ;
- l'offre d'une grande variété de logement de qualité pour toutes les catégories sociales dans l'optique d'une stratégie de croissance ;
- l'encouragement de la collaboration de la collectivité et les intervenants du milieu et ce par le développement des espaces vitales et de loisirs, ce développement doit se faire en concordance avec la vision de la collectivité ;
- la protection des valeurs de la collectivité en termes d'architecture distinctive tout en assurant des choix plus variés en termes de logement et de transport ;
- l'intégration du secteur privé comme étant producteur de développement tout en prenant des décisions viables, équitables et économiques ;
- la mixité des usages qui constitue une composante essentielle dans l'atteinte d'un meilleur milieu de vie du fait qu'elle favorise la convivialité et diminue la dépendance au transport motorisé ;
- la préservation des terres agricoles du fait qu'ils jouent un pilier de renforcement de l'économie locale de la collectivité ;
- l'offre des choix variés en matière de transport ;
- le renforcement et l'orientation du développement vers les collectivités existantes afin de tirer le maximum de profit des ressources de voisinage et de conserver les espaces et les ressources naturelles dans la frange urbaine ;
- la croissance dans une vision de densification de construction plutôt que des développements conventionnels qui sont caractérisés par une très grande utilisation de terrain périurbain.

Le deuxième mode nommé le nouvel urbanisme ne rejette pas le développement de banlieues, il propose d'aménager ce développement de façon à favoriser la marche comme principal moyen de transport. Les principales règles du nouvel urbanisme sont une mixité des fonctions et des densités, une offre résidentielle diversifiée répondant aux besoins des différents

types de ménages. Il a pour objectif principal prévoir un aménagement autour des noyaux d'activités. Ce nouvel urbanisme cherche à recréer de collectivités moins dépendantes du transport motorisé dans l'objectif de produire des environnements agréables et sécuritaires.

Le développement pensé en fonction du transport commun préconise une densification le long des infrastructures de transport en commun, de manière à augmenter la part des déplacements en transport en commun et à ainsi améliorer la rentabilité des investissements de ce type d'infrastructures. Il vise également la création des environnements plus conviviaux et propices aux déplacements à pied.

Toutefois cette approche n'est pas limitée aux banlieues et peut s'appliquer dans les secteurs centraux. En banlieue ce mode s'apparente au nouvel urbanisme en termes de convivialité et de mixité des fonctions et densités. Le développement est principalement structuré autour d'un équipement de transport en commun plutôt qu'en fonction d'un noyau central d'activités.

II. Extension urbaine dans la ville de Fès

II.1. Plans d'aménagement

Parmi ceux qui ont travaillé sur l'aménagement de la ville de Fès, on cite principalement Prost (1916), Ecochard (1948 et 1952) et le schéma directeur de l'urbanisme (SDAU) de Fès 1980. Hamid Boukir a synthétisé en 1995 d'une manière claire les différents plans d'aménagement que la ville de Fès a connu avant et après l'indépendance.

Hamid Boukir a évoqué (1995) que la Médina de la ville de Fès avant la colonisation disposait d'environ 70 hectares d'espaces verts soit 40% de la totalité de surface intramuros. La majorité de ces terrains étaient fertiles et permettaient l'autosuffisance de la ville pendant les sièges lors des changements de pouvoir ou sous la menace des tribus limitrophes. Les mutations économiques, sociales et démographiques provoquées depuis la colonisation ont créé un déséquilibre entre le rythme de l'accroissement de la population et les besoins en logement. Cette situation a favorisé la spéculation foncière.

Les institutions traditionnelles urbaines de la ville de Fès sont affaiblies pendant la colonisation par l'émigration des bourgeois Fassis vers d'autres villes ou vers d'autres quartiers en dehors de la Médina et leur remplacement par les ruraux qui venaient chercher le travail à Fès. Les bourgeois Fassis ont profité de la situation caractérisée par une croissance de la demande de logement pour bâtir sur des terrains agricoles extramuros, à cette époque ils étaient soutenus par les autorités coloniales conscientes de la puissance de la bourgeoisie Fassie, en évitant de lui imposer des contraintes (Fejjal, 1994).

D'un autre côté les autorités coloniales n'accordaient aucune importance à la Médina. A l'époque, dans tous les plans d'aménagement de la ville de Fès, la Médina n'était pas prise en compte, ce qui a créé une anarchie que Ecochard a été convoqué pour la combattre en 1946 (Berque, 1979).

II.1.1 Plan d'aménagement de Prost

Le plan d'aménagement de Prost (1916) constitue la première étape de dégradation de la ville de Fès ; il a démontré que la Médina de Fès n'avait pas une grande importance pour les autorités coloniales malgré sa touche originale. D'ailleurs Lyautey a affirmé que la ville de Fès est une erreur géographique comme capitale.

Ce plan envisage premièrement le transfert de la capitale de Fès à Rabat, la création de la nouvelle ville (ville Européenne), la création du service des beaux-arts et des monuments historiques et l'institution du conseil municipal de la ville qui va s'occuper par la suite de la gestion des affaires et services quotidiens de la population.

Ces actions qui, apparemment, ont été prises pour améliorer les conditions de vie dans la ville de Fès ont concrètement contribué à :

- la perte d'une partie du financement de la Médina du fait que les autorités coloniales ont acquis les terrains périurbains des Habous. Cette institution qui est devenue organisme semi-public servira comme fond de financement pour la construction et la gestion de la vie urbaine dans la ville, comme ça la Médina a perdu une partie de son financement ;
- le désintéressement des habitants du quartier de l'entretien de l'espace public et la disparition de l'esprit de ''Derb'' du fait que les habitants, à cette époque les gens ont commencé à penser que les taches de nettoiement de l'espace public est à la charge de la municipalité ;
- la marginalisation de la corporation des Kwadsiyas (personnes qui travaillent dans les égouts) qui avaient une parfaite connaissance de tous les rouages et ramifications du réseau d'assainissement. Cette corporation avait pour mission de sauvegarder le réseau de la Médina de Fès. Elle était rémunérée par les Habous et les usagers. L'attribution de l'entretien du réseau à la municipalité a éloigné et a décomposé cette corporation (Boukir, 1995).



Figure 29 : Premier plan de Fès-nouvelle d'Henri Prost 1916 (Jelidi, 2007)



Figure 30 : Second plan d'aménagement d'Henri Prost (Jelidi, 2007)

Après 1926, la politique urbaine a connu une période d'anarchie et de laisser faire. La Médina de Fès qui était déjà en crise à cause de la chute de l'artisanat et du commerce a enregistré une situation plus aggravée avec l'arrivée des ruraux. C'est dans ce contexte qu'elle a enregistré un accroissement considérable du chômage, un afflux massif dans la ville d'une population importante sans ressources qui modifie un équilibre déjà précaire. Pendant cette période la Médina commence à se ruraliser (Detier, 1970).

Avec la complicité des autorités coloniales qui ne portaient aucune importance réelle à la Médina, les richards Fassis ont profité de la situation économique pour s'enrichir d'avantage en vendant les terrains agricoles intramuros. De cette conjoncture les lotissements spéculatifs se sont développés aux dépens de jardins et des terrains agricoles dans les secteurs de Bab Lguissa, Bab Elkhoukha, Bab Ftouh, Makhfia et Ziat (Fejjal, 1994). Malgré tout cela, la crise de logement s'est aggravée en provoquant l'apparition des bidonvilles et des lotissements clandestins intra et extramuros. L'arrivée des européens après la crise mondiale a créé une carence de logement, ce qui a donné naissance à plusieurs lotissements. Il est à signaler qu'à cette époque l'état a laissé la promotion privée s'occuper de la construction et de l'habitat et a limité son rôle juste à l'encadrement. Cette situation a fait que les plans d'aménagement conçus par Prost se sont retrouvés vite dépassés (Boukir, 1995).

II.1.2 Plans d'aménagement d'Ecochard (1948 et 1952)

Entre 1948 et 1952, Ecochard a établi des plans d'aménagement de la ville dont l'objectif principal est de résorber la dé-densification de la Médina et éliminer les bidonvilles, un malaise pour les autorités coloniales, logés par la classe ouvrière qui a commencé de se manifester pour le droit d'adhésion au syndicalisme.

L'autorité coloniale à l'époque s'est retrouvée face à l'obligation d'acheter des terrains pour implanter de nouvelles zones d'habitat et d'industrie.

Ecochard par son plan de 1948 a essayé de mettre en œuvre une politique de logement destinée à la population marocaine. Il avait pour objectif de mettre fin à l'anarchie. Ecochard était convaincu que l'urbanisme paie (1951) ; sur ce il prévoyait des zones industrielles plus larges pour déconcentrer les activités artisanales et économiques de la Médina, déconcentrer l'axe Rabat-Casablanca et attirer les industriels étrangers.

En 1952, le plan d'aménagement de 1948 a été modifié, Ecochard a réduit cette fois-ci la taille de la zone industrielle et artisanale par rapport au premier, il s'est intéressé dans sa vision d'habitat à la population de revenu modeste (Detier, 1970). Pour la Médina il n'avait pratiquement aucune action à mettre en place sauf la couverture partielle de l'Oued Boukhrareb (égout).

Il prévoyait d'autre part la création du quartier Ain Kadous au Nord-Ouest de la Médina. Ce quartier a contribué d'une façon ou d'une autre à la dégradation de la Médina du fait qu'il convient parfaitement à la classe moyenne venue de la Médina en abandonnant leurs maisons pour les ruraux et les habitants des bidonvilles.

II.1.3 Politique d'urbanisme avant 1980

Avant l'arrivée du schéma directeur de l'urbanisme de 1980, la ville de Fès a fait l'objet de deux plans d'aménagement (Degez, 1959 et Ichter, 1962), caractérisés par la mise en œuvre d'une politique de logements sociaux (Boukir, 1995).

Les plans de Degez et d'Ichter ont essayé de résoudre la crise de logement par la restructuration des douars sous-équipés par la mise en place des équipements de base (électricité et borgnes fontaines), le transfert des habitants vers des quartiers équipés (Bab Siffer et Bourniate) et la production des logements locatifs qui étaient déjà mis en place à Ain Kadous, Dhar Lakhmiss et Dokkarat.

La Médina a enregistré une seule intervention dans le plan de Degez, cette intervention consiste en l'infrastructure scolaire implantée dans les jardins intramuros ils réduisent d'avantage son espace. Itcher avait la même vision qu'Ecochard en ce qui concerne la couverture de l'Oued Boukhrareb.

A partir des années 70 l'état à commencer de se désengager de la politique sociale du logement, avec l'exode massif des ruraux et la reprise économique. A cette époque la classe pauvre n'avait aucune chance d'avoir des logements convenables par la déclaration du ministère du plan de l'époque en favorisant les classes moyennes d'obtenir leur propre logement (Ministère du plan, 1973).

Par manque d'une réglementation rigoureuse et stricte dans le domaine de l'immobilier, les promoteurs ont profité de la pression exercée par les habitants en termes de demande de logement et des facteurs politiques, économiques et sociaux. Sur une période de 15 ans les valeurs des terrains ont été multipliées par 24 à 80 (Boukir, 1995).

Tableau 4 : Prix du Foncier du plateau du Borj sud entre 1975 et 1990 (Fejjal, 1990)

	Prix en DH /m²		
	1975	**1986**	**1990**
Sahrij Gnaoua	50	450	1200
Lamsallah	10	250	800
Sahb El Ward	10	140	700

II.1.4 Schéma *directeur* de l'urbanisme de 1980

A cette époque, la moitié de la population de la ville de Fès vivait dans des conditions plus ou moins précaires alors que la ville s'attendait à accueillir encore 500.000 habitants sur 20 ans (1991-2010) ; pour faire face à cette situation, le SDAU a recommandé l'urbanisation de 30.000 ha sur 20 ans soit une moyenne de 150 ha par an dont 50% sera consacrée à l'habitat.

Le SDAU a recommandé le freinage des développements urbains autour de la Médina à l'Est et au Nord sur des sites qualifiés impropres à l'urbanisation et leur déplacement vers les zones sud-ouest où les conditions d'équipement sont réalisables.

Egalement, dans sa vision de maîtriser l'afflux des migrants vers Fès, il a incité sur l'obligation de mettre en place une politique d'urbanisation largement répartie sur l'ensemble de la zone d'attraction. Il a souligné d'autre part qu'à cette époque la réduction des flux migratoires ne saurait attendue d'un quelconque maintien des ruraux sur leurs terroirs, la croissance démographique dans ces zones rurales dépasse généralement les capacités d'accueil des terres cultivables et le morcellement des exploitations avait déjà atteint le seuil insupportable.

Le développement d'une offre foncière adéquate pour l'habitat selon le SDAU passe par une intervention publique de grande envergure permettant l'application d'une politique d'approbation des terrains correspondants aux besoins.

Le SDAU est le premier plan d'aménagement qui a fixé parmi ses priorités la Médina, inscrite sur la liste du patrimoine de l'humanité. Reposé sur les échecs des actions passées, il a proposé une stratégie de développement basée sur les capacités d'investissement des opérateurs privés pour arrêter la dégradation de la Médina et créer des conditions d'un redéploiement socio-économique de la Médina en tant que quartier intégré à la vie de l'agglomération de la ville de Fès.

En résumé le schéma directeur de l'urbanisme avait cinq objectifs primordiaux (Pinceau, 1991) :

- réorienter la croissance urbaine de la ville de Fès, mettre en œuvre la politique de développement régional pour réduire l'exode rural et proposer de nouveaux secteurs de développement urbain ;
- maîtriser le foncier tout en développant une offre foncière adéquate pour l'habitat et l'amélioration des conditions d'habitat ;
- mettre en valeur la Médina, en transformant son rôle économique et son image en établissant une infrastructure d'accès ;
- promouvoir le développement économique, facteur de richesse de la ville et permettre le développement de Fès, capitale régionale ;
- créer les conditions sanitaires nécessaires permettant le développement de la ville.

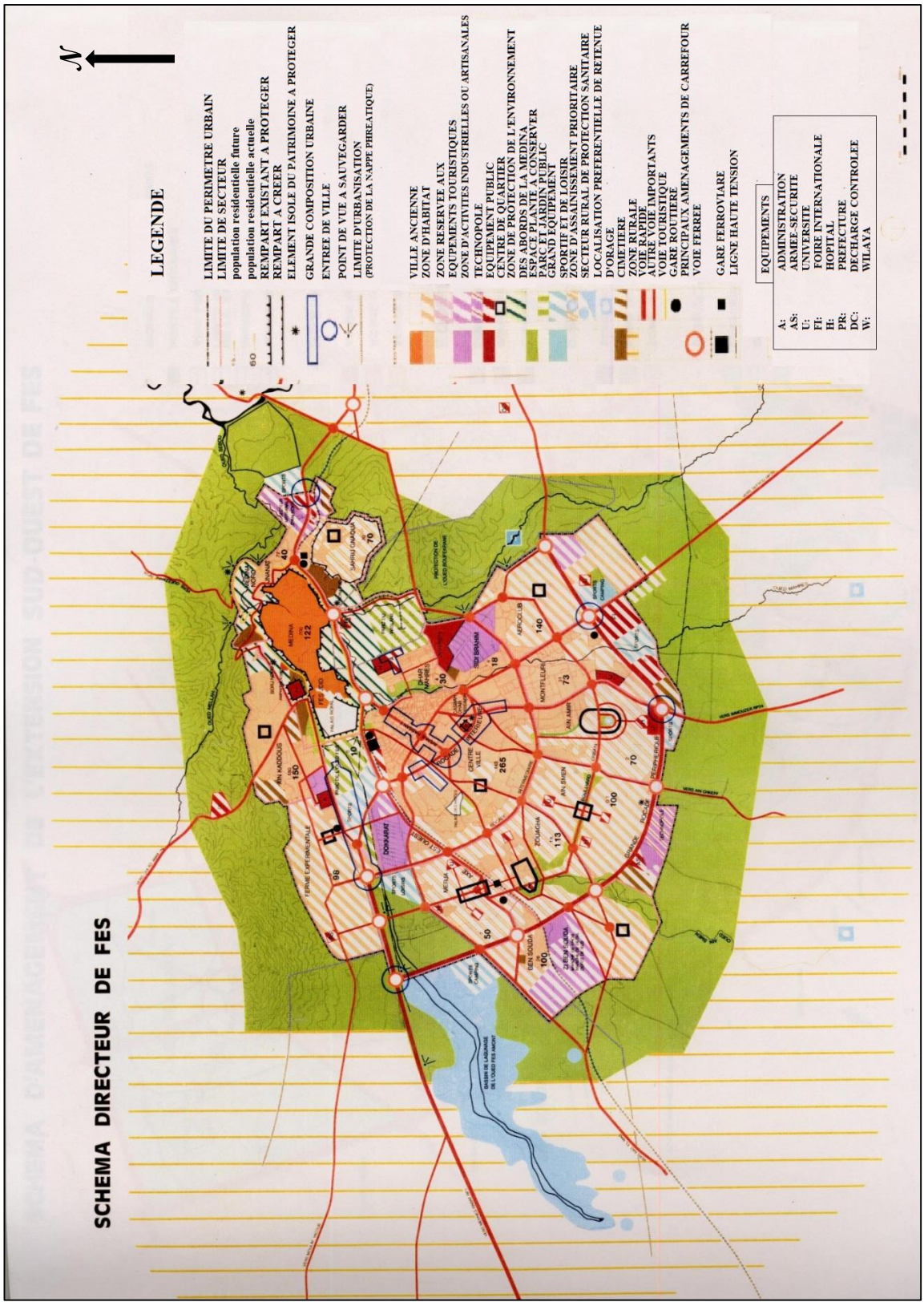


Figure 31 : Schéma directeur de l'urbanisme de Fès de 1980 (Pinceau, 1991)

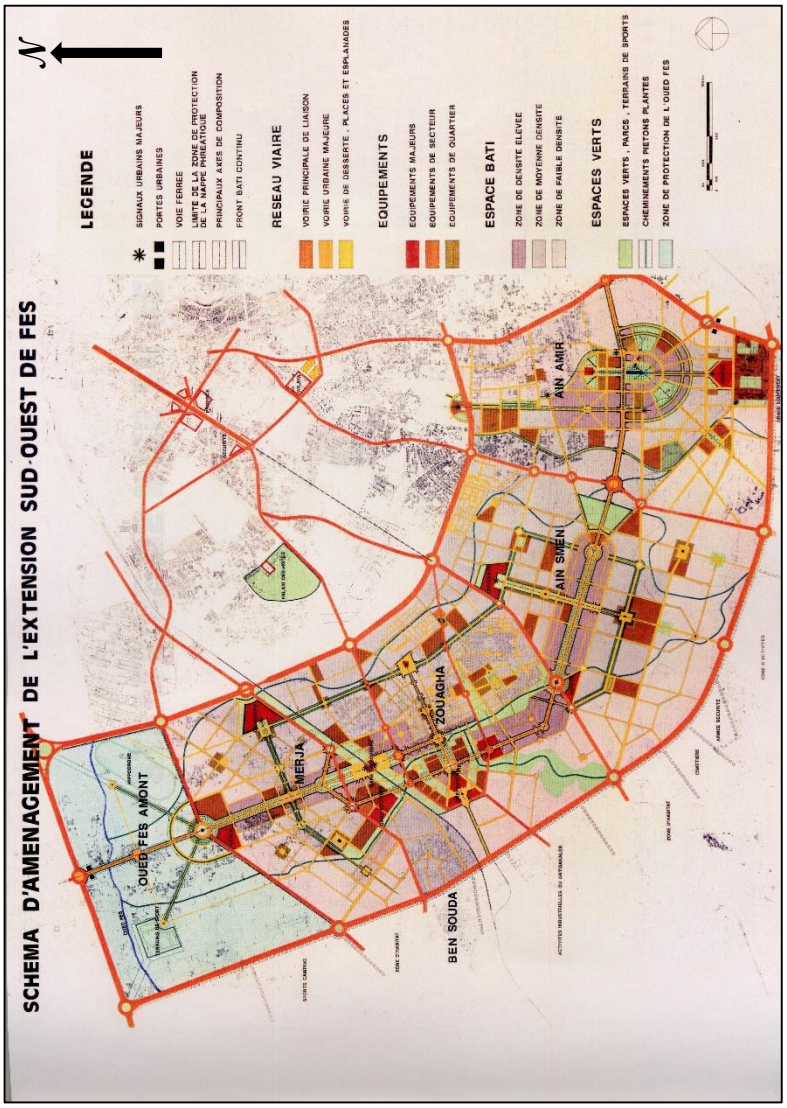


Figure 32: Schéma d'aménagement de l'extension sud-ouest de Fès de 1980 (Pinceau, 1991)

II.2. Evolution de l'extension urbaine

II.2.1 Evolution du périmètre urbain

L'analyse des rapports et documents d'urbanisme de la ville de Fès, notamment le SDAU a permis d'avoir les informations nécessaires concernant l'évolution de la surface urbanisée.

L'évolution de la surface du périmètre urbain a évolué comme suit (Pinceau, 1991) :

En 1932, la surface du périmètre urbain de la ville de Fès englobe environ 1560 hectares, incluant la base militaire sur le plateau de Dhar Mahraz, la première partie de la ville nouvelle et les zones d'extension à l'Est sur la route de Taza. Après la deuxième guerre mondiale, en 1948, les quartiers d'Ain Kadous et de Ben Debbab sont créés et inclus dans le périmètre urbain par l'Administration dans le cadre de la politique de "logements pour le plus grand nombre".

En 1952, le périmètre urbain représente une aire de 2538 hectares, avec le rattachement de la nouvelle zone industrielle de Sidi Brahim, la partie nord de l'Oued Fès Amont sur les pentes de Jbel Tghat et les nouvelles extensions au Nord-Est de la Médina et Dhar Khmis.

En 1960, l'espace urbain passe à environ 3900 hectares : extension au Sud, au Nord et une partie de la vallée de l'Oued Boufekrane et du plateau de Sahrij Gnaoua.

La proposition de nouveau périmètre urbain en 1986, incluant les nouvelles extensions prévues au SDAU, atteignait ainsi une superficie de 6550 hectares. L'extension à l'Est et au Sud rattachant par là même les petits centres.

En 1991, le schéma directeur a intégré le centre de Ben Souda, les zones d'habitat non réglementaires de Zouagha, ainsi que les parties des communes rurales d'Ain Chkef, d'Oulad Tayeb, de Sbaa Rouadi et de Sidi Harazem.

Tableau 5: Surface du périmètre urbain entre 1912 et 2012

Année	Surface du périmètre urbain (ha)
1912	200
1922	880
1932	1560
1942	1590
1952	2734
1962	3900
1972	4783
1982	6397
1992	9300
2002	10080
2012	13000

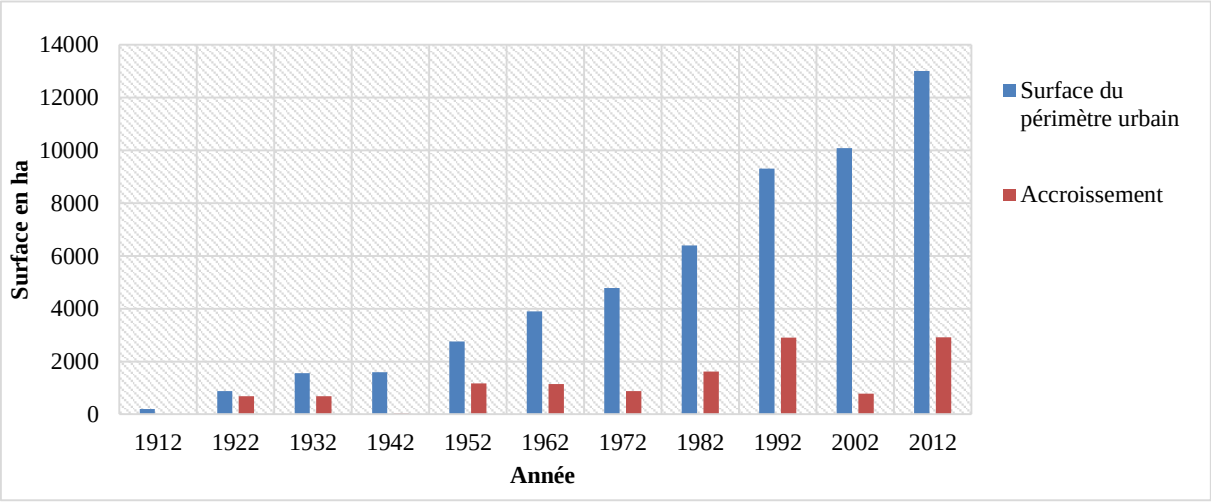


Figure 33 : Evolution de la surface du périmètre urbain entre 1912 et 2012

La surface du périmètre urbain de la ville de Fès est passée de 200 hectares en 1912 à plus de 13000 hectares en 2012, soit une multiplication de plus de 60 fois en un siècle.

L’accroissement du périmètre urbain a enregistré une valeur maximale entre 2002 et 2012, soit une extension de 2920 hectares.

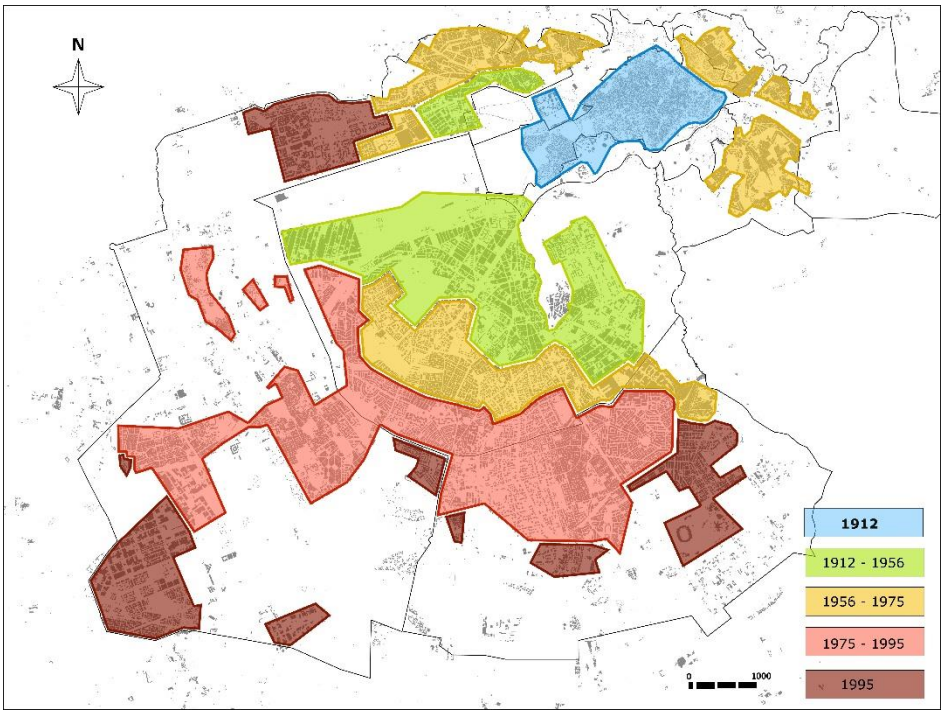


Figure 34 : Evolution de la surface bâtie de la ville de Fès entre 1912 et 1995 (AUSF, 2008)

II.2.2 Accroissement de la surface bâtie

La surface du bâti est passée de 175 hectares en 1912 à plus de 6820 en 2012, soit un accroissement de plus 38 fois. La cadence d’accroissement de la surface du bâti présente une variation selon les périodes et a atteint sa valeur maximale durant la période 2002-2012 soit 1908 hectares en 10 ans.

La figure 35 présente l’accroissement de la surface du bâti de la ville de Fès entre 1912 et 2012.

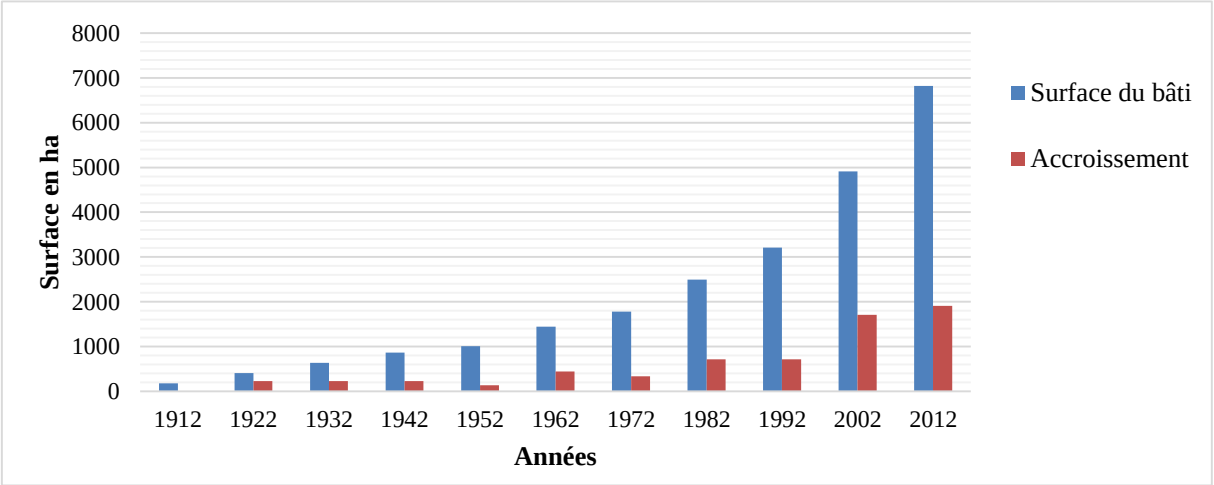


Figure 35 : Evolution de la surface du bâti dans la ville de Fès entre 1912 et 2012

Il faut souligner aussi que durant ces dernières années, la ville de Fès a enregistré la conversion des zones villas en zones immeubles, cette opération a été enregistrée dans plusieurs zones de la ville à savoir l'avenue Moulay Rachid (route de Sefrou), quartier Bourmana, champ de course …etc.

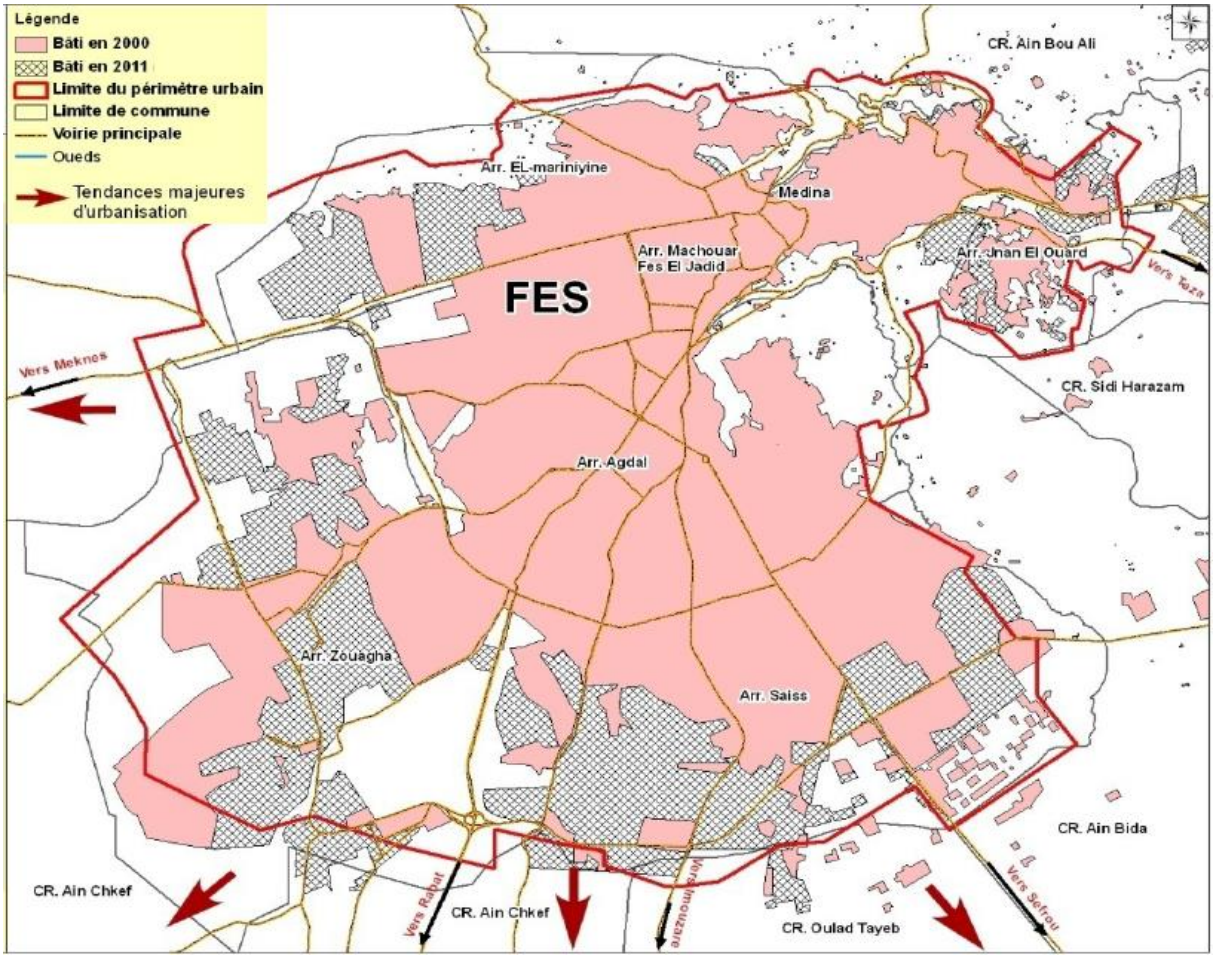


Figure 36 : Surface du bâti entre 2000 et 2011 (Ministère de l'agriculture et pêche maritime, 2013)

II.2.3 Extension sud-ouest

L'extension sud-ouest a été sollicitée par les études d'urbanisme de la ville de Fès, vu que cette zone présente les meilleures conditions d'équipement par rapport à celle de l'Est.

L'extension sud, ouest et sud-ouest englobe principalement les zones Bensouda, route de Meknès, route d'Ain Chkef et Oulad Tayeb là où plusieurs lotissements et zones d'habitat ont eu lieu en une durée restreinte au détriment des espaces verts, terres agricoles et fermes privés. L'étude de cette extension est primordiale du fait qu'elle englobe tous les éventuels problèmes liés à l'urbanisation à savoir la perte des terres agricoles, l'évacuation des eaux pluviales et usées du fait de sa position par rapport au sens d'écoulement gravitaire des eaux.

La comparaison des images satellitaires entre 2000 et 2011 qui a été faite par le ministère de l'agriculture et de la pêche maritime en 2013 a illustré clairement une partie de cette

extension au détriment des espaces agricoles. La figure 37 schématise une partie de ce phénomène dans la partie sud-ouest de la ville le long de route d'Ain chkef.

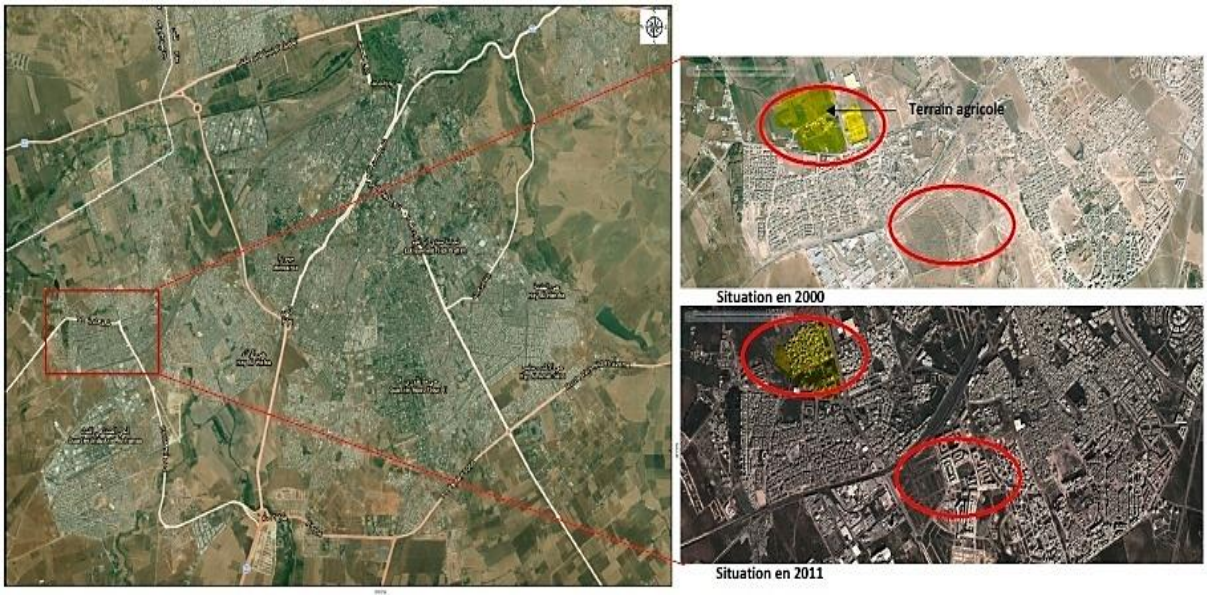


Figure 37 : Urbanisation entre 2000 et 2011 de la zone sud-ouest (MAPM, 2013)

D'autre part la zone d'Oulad Tayeb constitue un exemple tangible de l'extension urbaine sud de la ville de Fès, situé à environ 2 km de l'aéroport de Fès Saïs et 2.5 Km au Sud du centre de Fès, le centre d'Oulad Tayeb caractérisé par une diversité de sols d'une superficie d'approximativement 530 hectares.

Le centre d'Oulad Tayeb est abrité par un plan d'aménagement homologué en mois d'Avril 1997, et vise essentiellement la restructuration du centre autour de la route nationale reliant la ville de Fès et Immouzer, limitation de l'extension linéaire par création des zones de réserves d'aménagement (RS) au Nord pour limiter l'extension vers Fès et la création du pôle urbain au Sud-Ouest, atténuation de l'image de « village rue » par la projection d'un réseau de voirie structuré et amélioration de l'environnement urbain par la création des espaces verts (AUSF, 2008).

D'une surface totale d'environ 550 hectares, le plan d'aménagement du centre d'Oulad Tayeb découpe cette surface d'une manière à satisfaire les besoins du centre en termes d'habitat, activités, équipements publics et bien évidemment des espaces verts et des zones boisés. Le tableau 6 synthétise les surfaces réservées pour chaque zone d'aménagement.

Tableau 6 : Prévision du plan d'aménagement de 1997 d'Oulad Tayeb (AUSF)

Désignation	**Surface en hectare**
Habitat	245.00
Activités	63.00
Equipements publics	30.00
ZAC (Zone d'aménagement concertée)	28.00
Espaces verts	75.00

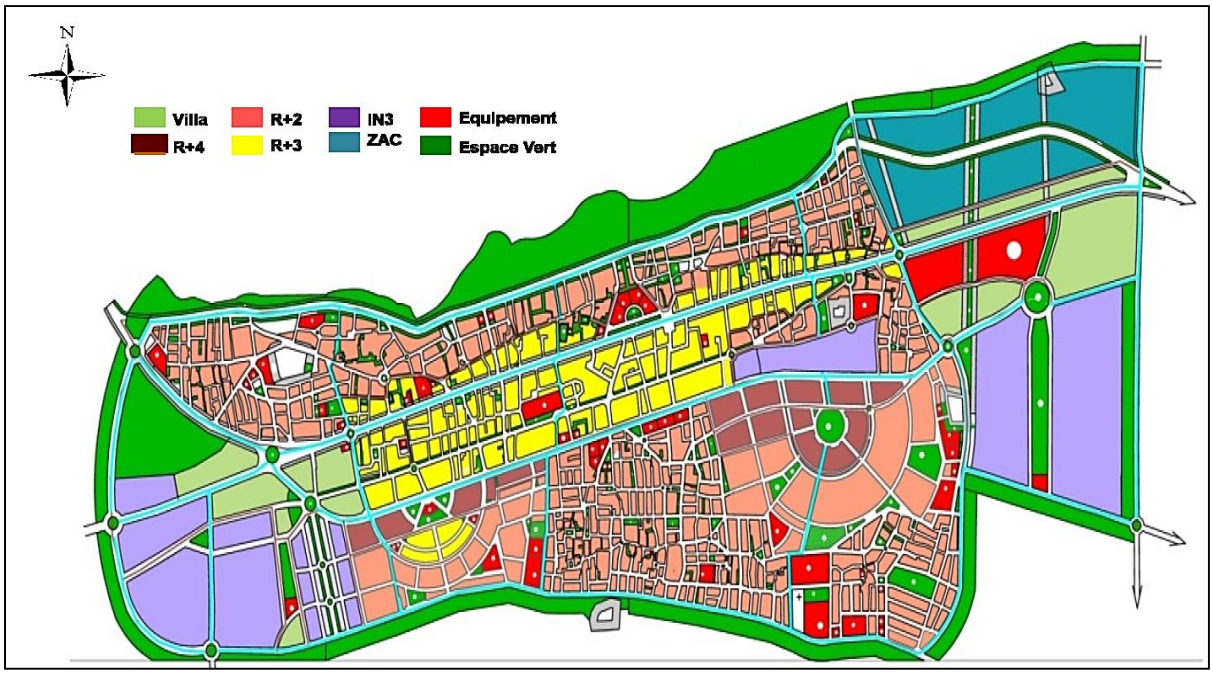


Figure 38 : Plan d'aménagement d'Oulad Tayeb (Ministère de l'agriculture de la pêche maritime, 2013)

Dans cette optique, le centre d'Oulad Tayeb a enregistré une évolution urbaine importante sauf que cette urbanisation a été effectuée essentiellement dans les zones de sols à haute fertilité, le ministère de l'agriculture a confié à l'un des bureaux privés l'étude de l'extension du centre au détriment des espaces agricoles entre 2000 et 2011 (Fig. 39).

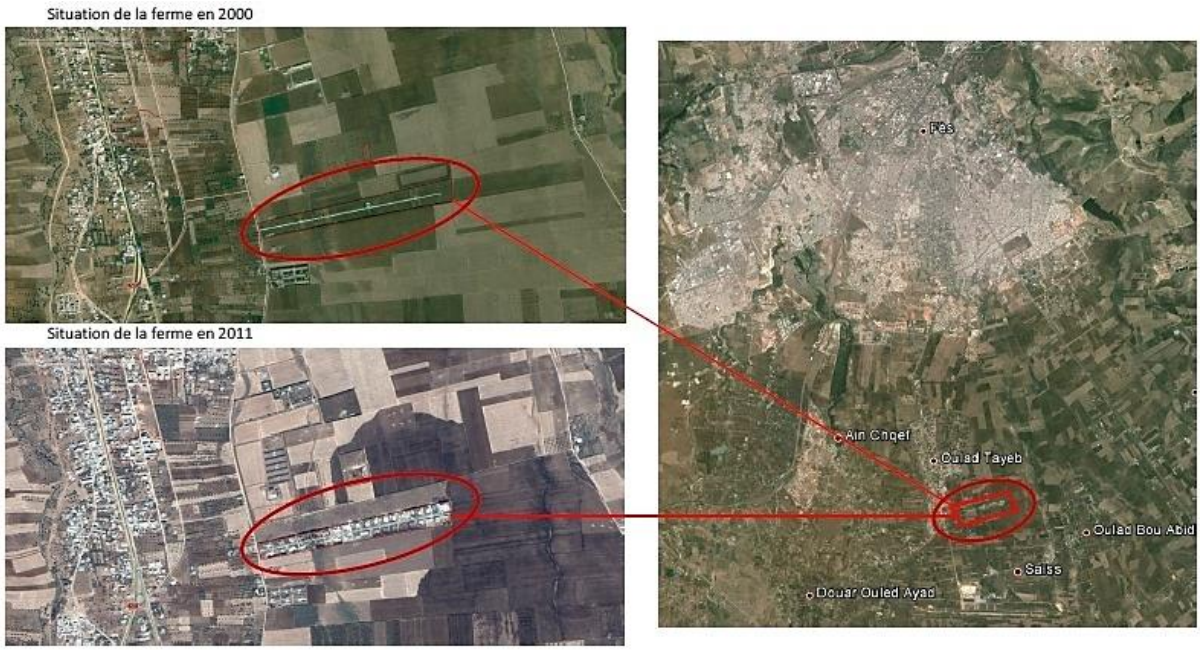


Figure 39 : Urbanisation d'une Ferme (Oulad Tayeb) (ministère de l'agriculture et pêche maritime, 2013)

II.2.4 Indices de saturation

Compte tenu de l'urbanisation de la ville de Fès entre 1912 et 2012, soit un siècle, l'étude de la saturation du périmètre urbain actuel en termes d'espace urbanisable repose sur l'établissement de la moyenne des cadences en vue de déterminer l'année de saturation où il sera indispensable de chercher de nouvelles zones à urbaniser.

Pour y arriver on a fixé deux paramètres essentiels, α et β, le premier représente le rapport entre la zone à urbaniser et la zone déjà urbanisée pour une période élémentaire, alors que le deuxième représente le nombre des années restantes à la saturation à partir de l'année 2012.

Il s'avère que le périmètre actuel de la ville de Fès pourrait être saturé en termes de zones urbanisables pendant l'année 2023 (Tableau 7).

Tableau 7 : Indices de saturation des espaces urbanisables de la ville de Fès

Période élémentaire	**Surface urbanisée (Ha)**	**% d'occupation**	**α**	**Durée (année)**	**β**	**Année de saturation élémentaire**	**Moyenne**
1912-1922	880.00	5.50%	3.41	10	34.09	2046	**2023**
1922-1932	1560.00	9.75%	1.92	10	19.23	2031	
1932-1942	1590.00	9.94%	1.89	10	18.87	2031	
1942-1952	2756.00	17.23%	1.09	10	10.89	2023	
1952-1962	3900.00	24.38%	0.77	10	7.69	2020	
1962-1972	4783.00	29.89%	0.63	10	6.27	2018	
1972-1982	6397.00	39.98%	0.47	10	4.69	2017	
1982-1992	9300.00	58.13%	0.32	10	3.23	2015	
1992-2002	10080.00	63.00%	0.30	10	2.98	2015	
2002-2012	13000.00	81.25%	0.23	10	2.31	2014	

II.3. Simulation de la croissance urbaine

Il existe de nombreux modèles de simulation par leur fonctionnement, les règles de simulation et les données d'entrée. Il s'agit d'une part du modèle spatial (SLEUTH) et du modèle économique (NEDUM-2D) dédiés à la simulation de l'expansion urbaine et comme outil générique de simulation des changements d'occupation et d'usage des sols (LCM) (Aguejdad, 2016).

La simulation de la croissance et la modélisation spatiale ont pour objectif de modéliser l'évolution du bâti dans l'espace et illustrer les axes majeurs de l'urbanisation, leurs directions et formes. La diffusion est déterminée à la fois par la proximité et la morphologie des composantes bâties, situées dans un espace dont la configuration détermine également le processus. Par ailleurs, les simulations futures sont réalisées par traitements d'images au moyen de la morphologie du bâti existant. Ces caractéristiques expliquent les caractéristiques spatio-morphologiques données à cette modélisation. L'utilité du modèle est double, tester d'une part la validité des règles de diffusion spatiale du bâti et proposer d'autre part un outil de

géoprospective de projection future des grandes lignes de l'urbanisation (Novec, 2013). Ces procédés aident à la compréhension de la façon avec laquelle l'extension urbaine se diffuse dans les terrains avoisinants.

II.3.1 Modèle SLEUTH

Ce modèle tire son nom de l'abréviation formé de six mots (Slope, Land Cover, Excluded, Urban, Transportation et Hillshade) qui correspondent aux données d'entrée nécessaires à son exécution : pente, occupation du sol, zones à exclure, zones urbanisées, réseau de transport et ombrage (Aguejdad, 2016). Il est connu sous le nom du modèle de croissance urbaine des automates cellulaires de Clark dédiés à la simulation dynamique et spatialement explicite de l'expansion urbaine en se basant sur des données d'entrées et des paramètres de simulation associés à des règles de transition (Clarke et Gaydos, 1998 ; Candau, 2002 ; Dietzle et Clarke, 2007)

La popularité du modèle SLEUTH, comparé aux modèles urbains traditionnels, peut s'expliquer en partie par la simplicité et la disponibilité de ses variables d'entrée (Triantakonstantis et Mountrakis, 2012). Il permet de simuler quatre formes d'expansion urbaine différenciées : continuité de l'urbain existant, création de nouveaux centres ou foyers urbains, diffusion et allongement des axes routiers (Aguejdad, 2016). Il est calibré sur des données historiques afin de reproduire les patrons spatiaux du développement urbain passé (Jantz et Goetz, 2005). Cinq paramètres dont les valeurs varient de 0 à 100 sont déterminés par le biais d'un processus stochastique générant plusieurs itérations en utilisant la méthode de Monte Carlo (Aguejdad, 2016). Trois paramètres permettent de contrôler les formes spatiales de l'expansion urbaine. Un quatrième sert à modéliser l'effet attractif du réseau routier, tandis que le dernier permet de définir l'influence des pentes. Les valeurs de ces paramètres sont ajustées au cours du cycle de simulation grâce à la fonction d'auto-modification de SLEUTH (Candau, 2002 ; Jantz et Goetz, 2005 ; Aguejdad, 2016).

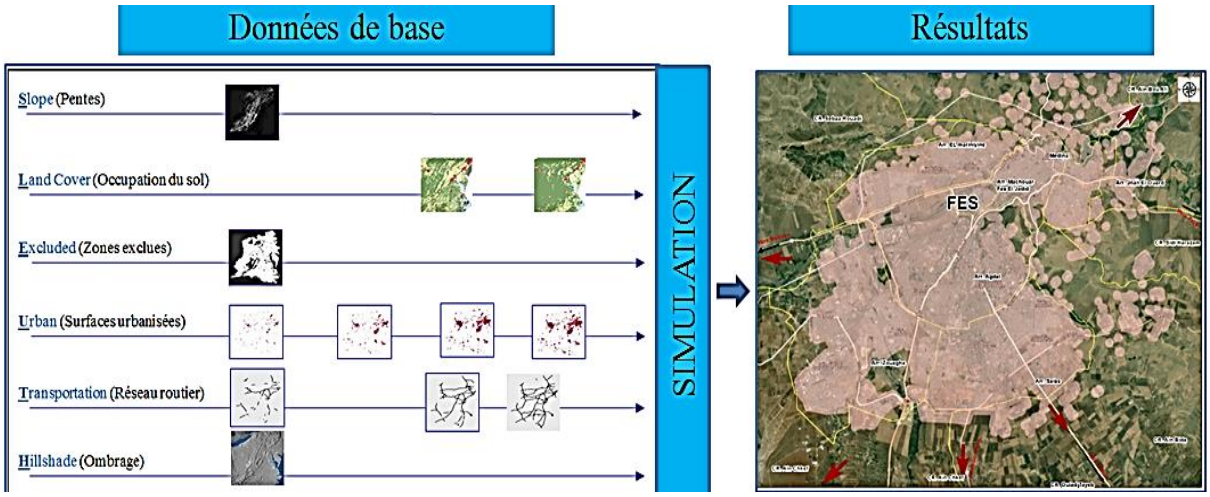


Figure 40 : Procédé de simulation de l'expansion urbaine

Il est à rappeler que le modèle SLEUTH s'intéresse dans notre cas à la surface du bâti, non pas à la surface urbanisée, car cette dernière se définit par le bâti et les aménagements qui vont avec à savoir les espaces réservés, les espaces verts et diverses zones (Fig. 41).

Les règles de croissance utilisées par le modèle dépendent des facteurs locaux (par exemple les routes, les zones urbaines existantes, la topographie), les facteurs temporels et les facteurs aléatoires. Les cartes annuelles du changement prévu sont générées et permettent l'affichage animé des prévisions au fil du temps ainsi que l'intégration dans la base de données SIG pour d'autres analyses spatiales (Novec, 2013).

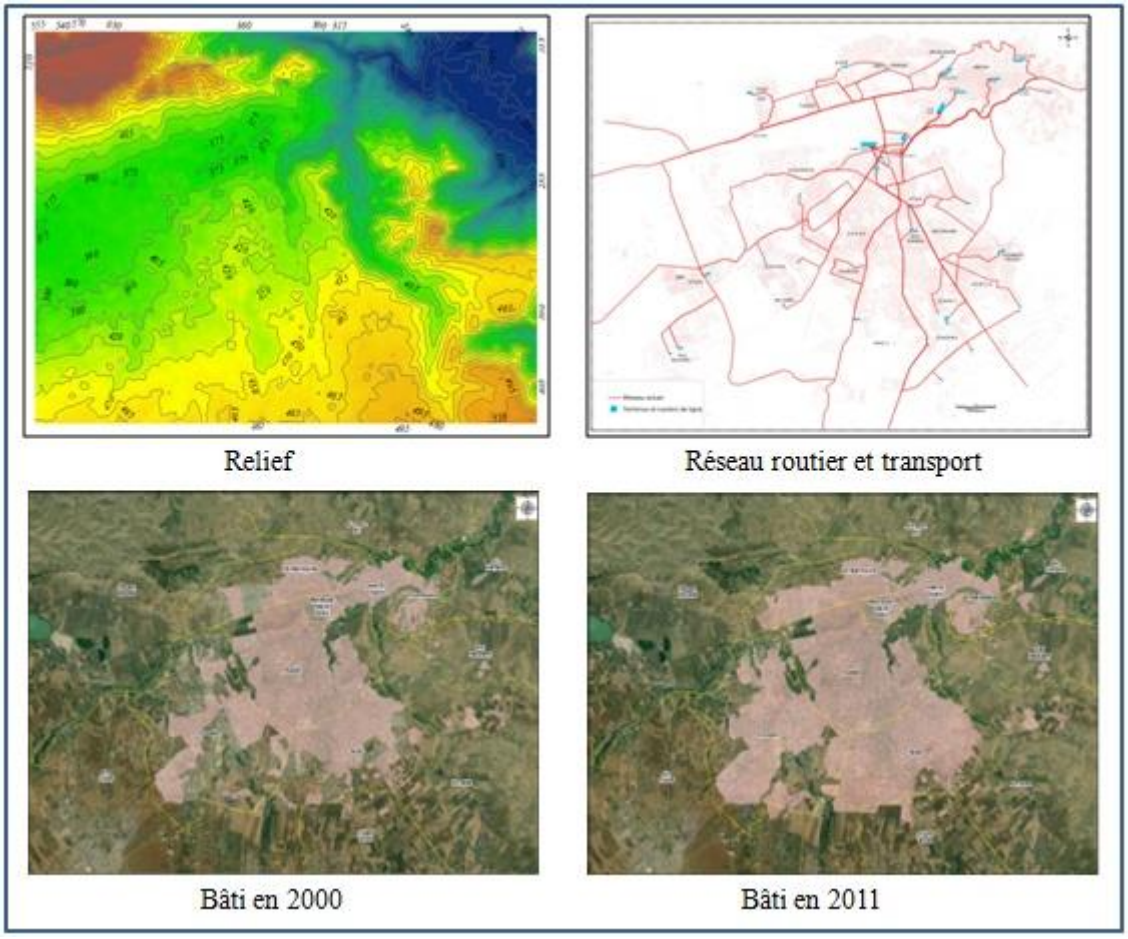


Figure 41 : Données d'entrées du modèle SLEUTH

II.3.2 Résultats de simulation

La simulation par le modèle SLEUTH a permis de compléter les données de la courbe de l'accroissement de la surface du bâti (Fig. 35) et de projeter cet accroissement à l'horizon 2032, (Fig. 42 et Fig. 43).

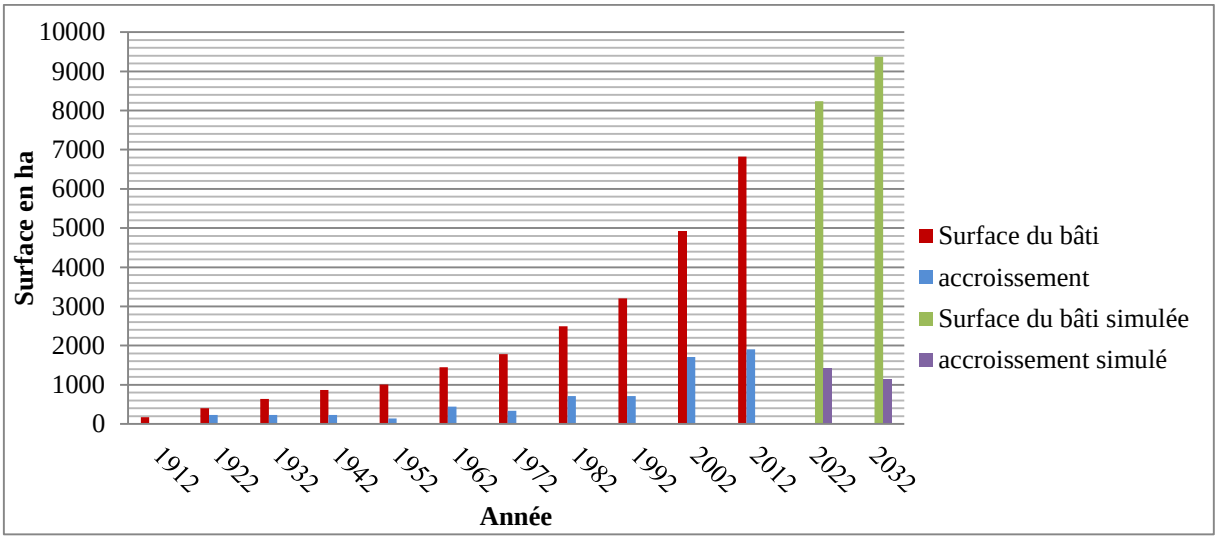


Figure 42 : Accroissement de la surface du bâti entre 1912 et 2032

La simulation par le modèle SLEUTH a permis de déterminer approximativement la surface du bâti à l'horizon 2032, qui atteindra probablement les 9370 hectares en 2032 (Fig.43).

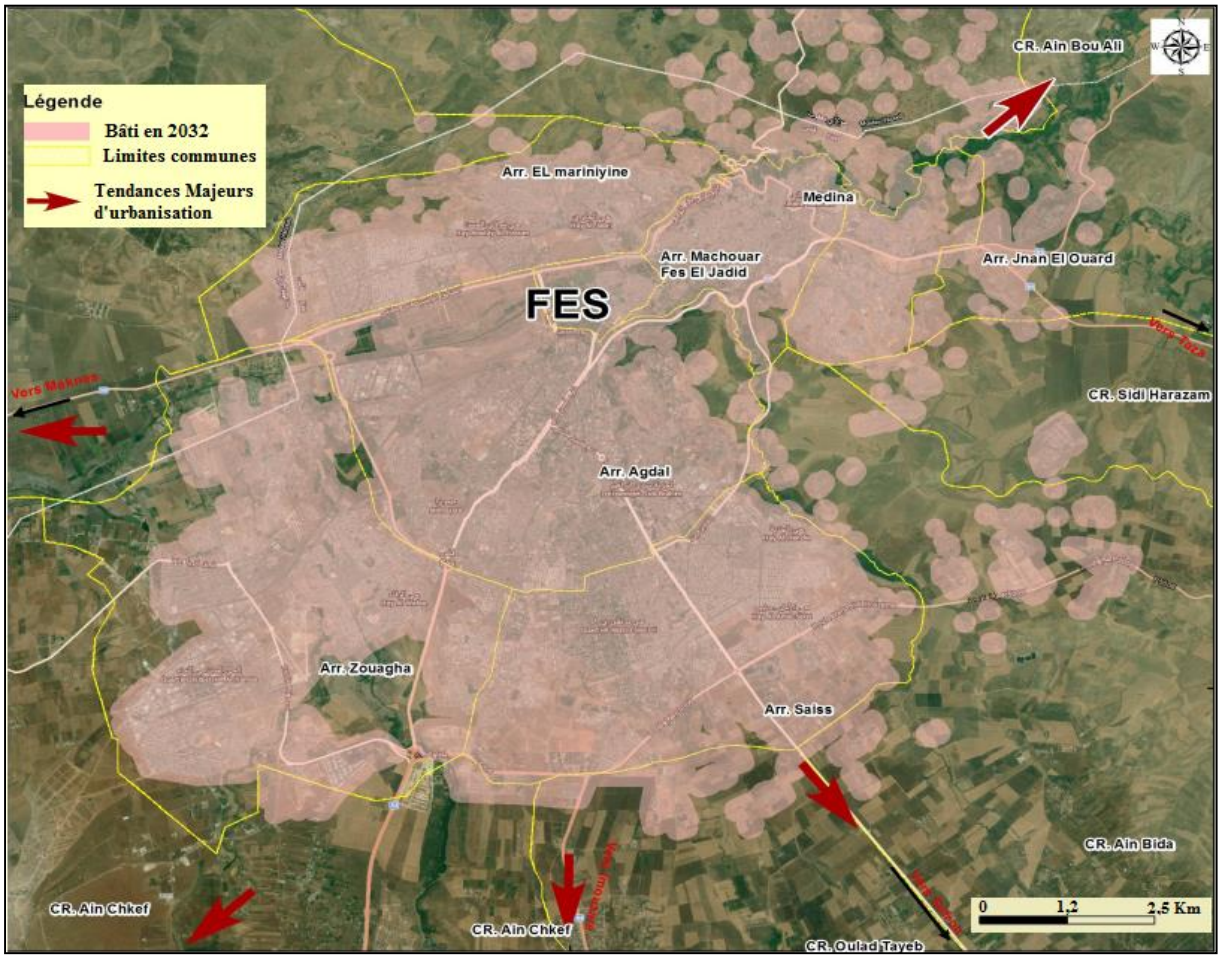


Figure 43 : Bâti simulé de la ville de Fès et ses périphéries (2032)

III. Impacts

Les impacts de l'extension urbaine peuvent prendre plusieurs formes et sont liés à plusieurs facteurs, sociaux, économiques et environnementaux.

III.1. Impacts sociaux

Socialement, l'extension urbaine va à l'encontre des principaux objectifs de la mixité sociale, les habitants des zones périphériques ont moins d'accès aux services clés par rapport aux habitants du centre, sauf avec les efforts des responsables de la ville que les choses ont tendance à s'améliorer. Les habitants de la périphérie font généralement partie des catégories sociales moyennes ou pauvres d'où l'acquisition des voitures peut être difficile ce qui augmente la dépendance aux services du transport commun qui parfois n'est pas à la hauteur de leurs attentes.

L'absence ou la non-adaptation de certains équipements et la qualité de vie fait de ces quartiers des zones sous-équipées, ce qui provoque chez les habitants la sensation de marginalisation qui avec le chômage et le niveau de vie bas, le risque de crime s'accentue et l'anarchie se prolifère.

L'implantation des lotissements et des quartiers périurbains risque de favoriser la construction d'armatures urbaines rémanentes inadaptées au corps architectural urbain moderne, l'accès des services de sureté nationale et des services de secours est difficile voire même impossible.

III.2. Impacts environnementaux

Les impacts de l'extension urbaine sur l'environnement sont nombreux et peuvent être synthétisé comme suit :

III.2.1 Imperméabilisation des sols

L'imperméabilisation des sols entraîne une moindre recharge des nappes et un accroissement du ruissellement augmentant ainsi le risque d'inondation. De plus, elle engendre le lessivage brutal des particules de pollutions déposées sur les chaussées au cours d'orages, d'où des risques accrus de pollution des rivières et des nappes phréatiques en aval (Sainteny, 2008).

L'accroissement du coefficient de ruissellement (Cr) augmente le débit de pointe des eaux pluviales au moment des averses ce qui surcharge les collecteurs avals. Cette surcharge se traduit par des débordements des eaux des collecteurs et risque d'inondation probable.

Le coefficient de ruissellement (Cr) est primordial dans le calcul du débit de pointe des eaux pluviales, les calculs de ce coefficient sont plus détaillés dans le chapitre VIII relatif à l'étude des risques d'inondation.

III.2.2 Perte des espaces verts et agricoles

L'extension urbaine consomme les espaces agricoles urbains et périurbains qui constituaient une source non négligeable d'approvisionnement alimentaire en termes de produits agricoles, sachant que l'agriculture périurbaine a des exigences inférieures en termes d'emballage, de stockage et de transport du fait de la proximité du centre de la ville.

Les promoteurs immobiliers et en absence du suivi minutieux des services concernés ne réservent que des surfaces très limitées destinés aux espaces verts qu'on ne trouve pratiquement pas dans la majorité des lotissements.

Selon les données collectées sur les espaces verts de la ville, le rapport de la surface des espaces verts par habitants (Ev/Hab) diffère d'un arrondissement à un autre selon l'âge moyen des constructions ; le tableau suivant représente le rapport Ev/Hab.

Tableau 8 : Surface des espaces verts par arrondissement et indice Ev/hab

Arrondissement	Population	% des ménages avec âge <20 ans	Espaces verts (m²)	Ev / Hab (m²/hab)
Agdal	142407	37.24	190867.5	1.340
Mérinides	209494	26.00	164595.5	0.785
Saïss	207345	53.00	69862.74	0.336
Zouagha	260663	58.60	29019	0.111
Medina – Mechouar	292163	1.74	152512	0.522

Il ressort clairement que les anciens arrondissements tels qu'Agdal, Mérinides, et Médina rassemblent des surfaces importantes d'espace vert avec respectivement 31.45%, 27.12%, 25.13% de la totalité des espaces verts de la ville. Néanmoins le ratio (Ev/Hab) qui décrit le rapport en m² par habitant des espace verts reste très loin de la moyenne préconisée par l'OMS qui est comprise entre 10 à 14 m²/hab.

Les arrondissements dont l'âge de la majorité des constructions ne dépasse pas les 20 ans (extension récente) présentent les ratios les plus faibles tels que Zouagha et Saïss avec respectivement 0.111 m²/hab et 0.336 m²/hab.

En conclusion, plus les lotissements sont jeunes plus le ratio Ev/Hab diminue, ce qui prouve clairement que soit lors du découpage architectural des nouveaux lotissements les espaces ne sont pas pris en considération, soit ils ne sont pas réellement exécutés sur terrains en restant juste des plans.

L'impact de l'extension urbaine de la ville de Fès sur l'agriculture périurbaine sera plus détaillé dans le chapitre IV relatif à l'agriculture périurbaine de la ville de Fès.

III.2.3 Consommation d'énergie et émission du CO_2

L'accroissement de la population implique l'augmentation de la consommation d'énergie qui peut atteindre sa valeur maximale quand la densité de la population diminue.

L'extension de la ville augmente la dépendance à l'automobile et au service du transport commun, d'autant plus élevée lorsqu'on s'éloigne du centre de la ville. Les études menées dans ce sens ont pu montrer que la relation directe existe entre la densité de population et consommation d'énergie (figure 44).

L'accroissement de la consommation d'énergie implique l'augmentation des émissions des gaz à effet de serre notamment le CO_2. Dans certaines zones de la ville les habitants se trouvent dans l'obligation d'utiliser deux lignes de bus pour arriver au travail (ou études).

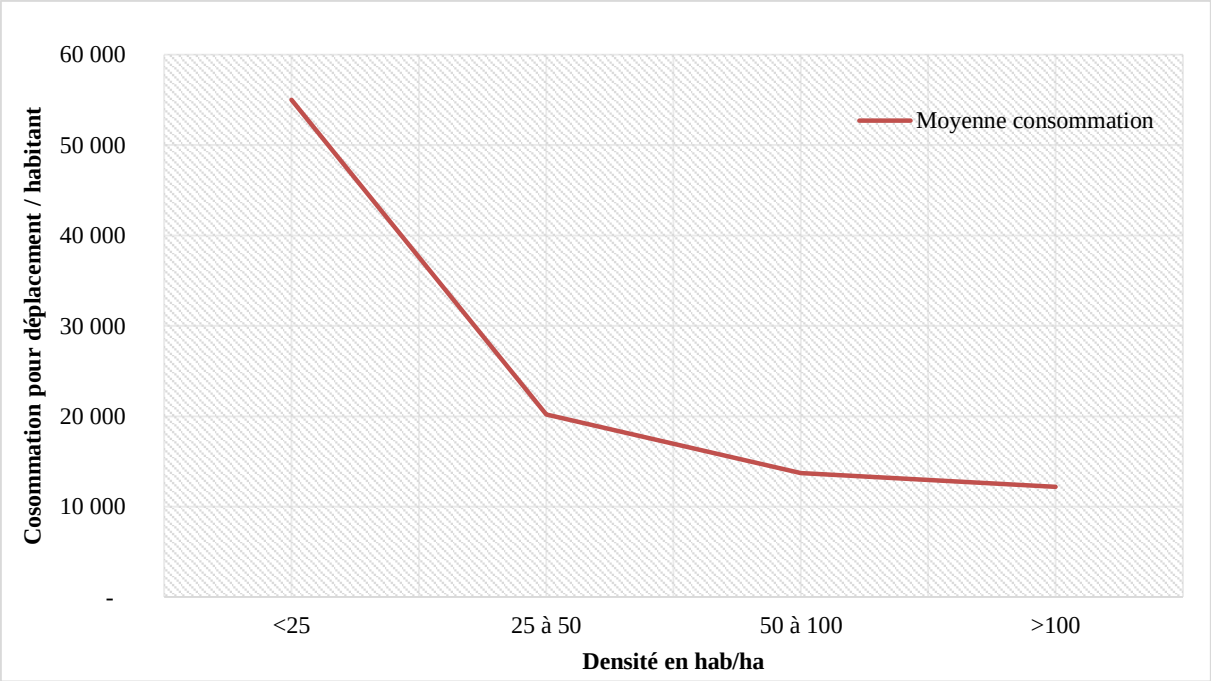


Figure 44 : Consommation annuelle moyenne pour transport en fonction de la densité de population (Sainteny, 2008)

III.3. Impacts économiques

Du point de vue économique, la majorité des espaces agricoles urbanisés sont tarifiés sans prendre en compte la vraie valeur économique des terres ; ce procédé instaure une concurrence directe entre l'étalement urbain et la production agricole. Dans cette optique l'extension forcée de l'accroissement démographique et la forte demande en logement s'accentue au détriment des espaces agricoles qui fournissaient des produits frais de proximité.

La main d'œuvre agricole qui se retrouve forcée à changer d'activité au BTP, construction et travaux divers (qui a une durée bien limitée) afin de gagner leurs vies.

Aussi, l'extension de la ville augmente les frais liés à l'assainissement liquide et à la collecte des déchets solides ménagers. Les gestionnaires de la ville se retrouvent face à une situation où ils doivent dépenser plus pour assurer l'évacuation des eaux pluviales et usées.

Les coûts d'entretien des réseaux d'assainissement augmentent et la réhabilitation demeure une charge de plus afin de pérenniser leur durée de vie ; ces frais seront plus détaillés dans le chapitre X.

IV. Conclusion

La ville de Fès a fait l'objet de plusieurs plans d'aménagement, dont les principaux sont ceux de Prost en 1916 qui avait pour objectif la création de la Ville Nouvelle au moment où la ville de Fès a perdu son rôle de capitale. Ecochard entre 1948 et 1952 a proposé dans son plan d'aménagement une stratégie visant la dé-densification de la Médina par la création de nouveaux quartiers notamment Ain Kadouss et la création des zones industrielles pour le rassemblement des activités artisanales. Vingt-huit ans plus tard la ville de Fès a aussi fait l'objet d'une étude d'actualisation du schéma directeur d'urbanisme qui visait la réorientation de l'extension urbaine et la valorisation de la Médina par l'implantation des infrastructures d'accès.

La surface urbanisée est passée de 175 hectares à environ 6820 hectares en 2012, cette extension a été effectuée principalement au détriment des espaces agricoles de la ville de Fès et sa région.

Chapitre IV : Agriculture urbaine et périurbaine de la ville de Fès

L'agriculture urbaine et périurbaine est pratiquée dans le monde entier à l'intérieur ou aux alentours des limites administratives des villes. Elle permet d'obtenir des produits provenant de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche ou de la foresterie (FAO, 1999).

L'agriculture urbaine et périurbaine suscite actuellement une attention particulière, du fait des particularités qu'elle présente des avantages économiques, sociaux et environnementaux.

I. Agriculture urbaine et périurbaine : contexte mondial

I.1. Définition

Il est possible de caractériser l'agriculture urbaine, largement intégrée depuis longtemps dans les villes des pays en développement, comme élément de sécurité et de souveraineté alimentaire des citadins. Elle génère aussi des revenus et réduit les coûts liés à l'achat de la nourriture (Boucher, 2009). Dans les pays occidentaux, l'agriculture urbaine est intéressante non seulement pour ses fonctions alimentaires, mais aussi pour ses bénéfices environnementaux, paysagers, sociaux et communautaires (Boily, 2012).

L'agriculture se présente sous différentes formes, au Québec par exemple, peut être des jardins communautaires, collectifs, personnels ou scolaires, dans le sol, sur les toits ou en bacs. Dans les pays occidentaux, elle revêt souvent un caractère social et communautaire plutôt qu'un aspect commercial (Boily, 2012).

En conclusion l'agriculture urbaine est l'ensemble des activités de production d'aliments souvent, mais pas exclusivement, réalisées à petite échelle dans la ville et qui utilisent des ressources, des produits et des services qui se trouvent dans la ville. Fournissant des produits agricoles et des services pour une consommation locale, l'agriculture urbaine peut prendre différentes formes : communautaire, commerciale ou privative…etc. Elle présente ainsi des spécificités qui la différencient grandement de l'agriculture rurale et même de l'agriculture périurbaine (Boily, 2012).

Le concept d'agriculture périurbaine est difficile à définir, au Québec, il règne une certaine obscurité autour de ce concept du fait qu'il n'est pas évident de déterminer son commencement et sa fin, sauf que la zone périurbaine peut se définir comme étant l'espace compris entre la ville et ses banlieues d'un côté, et la campagne rurale de l'autre (Bryant et Marois, 1998).

Établir une définition détaillée de l'espace périurbain selon des critères précis de distances ou de limites géographiques semble vain. En effet, les espaces périurbains siègent dans un flou géographique, dans un espace variable selon les particularités régionales et modifiable dans le temps en fonction de l'étalement urbain, par exemple. Ils sont donc des espaces changeants, intermédiaires entre la ville, ses banlieues et la campagne rurale. De plus,

leur dynamique et leurs attributs particuliers sont largement influencés par les effets du voisinage urbain : proximité du marché, spéculation foncière, etc. Globalement, la transition entre l'espace périurbain et l'espace rural s'effectue au fur et à mesure que s'estompent les effets de la proximité de la ville (Boily, 2012).

En conclusion, l'agriculture périurbaine peut être défini comme l'ensemble des activités agricoles réalisées dans l'espace intermédiaire entre l'urbain et le rural ; ces activités sont influencées par les effets du voisinage urbain (proximité de la consommation) qui permet d'entretenir des liens commerciaux avec le marché urbain.

I.2. Agriculture urbaine dans le monde

I.2.1 Expérience canadienne

Le concept de l'agriculture urbaine est bien ancré dans la culture et la réalité montréalaise. En effet, en Amérique du Nord, Montréal est la plus avancée en la matière avec la présence de plus de 94.000 hectares (Boily, 2012) Montréal a par ailleurs adopté un programme municipal de jardins communautaires dès 1975 qui a pour objectif assurer le maintien et le suivi de la qualité du sol de 98 jardins communautaires. D'ailleurs, la ville a dû fermer temporairement ou définitivement certains jardins communautaires à cause des sols contaminés. Certains citoyens se sont toutefois tournés vers la culture en bacs pour pallier cet obstacle. Le plus vieux jardin de Montréal situé dans l'arrondissement Lasalle en activité depuis 1936 (Boily, 2012).

Plusieurs organismes œuvrent dans le domaine de l'agriculture urbaine à Montréal. L'un d'eux est le Collectif de recherche en aménagement paysager et en agriculture urbaine durable de l'Université du Québec à Montréal (CRAPAUD), dont la mission est de « promouvoir par la recherche, la sensibilisation, la réappropriation et l'action, une agriculture, un aménagement et un entretien paysager respectueux de l'environnement en utilisant le jardin urbain et le compostage en milieu institutionnel comme laboratoire expérimental d'éducation populaire ». Le CRAPAUD s'est fait connaître par ses Écoles d'été sur l'agriculture urbaine, des sessions de formation, d'échanges et de réseautage sur l'agriculture urbaine accessibles à tous. Également, le groupe de travail en agriculture urbaine, qui existe depuis 2010, est un collectif regroupant plusieurs organismes ayant pour mission de soutenir et d'encourager toutes les formes d'agriculture urbaine dans la métropole. En automne 2011, il a mis sur pied une pétition afin de réclamer une consultation publique pour examiner l'état de l'agriculture urbaine à Montréal (Boily, 2012).

I.2.2 Expérience européenne

En Europe, de nombreuses initiatives ont fleuri dans le domaine de l'agriculture urbaine qui constitue un enjeu de citoyenneté pour tisser un lien de solidarité entre producteurs et consommateurs. L'agriculture urbaine peut servir de réponse pour le maintien de la biodiversité qui se fait par des initiatives tels que les jardins communautaires, familiaux ou collectifs, par l'appropriation de lieux abandonnés par des espaces verts. Plusieurs initiatives ont eu lieu par les citoyens comme le mouvement « Incredible Edible » qui s'est développé

en Angleterre et étendu à d'autres pays comme la France et la Belgique (Rouquette, 2017). De plus le concept de l'agriculture urbaine permet de créer et consolider les liens sociaux à travers l'échange, les rencontres et l'apprentissage grâce à l'engagement des citoyens dans la gestion.

Avec les avantages sociaux, économiques et environnementaux que présente l'agriculture urbaine, l'union européenne a rentré dans le procédé de la promouvoir, le comité économique et social européen s'est prononcé en faveur de l'intégration des acteurs de la société civile dans l'élaboration de villes plus durables, soulignant également que le programme urbain de l'UE doit appréhender les relations entre les villes et agglomérations et les zones périurbaines contiguës ou environnantes, qui contribuent à la qualité de la vie urbaine (comité économique et social européen, 2016).

Dans ce sens, en Europe, de nombreuses initiatives ont pu avoir lieu, que ce soit des jardins communautaires ou des fermes urbaines, à titre d'exemple la ferme urbaine la Recylerie à Paris en France, le parc Miraflores à Séville en Espagne, le Prinzessinnengarten à Berlin en Allemagne…etc. Ces différents projets permettent aux citoyens de prendre part à de nombreuses activités et d'être sensibilisés aux enjeux environnementaux. Ces lieux d'agriculture urbaine sont aussi un moyen de développer des liens sociaux entre habitants d'un même quartier mais également entre consommateurs et producteurs (Rouquette, 2017).

I.3. Agriculture périurbaine dans le monde

I.3.1 Expérience canadienne

La communauté métropolitaine de Québec (CMQ) englobe quelques 94.000 hectares en sa zone agricole, plus de 50% de cette superficie est toujours boisée, les terres cultivées occupent environ 33% alors que les friches et les terres utilisées pour des fins non agricoles ou autres n'occupent que 13 %. Le tableau suivant établi par la communauté métropolitaine de Québec en 2006 montre les différentes utilisations de la zone agricole.

Tableau 9 : Différentes utilisations de la zone agricole dans la communauté métropolitaine de Québec

Composantes de CMQ	Superficies consacrées aux divers usages (en hectares)					
	Agriculture	Forêts et boisés	Friches	Usages non agricoles	Autres	**Total**
Agglomération de Québec	5933	5137	449	934	46	**12 501**
Ville de Lévis	9730	16 858	1637	1746	3255	**33 225**
La Côte de Beaupré	4517	17 109	1199	841	426	**24 093**
La Jaques Cartier	1598	4145	149	112	200	**6204**
L'île-d'Orléans	9595	7363	540	872	243	**18 613**
Total CMQ	**31 374 (33.15%)**	**50 613 (53.78%)**	**3974 (4.20)**	**4506 (4.76%)**	**4170 (4.41%)**	**94 636 (100%)**

Au Québec, dans les années 1960 et 1970, l'étalement urbain s'est toutefois accéléré considérablement et a transformé de façon irréversible les terres agricoles qui assuraient autrefois l'approvisionnement alimentaire de la population citadine. Devant les répercussions négatives de ce développement sur les territoires agricoles, le gouvernement québécois adopte

en 1978 la Loi sur la protection du territoire agricole, qui est rentée en vigueur en 1996. Cette loi produit de nombreux effets positifs sur les territoires agricoles autour des villes (Boily, 2012).

Au Québec, l'agriculture périurbaine fait face à plusieurs contraintes majeures à savoir l'étalement urbain et le manque de reconnaissance, la première contrainte réside en le fait que les terres fertiles n'occupent que 2% de la superficie du Québec et l'étalement urbain dévore ces terres qui sont irrécupérables et rapproche les terres agricoles de la ville. Ce rapprochement se traduit par une élévation des taxes municipales du fait qu'elles sont élevées en ville qu'à la campagne. Ces taxes présentent une charge supplémentaire pour les agriculteurs.

Par ailleurs, l'agriculture périurbaine et ses fonctionnalités sont souvent dévalorisées par certains acteurs et considérées comme un frein au développement urbain. Pourtant, elles sont reconnues pour leur rôle d'éventuel moteur de développement économique.

De plus le concept d'agriculture périurbaine doit faire face aux contraintes liées à la baisse des prix de certains produits de base du fait de la concurrence internationale (Bacchialoni, 2001) et la concurrence avec les villes pour obtenir la main-d'œuvre et une population agricole vieillissante. Ces contraintes constituent un frein pour le développement des entreprises agricoles périurbaines (Chahine, 2011).

I.3.2 Expérience européenne

En Europe l'agriculture périurbaine a été l'objet d'analyses constantes dans plusieurs pays, comme les Pays-Bas, la Grande-Bretagne et la France notamment avec Vaudois en 1996 et Larcher en 1998.

En France par exemple l'agriculture périurbaine suscite une importance remarquable du fait qu'elle représentait en 2000 avec l'agriculture urbaine environ 44% des exploitations nationales, 41% de la superficie agricole utilisée et 46% de la dimension économique agricole nationale (Agreste, 2002).

En Espagne et précisément dans l'aire métropolitaine de Barcelone l'agriculture périurbaine est reconnue pour son rôle dans l'insertion professionnelle des habitants de la périphérie et par son rôle d'outil de thérapie pour les gens en difficulté psychologique. Elle englobe quelques 23 100 hectares avec une production ne dépassant pas 11% des fruits et légumes dont la population métropolitaine a besoin (Soussan, 2015).

Chloé Soussan (2015) a souligné que l'agriculture périurbaine est reconnue pour son rôle de préserver la biodiversité et les espaces naturels dans l'aire métropolitaine de Barcelone par la création d'une ceinture verte permettant de reconnecter les espaces verts entre eux, malgré le manque des terres disponibles à proximité et la disparition progressive des agriculteurs professionnels.

II. Agriculture périurbaine et urbaine dans la ville de Fès

II.1. Potentialités pédologiques

Le centre de Fès est caractérisé par une diversité de sols (Novec, 2013) :

- les sols minéraux bruts : il s'agit surtout d'affleurement rocheux et de bad-lands formés essentiellement sur calcaires et marnes ;
- les vertisols : il s'agit des sols argileux très riches en éléments minéraux et caractérisés par une très bonne réserve en eau utile. Ils sont localisés principalement au niveau de la plaine de Saïss et réservés le plus souvent aux céréales ;
- les sols peu évolués : il s'agit de sols d'apport alluvial et colluvial et des sols peu évolués ;
- les isohumiques : il s'agit de sols bruns et châtains subtropicaux relativement fertiles et riches en éléments nutritifs. Ils sont localisés essentiellement dans la plaine de Saïs ;
- les sols calcimagnésiques : il s'agit des sols bruns calcaires moyennant profonds, développés souvent sur encroûtement calcaires.

L'interprétation des résultats de la planimétrie des cartes des sols de la région la ville de Fès est représentée dans le tableau ci-après.

Tableau 10 : Répartition des sols par groupe de la région de Fès (Novec, 2013)

Type de sol	Superficie en ha	%
Sols minéraux bruts d'érosion	16	0.1
Sols peu évolués d'érosion	2512	9.1
Sols peu évolués d'apport alluvial	1227	4.4
Sols peu évolués d'apport alluvio-colluvial	181	0.7
Sols peu évolués d'apport colluvial	2439	8.8
Vertisols	3213	11.6
Sols bruns calcaires	14876	53.8
Sols bruns isohumiques	1426	5.2
Sols châtains	64	0.2
Sols fersiallitiques à réserve calcique	127	0.5
Sols complexes	1576	5.7

Selon l'étude réalisée en 2013 par Novec, les meilleurs sols à haute fertilité couvrent sols peu évolués d'apport alluvial profonds, des vertisols, des sols isohumiques et des sols bruns calcaires moyennement profonds. Approximativement 33.8% de la superficie totale de la région de Fès.

Le centre d'Oulad Tayeb situé au Sud de la ville de Fès est caractérisé par 5 grandes classes de sols : les vertisols, les sols peu évolués, les sols calcimagnésiques, les sols isohumiques et les sols à sesquioxydes de fer (hamris) à des profondeurs moyennes.

L'interprétation des résultats de la planimétrie des cartes des sols du centre d'Oulad Tayeb est représentée dans le tableau ci-après.

Tableau 11: Répartition de sols par groupe au niveau du centre d'Oulad Tayeb (Novec, 2013)

Type de sol	Superficie en ha	%
Sols peu évolués d'érosion	38	0.4
Sols peu évolués d'apport alluvial	6	0.1
Vertisols	5	0.1
Bruns calcaires	8496	86.9
Sols bruns isohumiques	606	6.2
Sols fersiallitiques à réserve calcique	53	0.5
Sols complexes	571	5.8

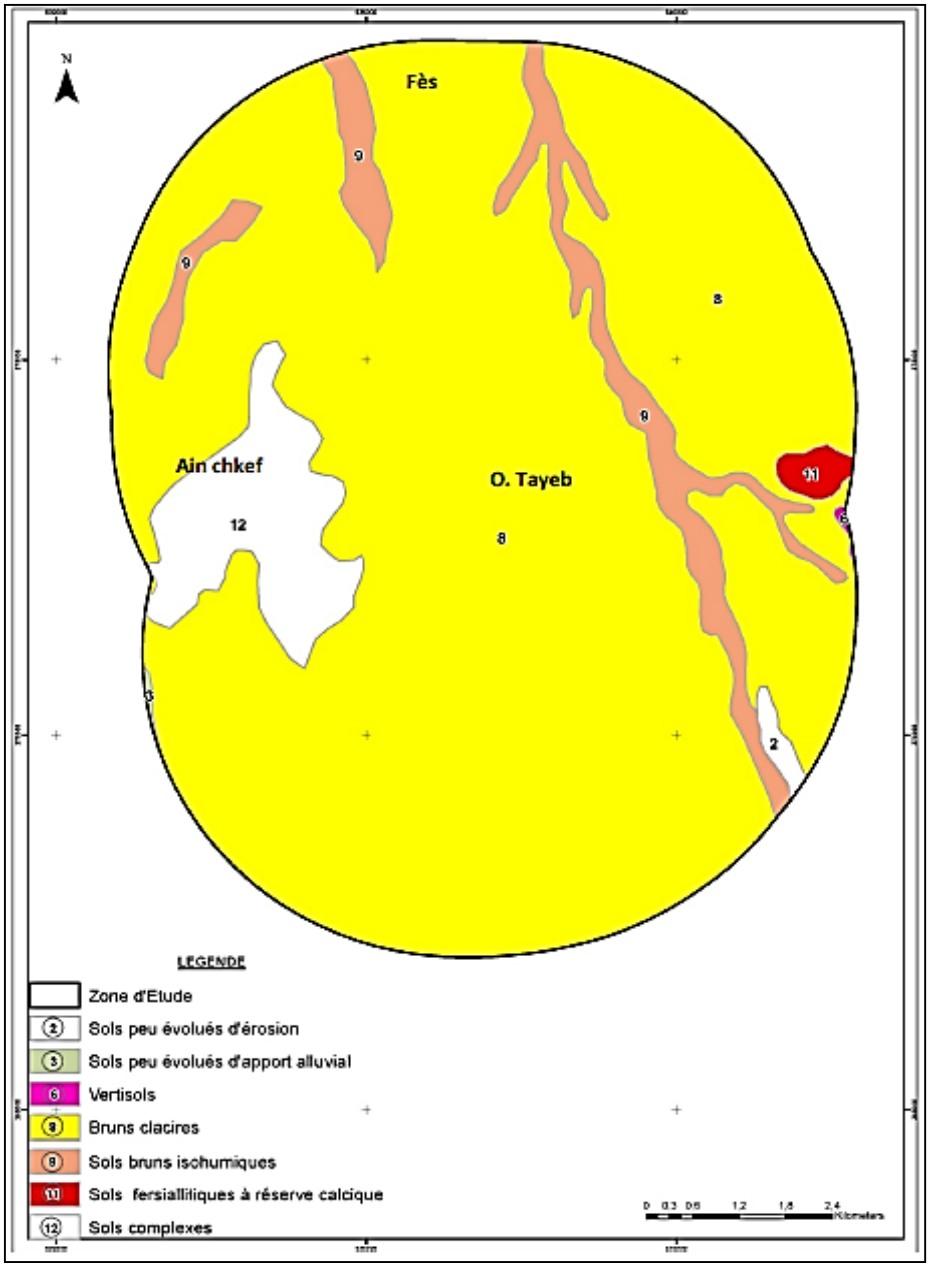


Figure 45 : Carte de groupes des sols du centre d'Oulad Tayeb (Novec, 2013)

II.2. Mode d'agriculture

En absence des activités industrielles importantes, l'agriculture représente l'une des principales activités économiques de la région de Fès. La présence de sols évolués et de l'eau favorise la production et le développement agricole.

La préfecture de Fès et la province de Moulay Yacoub avaient 146.920 hectares de superficie agricole utile (SAU) répartie sur trois principales catégories :

- sols limoneux au Sud-Ouest, au niveau de la vallée des affluents et dans la zone de l'Oued Fès aval ; ces zones sont irriguées connues par d'importantes étendues de maraîchage et d'arboriculture ;

- sols limoneux situés sur les versants de Tghat, sur les terrasses fluviatiles de l'Oued Sebou et dans la zone du barrage Gaada ; certes ces zones ne sont pas irriguées mais elles permettent le développement des cultures de céréales et de légumes ;

- sols des versants moyennement rocheux du Tghat, Zalagh et le plateau du Borj sud ; ils permettaient d'anciennes plantations d'oliviers et de céréales.

Sur les 146.920 hectares de superficie agricole utile dans la région de Fès, la préfecture de Fès englobe juste 21.220 hectares et la province de Moulay Yacoub réunit 125.700 hectares, la superficie irriguée ne dépasse pas les 1483 hectares dans la préfecture de Fès et 11.592 hectares dans la province de Moulay Yacoub. Le tableau suivant synthétise la répartition des terres agricoles dans la région de Fès.

Tableau 12 : Répartition des terres agricoles dans la région de Fès

	SAU (ha)	S. irriguée (ha)	S. non irriguée (ha)	Forêt (ha)	parcours et incultes (ha)
Fès	21.220	1.483	19.737	360	11.165
Moulay Yacoub	125.700	11.592	114.108	1.800	30.070
Total	146.920	13.075	133.845	2160	41.235

La figure 46 présente les pourcentages des superficies irriguées et non irriguées de la préfecture de Fès et la province de Moulay Yacoub et montre que la majorité des superficies agricoles utiles dans ces deux zones sont en bour (non irriguée).

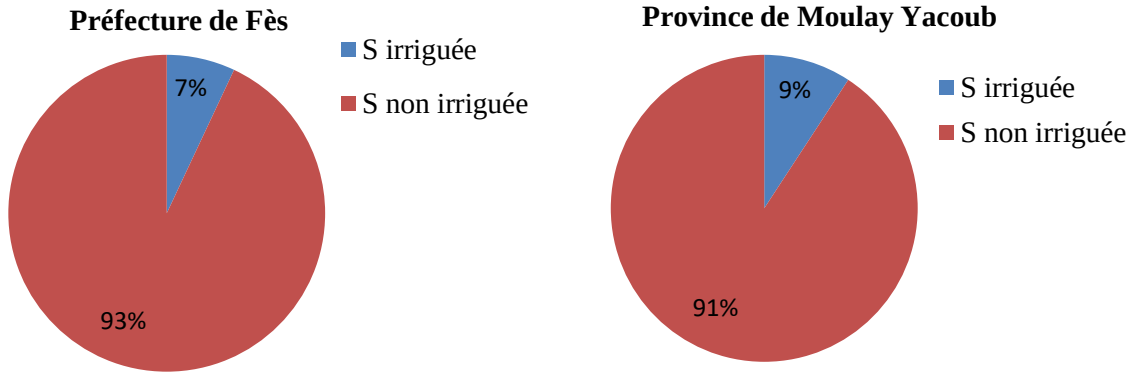


Figure 46 : Pourcentages des surfaces agricoles utiles irriguées et non irriguées (Novec, 2013)

Il ressort clairement que l'agriculture dans Fès et Moulay Yacoub dépend de la pluie, malgré son potentiel agricole valorisable dans plusieurs filières à savoir les oliviers, les céréales et les légumineuses, les viandes rouges et blanches et la filière du lait (MAPM, 2013).

II.3. Impact de l'extension urbaine sur l'agriculture périurbaine

L'extension de la ville de Fès a un impact direct sur les terres agricoles, notamment parce qu'elle s'effectuait et s'effectue à l'Ouest et au Sud de la ville où les terres agricoles sont de qualité meilleure. Les chiffres annoncés par le ministère de l'agriculture et de la pêche maritime en 2013 montrent qu'entre 2000 et 2011 l'urbanisation a grignoté environ 2004 hectares des bonnes terres agricoles. Ce phénomène dégrade d'une façon irréversible en moyenne 200 hectares par an.

De sa part, l'urbanisation du centre d'Oulad Tayeb se fait surtout vers le Nord et à l'Est au détriment des sols peu évolués d'apport alluvial, des sols bruns isohumiques subtropicaux et des vertisols, en consommant de façon irréversible en moyenne 15 hectares par an entre 2000 et 2011 (MAPM, 2013).

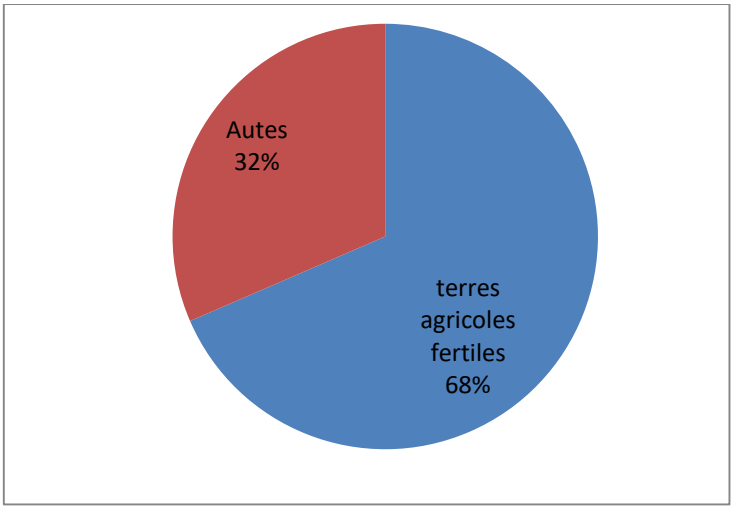


Figure 47 : Urbanisation de la ville de Fès au dépend des terres fertiles entre 2000 et 2011

Durant cette période dont on dispose des chiffres exacts de la superficie agricole annuelle perdue, l'urbanisation avait une cadence de 292 hectares par an, les terres agricoles de haute qualité contribuent de 68% des terres urbanisés entre 2000 et 2011.

Il a été constaté aussi une disparition des fermes urbaines et périurbaines en faveur du bâti et des lotissements privés. Les recommandations du ministère de l'agriculture et de la pêche maritime dans son rapport établi par le bureau d'étude Novec en 2013, ont souligné qu'il faut surtout éviter les terres agricoles et orienter l'urbanisation vers les sols minéraux bruts, les sols complexes et les sols peu évolués.

Les surfaces agricoles potentiellement perdues entre 1922 et 2032 sont présentées en annexe I.2

III. Conclusion

Sachant qu'en absence d'une activité industrielle digne de la ville, l'agriculture périurbaine constituait l'activité principale des habitants de la périphérie de la ville. L'étude établie en 2013 par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, met en relief une sorte de marginalisation de l'activité agricole, vu que plus de 93% des espaces agricoles ne sont pas irrigués. L'extension urbaine et l'absence d'une stratégie de protection des espaces agricoles sont les causes de la disparition de beaucoup de terres fertiles (environ 68% des espaces urbanisés, sont au dépend des terres fertiles).

Chapitre V : Réseau d'assainissement liquide et techniques alternatives de gestion des eaux pluviales

L'assainissement liquide est l'ensemble des techniques de collecte, de transport et de traitement des eaux usées et pluviales d'une agglomération, d'un site industriel ou d'une parcelle privée avant leur rejet dans le milieu naturel. Il se compose en règle générale d'un réseau d'assainissement et d'une unité de traitement.

L'assainissement a pour objet d'assurer l'évacuation de l'ensemble des eaux pluviales et usées ainsi que leur rejet dans les exutoires naturels sous des modes compatibles avec les exigences de la santé publique et de l'environnement. Les eaux pluviales doivent être évacuées pour limiter la submersion des zones urbanisées.

Les eaux usées doivent être également évacuées sans stagnation loin des habitations car les déchets qu'elles contiennent sont susceptibles de donner des nuisances ou même engendrer des épidémies. Les eaux rejetées doivent satisfaire aux objectifs fixés pour le maintien et l'amélioration de la qualité des milieux naturels récepteurs

I. Typologie des réseaux d'assainissement

Plusieurs facteurs interviennent dans le choix du système d'assainissement, en effet, une agglomération peut être assainie par un seul système d'assainissement ou par plusieurs systèmes indépendants les uns des autres. Ce qui implique une diversification des types de système d'assainissement à préconiser.

I.1. Systèmes autonomes

En zone d'habitat dispersé, des systèmes d'assainissement sont mis en place pour chaque habitation (assainissement individuel) ou pour un petit groupe d'habitations (assainissement autonome) (Hakem, 2006). Il s'agit des fosses septiques, des puits perdus ou d'autres ouvrages mis en place selon les conditions du terrain et la dispersion des habitants. Le recours à un système d'assainissement autonome peut avoir plusieurs causes :

- l'absence d'un système collectif ;
- la présence des obstacles techniques qui peuvent empêcher la création d'un réseau ou le raccordement d'un bâtiment ;
- le coût trop élevé des équipements, du fonctionnement et de l'entretien

I.2. Systèmes collectifs

L'assainissement collectif est un mode d'assainissement constitué par un réseau public de collecte et de transport des eaux usées vers un ouvrage d'épuration : station d'épuration. Les inconvénients des systèmes d'assainissement collectif sont les suivants :

- coût élevé et forte demande énergétique pour la construction, le fonctionnement et la maintenance des systèmes d'assainissement et le traitement de l'eau ;
- quantité importante de déchets non recyclables et par conséquent une demande élevée pour des infrastructures de traitement coûteuses.
- dans la pratique, il y a quatre grands systèmes de réseaux d'assainissement collectif à préconiser qui résulte d'une diversification des origines des effluents à évacuer.

I.2.1 Système Unitaire

Ce système consiste à mettre en place une seule canalisation qui recueille les eaux pluviales et usées. C'est ce système qui correspond le plus, et historiquement, à l'expression « tout à l'égout ». Il s'impose lorsqu'il n'y a pas de possibilité de concevoir économiquement un réseau des eaux pluviales de surface, c'est à dire :

- si l'exutoire est éloigné des points de collecte ;
- lorsque les pentes du terrain sont faibles, ce qui impose de grosses sections aux réseaux d'égouts séparatifs.

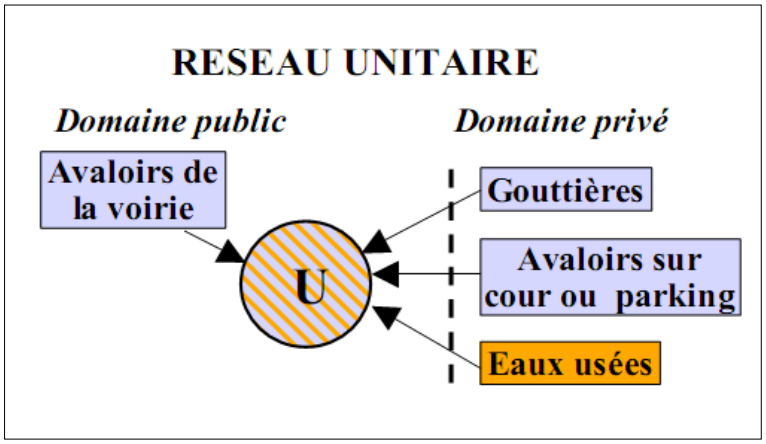


Figure 48 : Schéma du réseau unitaire

I.2.2 Réseau séparatif

Il consiste en deux réseaux distincts : l'un réservé pour les eaux usées et l'autre permet la collecte des eaux pluviales (P) des chaussées, toitures et surfaces imperméabilisées. Les deux réseaux sont constitués de conduites enterrées.

La collecte séparative des eaux usées domestiques nécessite des ouvrages de section réduite en raison du volume limité des effluents en cause, et l'évacuation des eaux pluviales ne nécessite pas un autre réseau complet. C'est à dire qu'elle puisse être réalisée en faisant un large appel au ruissellement superficiel dans les caniveaux (écoulement à ciel ouvert).

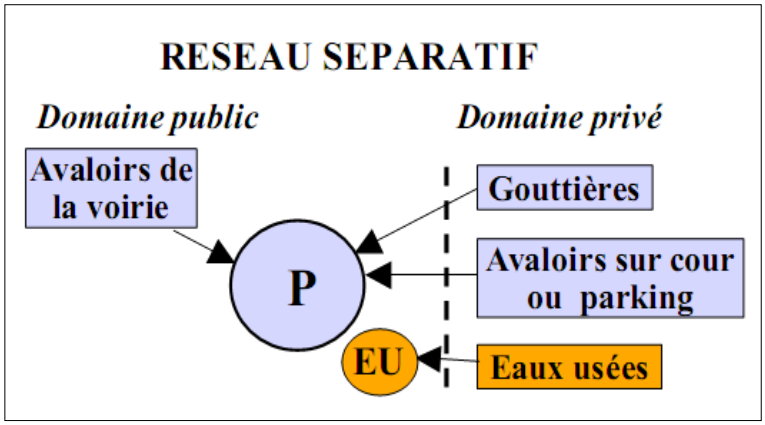


Figure 49 : Schéma du réseau séparatif

I.2.3 Réseau pseudo-séparatif

Il comprend deux réseaux : un réseau destiné à la collecte des eaux pluviales mais qui reste en grande partie, et dans toute la mesure du possible, superficiel sous forme de fossés en terre et/ou de caniveaux bétonnés. Le recours à un réseau enterré sous forme de conduites (ou d'ouvrages coulés sur place) n'a lieu que lorsqu'une impossibilité d'écoulement en surface est rencontrée ou lorsque les débits véhiculés deviennent très importants. Les eaux usées étant collectées dans un second réseau de conduites enterrées.

C'est un compromis entre les systèmes unitaire et séparatif ayant pour but d'évacuer aussi les eaux pluviales provenant des domiciles. Les eaux pluviales y sont divisées en deux parties :

- d'une part, les eaux provenant des surfaces de voiries qui s'écoulent par des ouvrages conçus à cet effet : caniveaux, fossés, etc.
- d'autre part, les eaux des toitures, cours, jardins qui se déversent dans le réseau d'assainissement à l'aide des mêmes branchements que ceux des eaux usées domestiques.

Lorsque les surfaces imperméabilisées collectives (voiries, parking, etc.) représentent une superficie importante avec de fortes pentes ; ce système constitue alors une alternative au réseau séparatif, en réduisant le nombre de branchements par habitations.

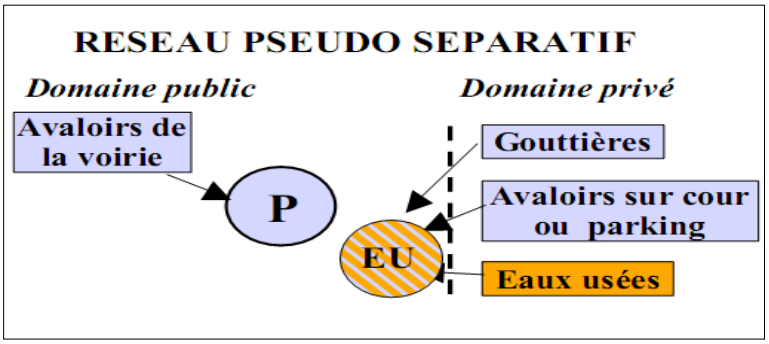


Figure 50 : Schéma du réseau pseudo-séparatif

I.3. Avantages et inconvénients

Les différents systèmes d'assainissement liquide présentent des avantages et inconvénients qui sont liés essentiellement à des paramètres environnementaux, économiques et techniques.

I.3.1 Système unitaire

Le système unitaire est économique du fait qu'il se compose d'une seule conduite réunissant les eaux pluviales et usées, mais il présente des inconvénients liés essentiellement à l'épuration. Le tableau suivant présente les avantages et les inconvénients du système unitaire.

Tableau 13 : Avantages et inconvénients du système unitaire

Avantages	Inconvénients
Système compact	Surdimensionnement de la STEP & débit arrivant à la STEP est variable en quantité et en qualité
Facile à installer	Une partie des effluents est rejetée dans le milieu récepteur, en période de pluie, sans passer par la station
Moins coûteux	Problème de dépôts en temps sec
Impact environnemental réduit	Coût d'entretien plus élevé

I.3.2 Système séparatif

Le système séparatif présente les avantages suivants :

- il permet d'évacuer rapidement et efficacement les eaux les plus polluées avec un contact limité avec l'extérieur.
- il assure à la station d'épuration qui traite les eaux collectées un fonctionnement régulier. La station reçoit alors des eaux ayant un degré de pollution uniforme sans risque de dilution par des apports d'eaux pluviales.

Cependant, ce système présente deux inconvénients majeurs :

- coût cher sur le plan investissement et entretien ;
- encombrement en présence d'autres réseaux sous les chaussées et les trottoirs (réseau AEP, de téléphone, d'électricité…).

Le tableau suivant résume les principaux avantages et inconvénients du système séparatif.

Tableau 14 : Avantages et inconvénients du système séparatif

Avantages	Inconvénients
Pas ou peu de dépôts dans le réseau	Investissement important
Traitement de la totalité de la pollution	Encombrement des réseaux
Station d'épuration petite et recevant un effluent de qualité constante	Pollution des eaux pluviales négligée
Coût d'entretien peu élevé	

I.3.1 Système pseudo-séparatif

Le système pseudo-séparatif est connu souvent dans les zones traversées par des cours d'eau ; il permet de soulager les conduites avals grâce au raccordement des eaux pluviales des chaussées dans les cours d'eau existants. Le tableau suivant résume ses principaux avantages et inconvénients.

Tableau 15 : Avantages et inconvénients du système pseudo-séparatif

Avantages	Inconvénients
Simplification des raccordements des immeubles	Installation assez complexe
STEP non surdimensionnée	Déversoir à ciel ouvert
Coût d'investissement et d'entretien raisonnable	
Peu de problèmes de dépôt	

L'assainissement d'une agglomération est un problème complexe pour se prêter à une solution uniforme et relever des règles rigides. Il est commandé par de nombreux facteurs qui peuvent conduire à des conclusions contradictoires entre lesquelles un compromis est à dégager.

Le responsable de la définition des ouvrages à construire doit donc analyser ces différents facteurs qui influent sur la conception du projet :

- économique : prenant en compte les dépenses d'investissements et d'entretiens, d'exploitations et de gestion de l'ensemble des installations (épuration, pompage…) ;
- technique : topographie locale, régime des précipitations atmosphériques, nature du terrain, importance de l'imperméabilité ;
- urbanistique : répartition des quartiers résidentiels, commerciaux et industriels ;
- de proximité des réseaux voisins : la position et la profondeur ;
- hydraulique lié à l'évacuation : pour éviter la submersion et la stagnation des eaux dans les zones urbanisées ;

Techniquement, le bon choix est sollicité, certains points sont à prendre en compte :

- la topographie du site est imposée et son rôle est essentiel en matière d'assainissement où l'écoulement est gravitaire. L'évacuation rapide et l'absence de dépôt dans le réseau sont d'autant plus importantes que le terrain présente des pentes importantes.
- le mode de vie de la population ou mode d'occupation des sols déterminant :
  - la quantité d'eau de ruissellement de voies publiques ;
  - la quantité et la qualité des eaux usées produites par la population et ses activités ;
  - le niveau acceptable des points de branchement des immeubles, compte tenu de l'équipement des sous-sols.
- l'hydrographie du site et régime des nappes (milieu récepteur). La connaissance des régimes d'écoulement des cours d'eau et des nappes est très importante pour l'évaluation du risque de dégradation des écosystèmes et leur pouvoir auto-épurateur.

II. Ouvrages d'assainissement liquide

Afin de mieux cerner le sujet, il est indispensable de définir les ouvrages d'assainissement et définir le rôle de chaque ouvrage.

II.1. Ouvrages de départ

Sont les ouvrages qui englobent les ouvrages de branchements particuliers et les ouvrages de collecte des eaux de surface qui constituent le point de départ des eaux usées et des eaux pluviales.

- le regard de façade : C'est un mini regard appelé aussi boîte de branchement permettant le raccordement des canalisations intérieures collectant les eaux vannes et ménagères ou les eaux de pluie d'une propriété au réseau public d'assainissement. Ce regard doit être disposé en bordure de la voie publique et sur la façade de la propriété à raccorder.

Tableau 16 : Dimensions admissibles des regards de façade (AFNOR, 2003)

Section interne	0.60m x 0.60m
Profondeur maximale	1.20m
Epaisseur parois	0.12m
Epaisseur Radier	0.20m
Epaisseur béton propreté	0.10m
Matériau	Béton classe B2 dosé à 350 kg/m^3
Ferraillage	Non armé

- la canalisation de branchement : c'est une conduite de diamètre minimal DN 200 mm. La pente est égale au minimum à 2% et l'angle de raccordement est compris entre 60° et 45° dans le sens de l'écoulement sauf si la chute est supérieure au diamètre aval, l'angle 90° est autorisé.
- le dispositif de raccordement : le raccordement de la canalisation de branchement sur le collecteur public se fait soit par le biais du regard borgne (dispositif non visitable dont les dimensions sont réduites au diamètre du collecteur sur lequel se fait le raccordement), soit par branchement direct (culotte ou tulipe).

Tableau 17 : Dimensions admissibles des dispositifs de branchements (AFNOR, 2003)

Section interne	En moyenne D x 0.6 (D : Diamètre du canal)
Profondeur minimale	D + 0.30m
Epaisseur parois	0.15m
Epaisseur Radier	0.20m
Epaisseur béton de propreté	0.1m
Matériau	Béton armé dosé à 350kg/m^3
Niveau de raccordement	≥ D/2 du canal

- les ouvrages de collecte de surface : deux catégories d'ouvrages de collecte des eaux pluviales existent, les ouvrages d'engouffrement en tête et sur les cours du réseau principal tels que les bouches d'égouts avaloirs ou à grilles et les ouvrages de collecte et de transport tels que les caniveaux ou les fossés.

Les bouches d'égout : ouvrages destinés à collecter les eaux de surface, généralement disposés à l'exutoire des aires de potentialité de débits de 40 l/s. Ces bouches d'égout devront avoir une profondeur maximale de 1,50m et un dispositif de fermeture en fonte ductile permettant les nettoyages répétitifs sans dégrader les tampons. En définitif, on distingue deux types de bouches d'égout :

- ✓ bouche d'égout à grille : ouvrage sous chaussée avec ou sans décantation ;
- ✓ bouche d'égout avaloir : ouvrage sous trottoir avec ou sans décantation.

Les bouches avec décantation sont prévues dans les zones sableuses ou si le réseau risque de ne pas faire l'objet d'un entretien permanent, elles comportent aussi un panier amovible permettant d'arrêter les déchets (appareil siphoïde).

Tableau 18 : Dimensions admissibles de la bouche d'égout avaloir (AFNOR, 2003)

Section interne	0.75m x 0.75m
Profondeur	≤ 1.50m
Epaisseur des voiles	0.15m
Epaisseur Radier	0.10m avec pente de 10%
Epaisseur béton de propreté	0.10m
Matériau	Béton dosé à 350 kg/m^3
Ferraillage	Non armé



Figure 51 : Bouche d'égout à grille et avaloir

- ✓ caniveaux : accessoires de la voirie destinés à la collecte des eaux pluviales ruisselant sur le profil transversal de la chaussée et des trottoirs, et au transport des eaux jusqu'aux bouches d'égout.

- les ouvrages de rétention : bassins réservoirs implantés généralement en amont des agglomérations pour se protéger des inondations et réduire les dimensions des collecteurs avals. Leur rôle réside en l'écrêtement des débits de pointe et la rétention de la pollution avant rejet dans le milieu naturel.

II.2. Canalisations d'évacuation

Les canalisations d'assainissement liquide sont généralement circulaires ou ovoïdales et ont pour rôle d'acheminer les effluents vers un exutoire bien déterminé.

- canalisations circulaires : canalisations de section circulaire, généralement enterrées, fabriquées en PVC, PEHD ou en béton ; elles permettent le transport des eaux usées et/ou pluviales du point de collecte vers l'exutoire.
- canalisations ovoïdales : canalisation dont la section sous forme d'ovoïde ; elles jouent le même rôle que les circulaires.



Figure 52 : Canalisations circulaires en PEHD

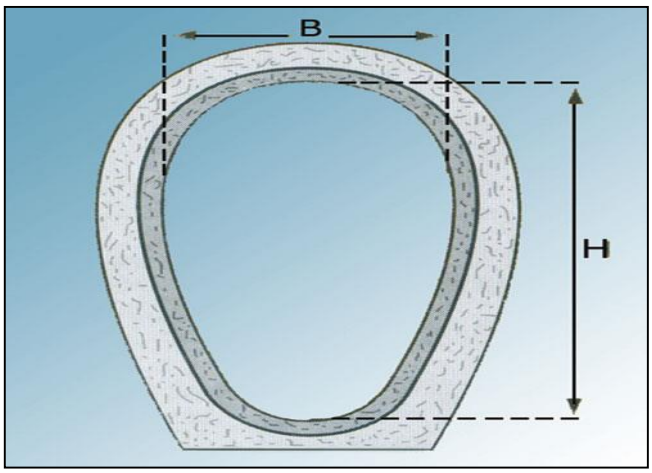


Figure 53 : Représentation schématique d'un ovoïde

Le choix des canalisations dépend de plusieurs facteurs à savoir la profondeur des tranchés, la section demandée et la nature des effluents à évacuer. Pour la ville de Fès la majorité des anciennes canalisations sont soit des ovoïdes ou des canalisations circulaires en béton, soit en PEHD ou en PVC pour les nouvelles extensions. Le recours au PEHD est justifié par sa

rentabilité économique et sa rugosité minimale qui assure les meilleures conditions d'écoulement.

II.3. Ouvrages de visite et ouvrages spéciaux

Les ouvrages existants sur le réseau principal d'assainissement liquide ont pour objectif de rendre le réseau accessible aux agents d'exploitation afin d'entretenir et nettoyer le réseau d'une part et améliorer les conditions d'écoulement des effluents d'autre part.

- Regard de visite (RV) : est un regard en béton muni d'un échelon de descente en acier inoxydable. Il est disposé sous trottoir ou sous chaussée pour permettre l'accès aux conduites, permettant l'accès du personnel pour assurer l'entretien du réseau. Ces regards sont implantés au niveau des changements de direction, de pentes ou de diamètres. Ils sont espacés de 40 à 80 m pour les diamètres ≤ 800 mm et 60m à 100 m pour les diamètres ≥ 1000 mm.

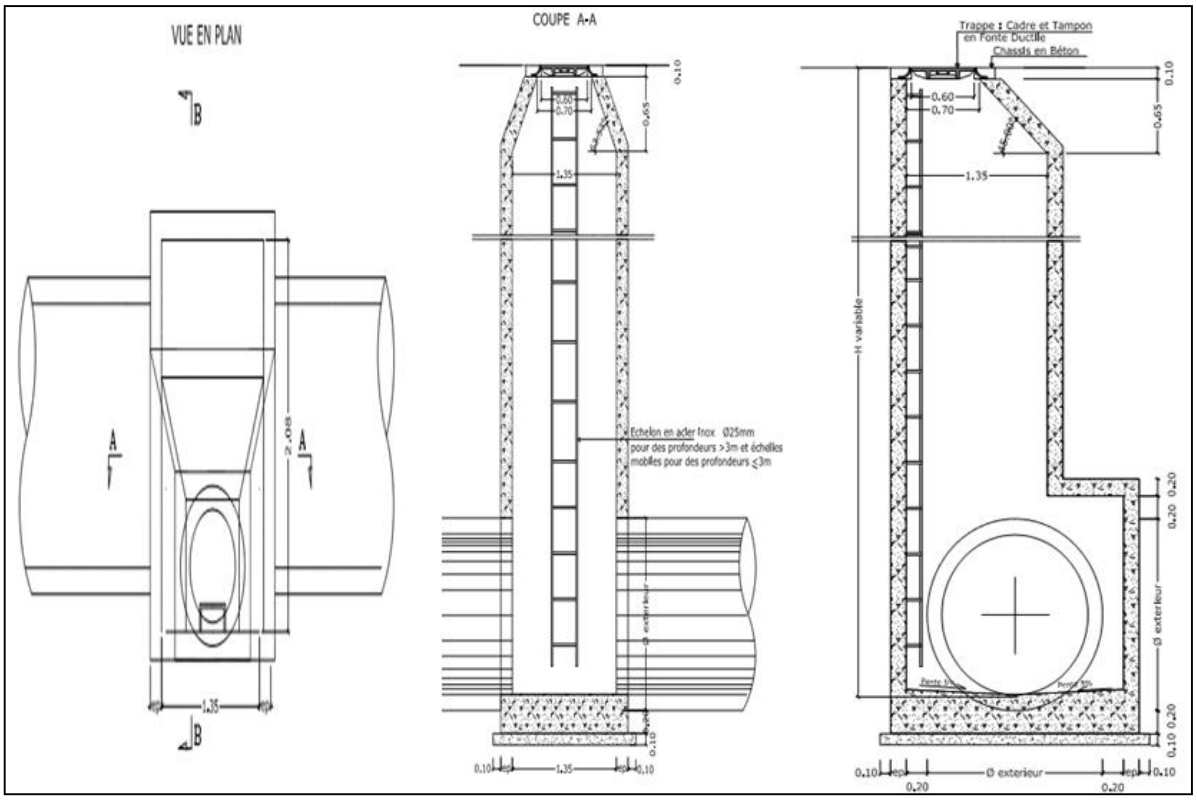


Figure 54 : Coupes d'un regard de visite sur conduite circulaire (AFNOR, 2003)

- Regard de chute : est un ouvrage constitué de 2 regards. Le premier recevant les eaux en chute alors que le deuxième permet l'accès au réseau. Si sa profondeur est supérieure à 1,50m, des paliers brise charge en béton armé sont disposés dans le premier regard. Une ouverture circulaire est opérée entre les regards en bas du regard amont ; son diamètre est identique à celui de la conduite d'arrivée. Il permet le raccordement d'un branchement ou d'un collecteur situé à un niveau supérieur au

réseau public et l'accès du personnel pour assurer l'entretien du réseau. Il permet aussi l'aération des ouvrages enterrés.

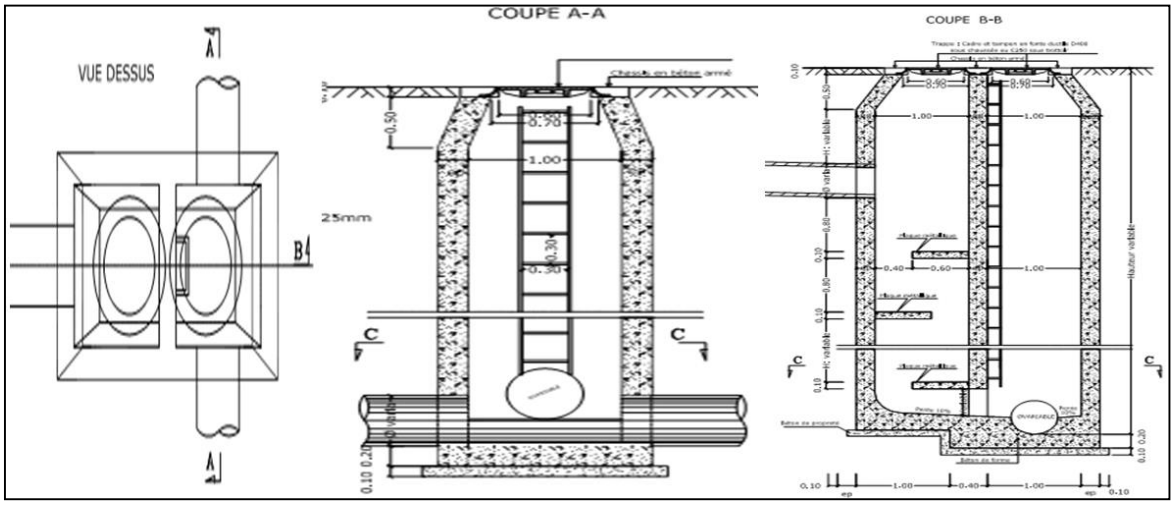


Figure 55 : Coupes d'un regard de chute (AFNOR, 2003)

- Déversoir d'orage : est un dispositif qui permet d'évacuer les pointes exceptionnelles des débits d'orage vers le milieu récepteur et d'intercepter le débit des eaux usées diluées vers le réseau utilisé en réseau unitaire ou pseudo-séparatif. Sa fonction essentielle est donc de soulager le réseau aval d'une certaine quantité des eaux pluviales ce qui permet d'éviter les surcharges hydrauliques et réduire les dimensions du réseau aval. Le déversoir d'orage est composé principalement d'une chambre de partage dimensionnée hydrauliquement et muni de seuil déversant permettant d'intercepter les eaux usées diluées et délester les eaux pluviales vers le milieu récepteur.

Tableau 19 : Dimensions admissibles des déversoirs d'orage (AFNOR, 2003)

Dimensions bassin	Variables avec des parois de 0.15m d'épaisseur
Regard de visite	Regard de visite type sur conduite circulaire de section interne 1.00m x 1.00m
Seuil	0.15m d'épaisseur, pelle variable pour éviter le déversement dans les eaux usées en temps sec
Radier	0.15m à 0.30m selon les dimensions de l'ouvrage
Béton de propreté	0.10m
Matériaux	Béton B2 à 350 kg/m^3 avec adjonction d'hydrofuge en présence de la nappe
Ferraillage	Armé avec note de calcul

Dans la ville de Fès, l'existence de cours d'eau traversant la ville et le réseau mixte (pseudo-séparatif et unitaire) « justifient » techniquement le recours vers ces ouvrages afin de soulager les conduites aval qui sont de type unitaire et délester une partie des débits de pointe vers les cours d'eau de la ville.

- Fosse septique : est une fosse étanche (en 2 compartiments), généralement construite en béton ou en matériaux préfabriqués, dans laquelle les eaux usées séjournent (3 à 4 jours) afin d'y subir une décantation. Une flottation et une digestion anaérobie partielle, permettent de :
  - ✓ éliminer par décantation la fraction sédimentable contenue dans les eaux usées,
  - ✓ éliminer une partie de la pollution organique (de l'ordre de 30 à 50 %)
  - ✓ liquéfier la charge organique particulaire.

Le deuxième compartiment sert de chambre de tranquillisation afin d'améliorer encore la sédimentation avant rejet.

Tableau 20 : Dimensions admissibles des fosses septiques (AFNOR, 2003)

Capacité de la fosse	Varie de $1m^3$ à $5\ m^3$
Compartiments	- Compartiment amont (2/3 volume) et aval (1/3 volume) - Dimensions calculées sur la base du nombre des personnes
Conduite d'arrivée	DN 200mm à DN300mm
Conduite de sortie	DN 100mm
Matériaux	Béton dosé à350kg/m^3 avec adjonction d'hydrofuge en présence de la nappe
Vidange boues flottantes	Tous les 2 ans
Vidange boues sédimentées	Tous les 3 à 5 ans (intervention d'hydrocureuse)

III. Méthodes de dimensionnement des réseaux d'assainissement

Il est indispensable de définir les données de base, les méthodes et les formules utilisées dans le dimensionnement des réseaux d'assainissement liquide, qui sont d'abord la base du dimensionnement du réseau d'assainissement de la ville de Fès ensuite l'objet d'une comparaison avec les dimensions des conduites existantes afin de définir les pourcentages d'insuffisance pour chaque collecteur.

III.1. Données de base du dimensionnement

Généralement, la conception d'un projet d'assainissement liquide nécessite l'établissement d'un plan côté, un plan d'architecture et les paramètres locaux.

Le plan côté : une représentation du terrain qui sert à connaître la topographie du terrain afin de visualiser sa forme.

Le plan architectural : une représentation des propriétés immobilières, leurs limites, la construction qui les entoure et les limites des voies.

Les paramètres locaux : comprenant la période de retour, les coefficients de Montana, l'intensité de pluie, le climat, les coefficients de Caquot, aussi ne pas oublier qu'il y a un schéma directeur qui dépend des régions en permettant le choix du système d'assainissement.

La réalisation du dimensionnement des réseaux d'assainissement passe par plusieurs étapes à savoir :

- choix de la période de retour (T): la période de retour caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'une intensité donnée ;
- choix de système d'assainissement : dans la majorité des cas, un système d'assainissement collectif, est de type unitaire ou séparatif ;
- découpage du bassin versant en sous bassins ;
- recherche des caractéristiques de chaque bassin élémentaire (superficie, longueur hydraulique, pente et coefficient de ruissellement) ;
- détermination des débits de pointe et du coefficient correcteur (M) pour chaque sous bassin ;
- établissement de l'assemblage des bassins élémentaires ;
- dimensionnement des collecteurs.

III.2. Méthodologie du dimensionnement

III.2.1 Choix de la période de retour (T)

La période de retour (T) caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée (Meylan, 2008). Le choix de la période de retour d'insuffisance doit faire l'objet d'un compromis entre le coût de construction des ouvrages, leur entretien et le degré de protection recherché.

La zone d'étude sera beaucoup plus protégée contre les inondations avec l'envisagement d'une période de retour de 100 ans qu'avec une période de 10 ans, mais le coût d'investissement est plus important vu que les diamètres des conduites d'assainissement sont supérieurs à ceux envisagés pour la période de retour de 10 ans.

Dans ce sens, il est indispensable de définir quelques notions à savoir :

- averse : précipitation continue dont la durée peut varier de quelques minutes à plusieurs heures ;
- averse type : averse exceptionnelle qui intervient selon une probabilité déterminée : période de retour 10 ans, 100 ans...etc. (décennale, centennale...etc.). La fréquence décennale est couramment utilisée au Maroc pour le dimensionnement des ouvrages d'évacuation d'eau pluviale ;
- intensité : une averse a une durée t et une hauteur h. L'intensité est défini par i = h/t en mm/h ;
- bassin versant : aire d'apport (exprimée souvent en ha) il constitue la surface sur laquelle ruisselle l'eau tombée jusqu'à l'exutoire ;
- coefficient de ruissellement : est le rapport de la lame d'eau ruisselée par rapport à celle tombée ;
- courbes d'intensité-durée-fréquence (courbes IDF) : sont des courbes représentant la variation de l'intensité moyenne de pluie en fonction de la durée de pluie, pour différentes périodes de retour.

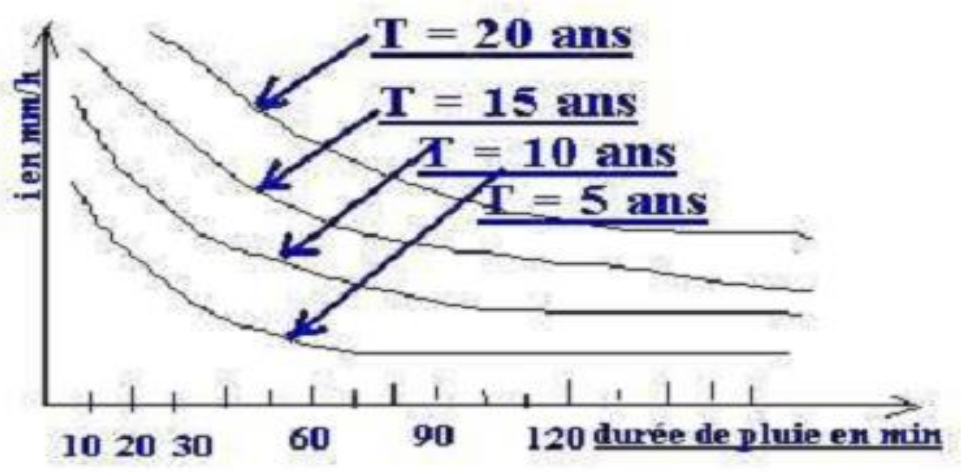


Figure 56 : Exemple de courbe intensité-durée-fréquence (IDF)

III.2.2 Découpage des sous-bassins versants

L'objectif principal du découpage de la zone en plusieurs sous-bassins versants est de définir la surface d'apport pour chaque collecteur avec précision, chaque sous-bassin versant doit être défini par ses paramètres de calcul à savoir, la pente, le coefficient de ruissellement, la surface et le coefficient d'allongement.

Ce découpage doit faire l'objet d'un assemblage en vue de déterminer les débits équivalents pour chaque tronçon et dans n'importe quel point du réseau d'assainissement.

III.2.3 Calcul de la pente moyenne

La pente (I) est un paramètre très important dans le dimensionnement des réseaux d'assainissement. Afin de préciser les calculs, il est indispensable de chiffrer la pente moyenne pour chaque tronçon de chaque sous-bassin versant (Tableau 21).

Tableau 21: Formule de calcul de la pente moyenne

$Imoyenne = [\frac{\sum Lj}{(\sum (Lj/\sqrt{Ij})}]^2$	Lj : longueur du tronçon j en m
	Ij : pente dominante en un tronçon Lj en m/m

III.2.4 Calcul du coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement (C) représente le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface considérée (dite « pluie nette ») et la hauteur d'eau précipitée (dite « pluie brute »).

Ce coefficient fait la base du calcul des débits de pointe engendrés par chaque averse de période de retour (T). Le calcul du coefficient de ruissellement sera plus détaillé dans le chapitre VII relatif aux risques d'inondation (Tableau 22).

Tableau 22 : Formule de calcul du coefficient de ruissellement

$C = \frac{\sum(\text{Ci x Ai})}{\sum \text{Ai}}$	Ci : coefficient de ruissellement en une surface Ai.
	C : coefficient de ruissellement du bassin.

Le coefficient de ruissellement diffère d'une zone à une autre. En effet, la détermination exacte nécessite la connaissance du pourcentage de la surface imperméabilisée, et cette tâche s'avère très difficile en cas de ville avec une urbanisation variée. Ainsi, et pour ces raisons, on se contente de prendre des valeurs forfaitaires traduisant le type majoritaire d'occupation des sols.

Tableau 23 : Coefficient de ruissellement en fonction de l'occupation du sol

Occupation du sol	Coefficient de ruissellement
Habitat dense	C=0.8 à 0.9
Immeuble	C=0.6 à 0.75
Villas	C=0.3 à 0.4
Industriel	C=0.5 à 0.8
Parcs et jardins publics	C=0.1 à 0.25
Voirie et parking	C=0.9

III.2.5 Calcul du coefficient d'allongement

Le coefficient d'allongement (M) informe sur la forme du bassin, il est basé sur la surface et le plus long parcours hydraulique d'une goutte d'eau dans le bassin. Il est exprimé par la formule figurée sur le tableau suivant.

Tableau 24 : Formule de calcul du coefficient d'allongement

$M = \frac{L}{\sqrt{A}}$	L : longueur hydraulique en hm
	A : surface du bassin versant en ha

III.2.6 Calcul des débits des eaux pluviales

- Formule superficielle de Caquot

Parmi les différentes formules connues dans le monde, la méthode superficielle de Caquot utilisée depuis de nombreuses décennies, en faisant intervenir tous les mécanismes de l'écoulement, permet de calculer le débit de pointe qui servira à déterminer ultérieurement les dimensions hydrauliques des ouvrages évacuateurs. Ce modèle amélioré est inspiré des formules de Koch en 1930 relatives à l'assainissement pluvial. La méthode superficielle de Caquot est utilisée pour les bassins urbains ayant une surface inférieure à 200 ha (Julien W.et Abdelali T., Juin 2009).

La relation suivante formule explicitement le débit de pointe de période de retour donnée en tout point d'un réseau :

Tableau 25 : Expression de la formule de Caquot

$Q_m = K^{\frac{1}{u}} \times I^{\frac{V}{u}} \times C^{\frac{1}{u}} \times A^{\frac{w}{u}}$	Q_m : débit moyen en m^3/s
	I : pente moyenne du bassin versant en m/m
	C: coefficient de ruissellement sans unité
	A : superficie du bassin versant en hectares

Les paramètres k, u, v et w sont des coefficients d'expression en fonction des paramètres de Montana (a et b) d'une période de retour (T) donnée. Le tableau suivant montre l'expression mathématique de ces paramètres.

Tableau 26 : Expression mathématique des coefficients k, u, v et w

k	$\left[\frac{a \times 0.5^b}{6.6}\right]^{\frac{1}{(1-0.28\times b)}}$
u	$\frac{1}{(1+0.287\times b)}$
v	$\frac{-0.41\times b}{(1+0.287\times b)}$
w	$\frac{(0.95-0.507\times b)}{(1+0.287\times b)}$

Le débit moyen (Qm) doit faire l'objet d'une correction par un coefficient d'influence correcteur du débit (m) qui dépend du coefficient d'allongement (M) :

$$m = \left[\frac{M}{2}\right]^{\left(\frac{0.84\times b}{(1+0.287\times b)}\right)}$$

D'où l'expression du débit de pointe corrigé (Q_{pc}) :

$$Qpc = m \times Qm$$

Avec :

- Qm : débit moyen ;
- M : coefficient d'allongement ;
- m : coefficient d'influence, correcteur du débit ;
- Qpc : débit de pointe corrigé.
- Formule rationnelle

La formule rationnelle mise en œuvre par l'américain Kuichling en 1889 et l'anglais Lloyd-Davies en 1906, donne le débit de pointe Qp(T), de période de retour T, à l'exutoire d'un

bassin versant de surface A, de coefficient de ruissellement C, d'une averse de durée égale au temps de concentration tc du bassin et d'intensité moyenne I (Dacharry, 1984).

La formule rationnelle a connu une grande popularité de l'Australie à l'U.R.S.S et dans la plupart des pays européens (Dunne Th & Leopold L.B, 1978). Elle s'écrit dans son expression la plus simplifiée en supposant une pluie qui tombe sur une surface (Tableau 27).

Tableau 27: Expression de la formule rationnelle

$Qp = C \times I \times A$	Qp : débit de pointe en m^3/s
	C : coefficient de ruissellement
	I : intensité de la pluie en mm/h
	A : surface du sous-bassin versant

À notre jour, la méthode superficielle de Caquot et la formule rationnelle représentent la base du calcul des débits des eaux pluviales (Alami, 2012).

III.2.7 Calcul des débits des eaux usées

Le débit moyen des eaux usées est calculé en se basant sur la consommation moyenne par jour en eau potable affecté d'un taux de rejet à l'égout (RADEEMA, 2011).

La consommation moyenne dépend du type d'habitat et des équipements de la zone à assainir ; il existe des dotations qui dépendent du niveau de vie des habitants (villas et économiques) et d'autres sont forfaitaires (hôtel, Hammam et mosquée).

Le tableau suivant présente les dotations unitaires selon le type d'habitats d'équipement.

Tableau 28 : Dotations unitaires en eau potable (RADEEMA, 2011)

Type d'habitat	Dotation
Economique : R+n (n< 4)	120 l/j/personne
Appartement	120 l/j/personne
villa dont S ≤ 400	150 l/j/personne
villa dont S >400	180 l/j/personne
Riad	200 l/j/personne
Hammam	5 m^3/j
Ecole	5 m^3/j
Dispensaire	5 m^3/j
Mosquée	3 m^3/j
Hôtel	500 l/j/lit
Terrain de sport	10 m^3/j
Quartier périphérique (Douar)	80 l/j/personne
Lot industriel	20 m^3/j

Tenant compte des dotations unitaires, le nombre d'habitants et les types d'équipement, la formule mathématique du débit des eaux usées (tableau 29) :

Tableau 29 : Expression de la formule du calcul du débit moyen des eaux usées

$Qm = \frac{D \times N \times T}{86400}$	Q_m : débit moyen des eaux usées en l/s
	D : dotation moyenne par jour en l/j/personne
	N : nombre de personnes
	T : taux de rejet à l'égout

La consommation varie dans la journée, et connait des moments de pointe comme l'indique le graphe suivant :

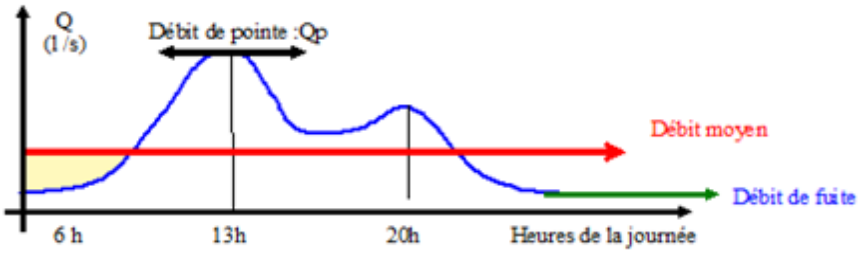


Figure 57 : Variation journalière de la consommation en eau potable

D'où, le débit de pointe (Qp) s'exprime comme suit :

$$Qp = \left[1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Qm}}\right] \times Qm \quad \left(l/s\right)$$

III.2.8 Assemblage des bassins versants

Le calcul des débits est effectué pour chacun des sous-bassins puis dans chaque branche du réseau suivant le principe d'assemblage dépendant de la structure du réseau (assemblage en série ou parallèle).

Le débit résultant est recalculé par la formule de Caquot sur un bassin équivalent au groupement de ces bassins.

Les paramètres $A_{éq}$ (surface équivalente), $C_{éq}$ (coefficient de ruissellement équivalent), $I_{éq}$ (pente équivalente) et $M_{éq}$ (allongement équivalent) sont obtenus à partir des caractéristiques des bassins élémentaires par deux familles de relations, l'une pour les groupements en série et l'autre pour les groupements en parallèle.

L'assemblage en parallèle se définit quand deux sous-bassins versants ont le même exutoire (Figure 58). Alors que l'assemblage en série est défini quand un sous-bassin versant présente un exutoire pour un autre sous bassin versant (Figure 59).

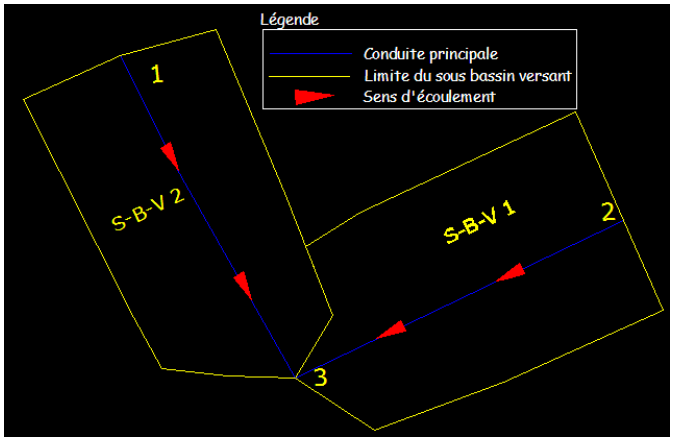


Figure 58 : Illustration d'un assemblage en parallèle

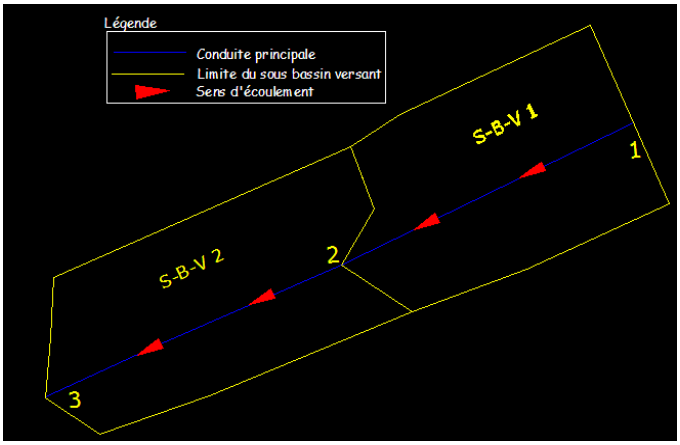


Figure 59 : Illustration d'un assemblage en série

Selon l'assemblage, en série ou en parallèle, le calcul des paramètres équivalents des bassins versants diffère (tableau 30).

Tableau 30 : Formules de détermination des paramètres des bassins équivalents

Paramètres	Aéq	Céq	Iéq	Méq
Assemblage en série	$\sum A_j$	$\frac{\sum Cj \times Aj}{\sum Aj}$	$\left[\frac{\sum Lj}{\sum Lj/\sqrt{Ij}}\right]^2$	$\frac{\sum Lj}{\sum Aj}$
Assemblage en parallèle	$\sum A_j$	$\frac{\sum Cj \times Aj}{\sum Aj}$	$\frac{\sum Lj \times Qpj}{\sum Qpj}$	$\frac{\sum L(Qmax)}{\sum Aj}$

III.2.9 Dimensionnement des collecteurs

En assainissement liquide, le type d'écoulement qui règne est l'écoulement gravitaire d'où la formule utilisée pour dimensionner les collecteurs est celle la plus répandue de Manning Strickler (Alami, 2012) (Tableau 31).

Tableau 31 : Formule de Manning Strickler

$Q_{pc} = K_s * S * R_h{}^{\alpha} * \sqrt{I}$	Qpc : débit de pointe transité par la canalisation en m3/s
	S : section de la canalisation en m²
	Rh : rayon hydraulique de la canalisation
	I : pente de la canalisation en m/m
	Ks : coefficient de la rugosité en fonction du matériel choisi
	α coefficient dépendant du type des eaux à assainir

N.B : les coefficients α et Ks dépendent des eaux à assainir et le type des conduites. Ks =70 pour les canaux en C.A.O ou B.V.A et Ks = 100 pour les canaux en P.V.C alors que α=2/3 pour les eaux usées et α=3/4 pour les eaux pluviales.

La pente moyenne de la pose de canalisation doit être impérativement comprise entre 2 ‰ et 5%, et constitue l'un des paramètres à évaluer avant d'approuver tout équipement d'assainissement liquide.

- **Calcul de la vitesse d'écoulement**

Le calcul de la vitesse réelle se base essentiellement sur la vitesse d'écoulement à pleine section, le rapport des vitesses et le rapport des débits.

$$V_{PS} = K_S \times R_h{}^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$$

Avec :

- Vps : vitesse de pleine section en m/s ;
- Rh : rayon hydraulique de la canalisation en m ;
- I : la pente en m/m.

La vitesse à pleine section définit la vitesse à laquelle l'effluent coule dans la conduite à sa capacité totale, sur ce il est indispensable de définir le débit à pleine section qui définit à son tour la capacité d'évacuation de la conduite.

Le rapport des débits est le produit du débit à de pleine section divisé par le débit de pointe corrigé :

$$R_q = \frac{Q_{pc}}{Q_{ps}}$$

Avec :

- R_q : rapport de débit ;
- Qpc : débit de pointe corrigé en m^3/s ;
- Qps : débit de pleine section en m^3/s.

En se basant sur la valeur du rapport de débit Rq déduit de la formule précédente, on détermine le rapport de vitesse Rv qui est déterminé à l'aide d'un abaque des conduites (Figure 60) qui va servir à déterminer la valeur de la vitesse réelle.

$$V_r = V_{ps} \times R_v$$

Avec :

- Vps : la vitesse à pleine section en m/s ;
- Rv : rapport des vitesses ;
- Vr : vitesse réelle dans la conduite en m/s.

- **Vérification de l'autocurage**

La vitesse d'écoulement des eaux à l'intérieur des conduites gravitaires doit être d'au moins 0.6 m/s et d'au plus 4.5 m/s lorsque la conduite coule à sa pleine capacité (Ministère de l'environnement du Québec, 1989).

En adoptant cette norme au Maroc avec une légère modification, les projets d'assainissement liquide sont approuvés lorsque que la vitesse d'écoulement des eaux dans les canalisations est comprise entre 0.6 m/s et 4 m/s. Tout dépassement doit faire l'objet d'un changement de diamètre de la canalisation projetée par un diamètre supérieur.

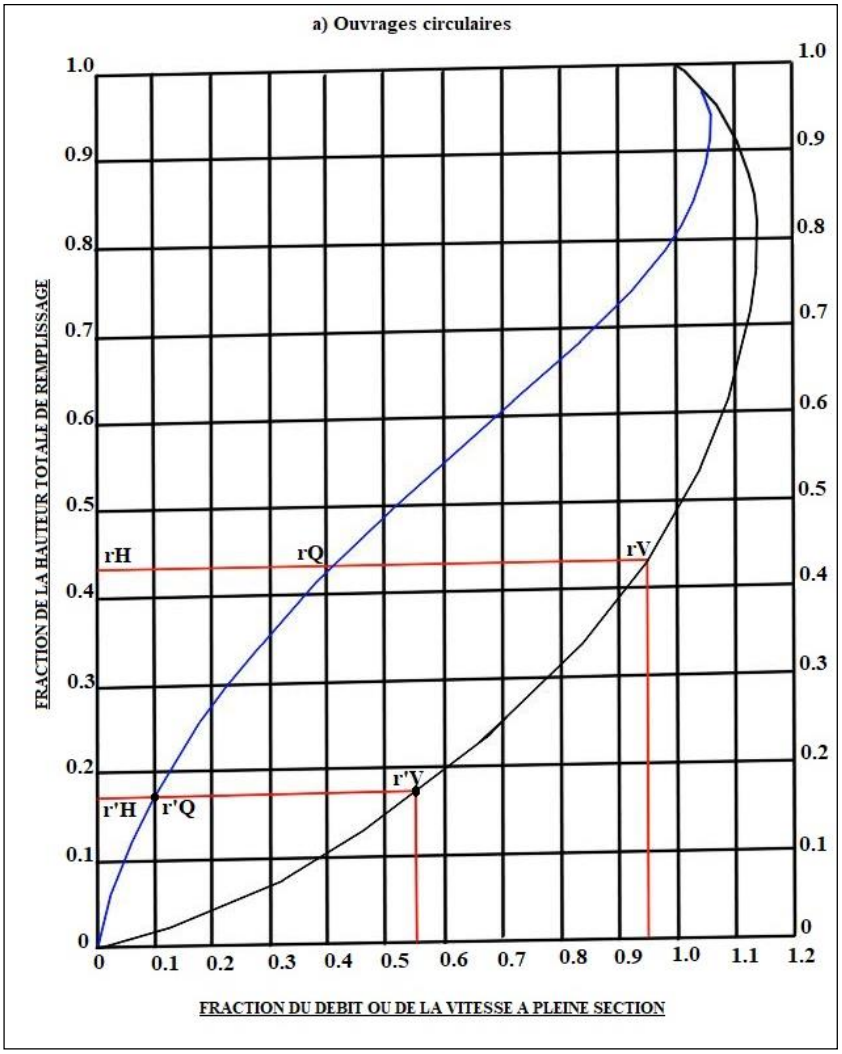


Figure 60 : Abaque de variations de débit et de vitesse en fonction de la hauteur de remplissage (METLTM, 2003)

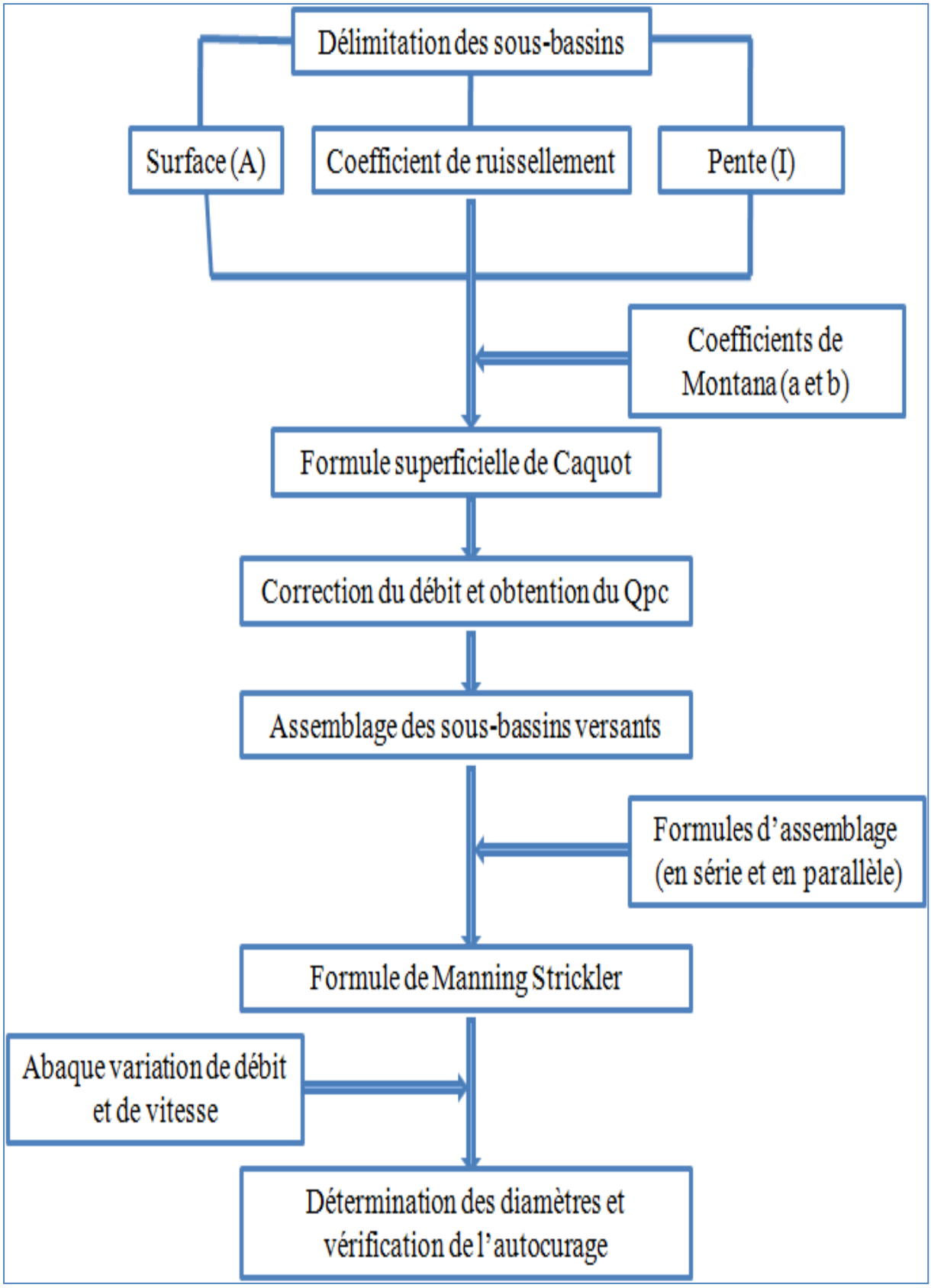


Figure 61 : Synthèse de la méthodologie de dimensionnement des canalisations

IV. Réseau d'assainissement dans la ville de Fès

La gestion du réseau d'assainissement de la ville de Fès relève des tâches confiées à la régie autonome intercommunale de distribution de l'eau et électricité de Fès (RADEEF) en coordination avec les autres organismes étatiques.

IV.1. Partenaires

Les partenaires principaux ou les acteurs majeurs qui partagent les responsabilités et les tâches d'équipement et d'exploitation du réseau d'assainissement dans la ville de Fès sont de l'ordre de quatre à savoir : l'état, l'agence du bassin hydraulique de Sebou (ABHS), la régie autonome intercommunale de distribution de l'eau et électricité de Fès (RADEEF) et les entreprises sous-traitantes.

IV.1.1. Etat

Représentée par les ministères de l'environnement et de l'intérieur, l'Etat exerce son pourvoir dans l'élaboration des plans directeurs et programmes d'assainissement, l'établissement des normes, le suivi budgétaire et l'allocation des subventions. Il exerce son rôle via l'administration centrale et ses antennes locales et régionales.

IV.1.2. Agence du bassin hydraulique de Sebou

Le rôle de l'agence de bassin hydraulique est de collaborer avec la régie autonome de distribution de l'eau et d'électricité afin de faciliter la réalisation des actions d'intérêt public commun ; à savoir les grands projets d'équipement ou d'aménagement et les actions de lutte contre la pollution des eaux.

IV.1.3. RADEEF

Le rôle de la régie s'articule autour de trois principaux axes à savoir : l'exploitation, le suivi et l'approbation de nouveaux équipements et la réalisation des travaux d'entretien et de réhabilitation du réseau d'assainissement. Afin de remplir ses missions la régie en tant que maître d'ouvrage fait appel à des entreprises pour effectuer des études ainsi que la réalisation des travaux de toutes natures.

IV.1.4. Entreprises sous-traitantes

La passation des prestations se fait par des appels d'offres ouverts et le rôle de ces entreprises sous-traitantes est de réaliser les travaux de réhabilitation, de déviation et de réfection du réseau d'assainissement. Dans le but de pérenniser la durée de vie des ouvrages et des équipements d'assainissement, la régie fait appel à des entreprises pour la réalisation des travaux d'inspection télévisée et de curage du réseau d'assainissement. Alors que le suivi de l'état d'avancement et de la qualité des réalisations est assuré par la régie, l'organisme responsable de l'exploitation et d'entretien du réseau.

IV.2. Mode de gestion

La gestion du réseau d'assainissement dans la ville de Fès a pour objectif améliorer son fonctionnement en vue d'assurer la collecte et l'évacuation des eaux usées et pluviales dans les meilleures conditions. De ce fait, un programme d'entretien est mis en place afin d'atteindre ces finalités.

Les programmes d'entretien des équipements d'assainissement dépendent des capacités techniques et financières de la régie. Le mode de gestion s'articule autour de deux principaux axes, le premier a pour objectif assurer une surveillance régulière du réseau d'assainissement afin d'éviter tout sorte d'incident (gestion préventive) et le deuxième a pour objectif entretenir le réseau d'assainissement après incidents de dysfonctionnement en cas de bouchages, d'affaissements ou de cassures des conduites (gestion curative).

D'une façon générale, plusieurs facteurs déterminent les pratiques d'entretien du réseau d'assainissement à savoir : l'accessibilité du réseau, la capacité d'évacuation et l'âge des équipements. Les interventions sont liées essentiellement aux défauts des équipements, en un seul programme d'entretien préventif qui concerne essentiellement le curage des collecteurs et repose sur trois piliers :

- le curage et nettoiement d'une partie du réseau chaque année ;
- le suivi et l'entretien systématique du réseau : la mesure des hauteurs des dépôts de sable et le nettoiement ;
- le nettoiement des axes à haute vulnérabilité de débordement (inondation).

Il est à signaler qu'une partie du réseau est laissée sans curage en admettant qu'elle sera auto-curée par l'orage (dans ce cas, 100% de confiance).

En 2016, la régie a constaté la nécessité d'enregistrement et d'archivage des caractéristiques des équipements du réseau d'assainissement de Fès. En effet, elle a procédé à cet enregistrement à travers un programme SIG (webSig) qui permet d'abord d'actualiser à chaque fois les données concernant les nouvelles implantations du réseau d'assainissement, ensuite, il permet une localisation rapide de l'incident avec l'intervention rapide, en précisant également les zones sensibles aux problèmes (exemples : zones d'Ouisslane, Jnanat qui restent toujours la bête noire de la régie)

IV.3. Exploitation du réseau d'assainissement

IV.3.1. Sectorisation

La régie, pour remplir convenablement sa tâche et dans l'optique de rapprocher les responsables des problèmes quotidiens liés à l'assainissement, adopte la politique de sectorisation.

Cette approche repose sur la subdivision de la ville en quatre principaux secteurs, dont le chef de secteur est chargé de remplir les taches suivantes :

- suivi l'état du réseau d'assainissement ;

- diagnostic et enquête en vue de soulever les problèmes et anomalies ;
- coordination avec les autorités locales (Caïd et services municipaux) ;
- traitement des réclamations liées aux bouchages et débordements ;
- établissement des rapports hebdomadaires des nombres et natures d'interventions et des anomalies soulevées.

La sectorisation est un principe à encourager du fait qu'il facilite les tâches à réaliser et rapproche les responsables des citoyens vu que le chef de secteur est obligé d'être présent dans son territoire afin de suivre de près l'état d'avancement des opérations de curage, débouchage et réhabilitation, en plus de son contact direct avec les autorités locales afin de rendre les interventions plus rapides et fiables.

Les secteurs d'exploitations d'assainissement sont :

- secteur nord ;
- secteur ouest ;
- secteur ville nouvelle saïs (VN Saïss) ;
- secteur Médina.

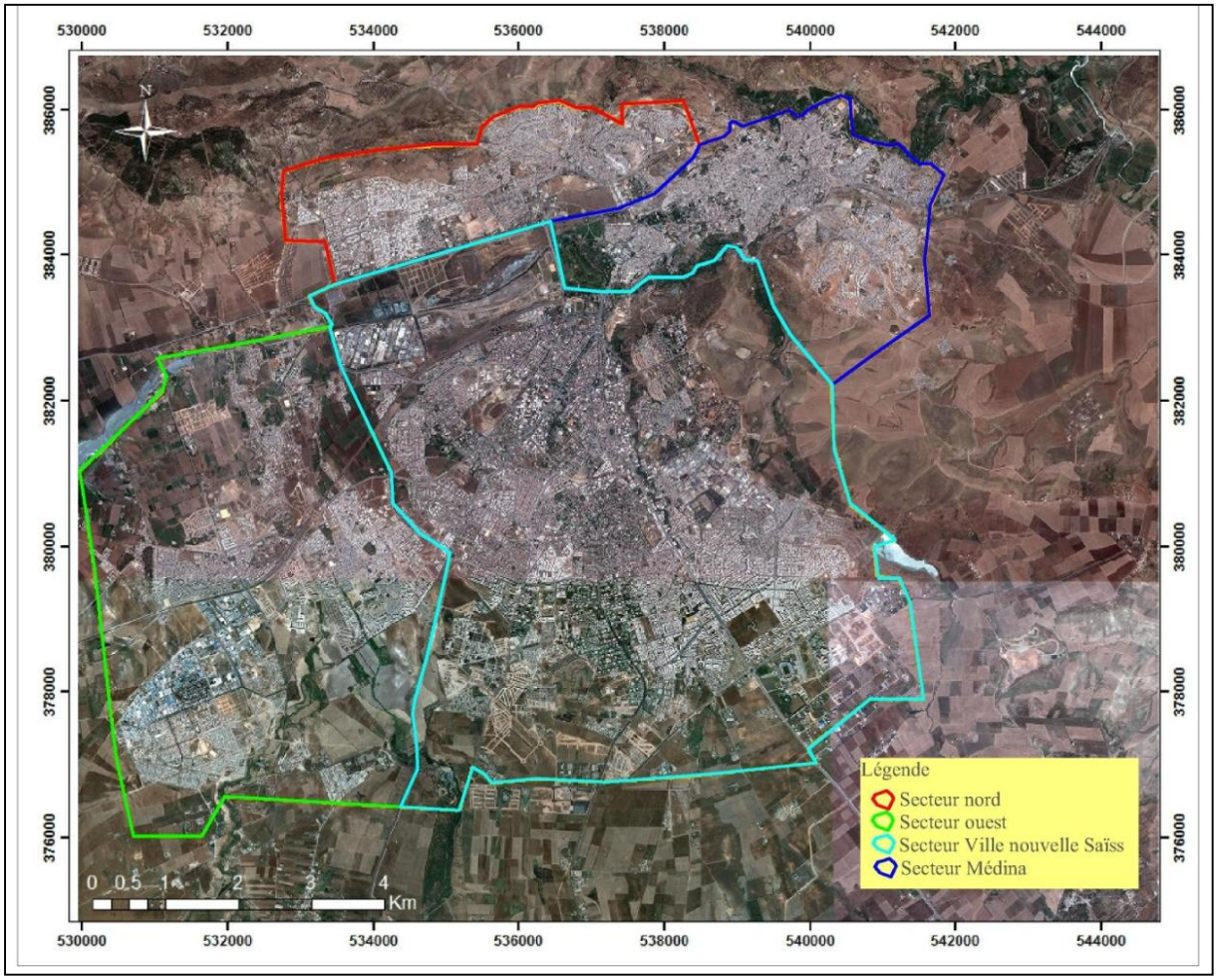


Figure 62 : Illustration des secteurs d'exploitation d'assainissement

La majorité des interventions sont effectuées après réclamation des citoyens ou des autorités locales ; les interventions de débouchage se font généralement d'une manière rapide en moins d'une journée, sauf les cas extrêmes qui nécessitent l'intervention des entreprises sous-traitantes.

Il est à signaler que la zone d'Oulad Tayeb est rattachée au secteur ville nouvelle Saïss.

IV.3.2. Eléments de base

Pour mieux gérer le réseau d'assainissement, il faut d'abord faire une connaissance exacte du patrimoine à savoir :

- planimétrie du réseau ;
- altimétrie (terrain et radier) ;
- position des branchements et avaloirs ;
- connaissance des ouvrages spéciaux (position, description, état, fonctionnement) ;
- matériaux constitutifs des canalisations ;
- présence d'autres équipements à l'intérieur des ouvrages (câbles, conduites, etc.) ;
- âge et état des canalisations.

Cette connaissance doit être alimentée en permanence par les observations de l'exploitant en termes de :

- anomalies des ouvrages et leur état (en vue de la gestion de la réhabilitation) ;
- fonctionnement : données techniques sur les équipements (taux de temps de marche, m^3 relevé, tonnage de boues) et sur les effluents (qualité, quantité, données nécessaires pour l'auto surveillance ou pour l'étude de nouveaux ouvrages ou amélioration des ouvrages existants) ;
- dysfonctionnements : envasement et débordements fréquents.

Dans le souci d'atteindre une meilleure gestion du réseau d'assainissement, un système basé sur les indicateurs de performances, la formation et l'adoption des outils adéquats est nécessaire.

IV.3.3. Dégradation et affaiblissement des performances

- **Définition de la dégradation**

Avant d'entamer les méthodes d'exploitation, il est préférable de définir les causes de dégradation et de défaillance du réseau d'assainissement.

La dégradation du réseau d'assainissement peut être associée à l'accumulation d'un certain nombre d'anomalies dans un tronçon déterminé, souvent la dégradation se réfère au dysfonctionnement des équipements et caractérise concrètement l'écart entre ses finalités et sa performance réelle.

Il ne faut pas confondre l'action de l'usure et celle de la dégradation, la première caractérise la structure physique de la conduite. Elle constitue l'évolution naturelle de l'ouvrage

et concerne le vieillissement de son matériel. Par contre, la dégradation se réfère à la performance des équipements et elle est définit par le contexte socio-économique. Un réseau est qualifié de dégradé si le montant des frais nécessaires à son entretien ne justifie pas sa conservation, autrement dit, il faut chercher à investir en le renouvellement de ce réseau plus que dépenser de l'argent pour le maintenir en service.

- **Affaiblissement de la performance**

La performance fonctionnelle du réseau d'assainissement dépend d'une part de l'état physique des équipements et d'autre part de la nature des effluents transportés par le réseau. L'affaiblissement de la performance du réseau représente la manifestation du mauvais état des ouvrages et/ou du caractère impropre des effluents au fonctionnement des ouvrages. Il s'agit autrement dit, soit de la détérioration des équipements, qui a un caractère permanent, soit des anomalies temporaires du fonctionnement du réseau, liées à la quantité et à la qualité des eaux usées transportées.

Après avoir éclairé les éléments qui déterminent l'état du matériel du réseau et ses équipements, il est nécessaire de définir les causes potentielles de sa détérioration qui sont : le vieillissement du réseau, l'usage inapproprié et l'entretien (parfois) inadéquat.

- Le vieillissement du matériel

Le vieillissement du matériel du réseau est un phénomène, jusqu'à présent mal connu. Des variations considérables caractérisent la durée de vie optimale adoptée pour les canalisations qui se situe en général entre 50 et 100 ans. En particulier, pour la conception des réseaux neufs, la durée de vie moyenne des installations adoptée est de l'ordre de 50 ans.

Indépendamment de la nature des matériaux utilisés, l'action du temps sur le réseau est directement liée d'une part, à la qualité de la construction initiale de l'ouvrage, et d'autre part, à l'historique de la maintenance et de l'usage des équipements. Par exemple, les tuyaux en grès étant de faible longueur pour faciliter leur installation, comportent un grand nombre de joints et, par conséquent, de multiples points favorables à la détérioration.

- L'usage inapproprié du réseau

Parmi les contraintes que le gestionnaire essaye de résoudre est l'usage inapproprié du réseau, sachant que les équipements du réseau subissent des contraintes (mécaniques et physicochimiques), autres que celles pour lesquelles ces ouvrages ont été conçus au départ. Cela peut être le résultat, soit d'une erreur lors de la conception et la réalisation des équipements, soit d'une modification du milieu environnant (changement des conditions du sol aux alentours des canalisations, changement des charges de trafic ...), soit de la mauvaise utilisation des équipements (utilisation des équipements ne correspond pas aux prescriptions techniques concernant le réseau).

Cette discordance entre le mode d'usage et la capacité du réseau peut être le résultat des conditions liées à la modification de l'espace du bâti et l'augmentation du coefficient de ruissellement et au changement du nombre des usagers (nombre des unités raccordées) et à la

transformation du comportement des habitants et des activités de la vie urbaine due à l'évolution ou la mobilité sociale.

- L'entretien inadéquat du réseau

L'entretien inadéquat peut être le résultat de plusieurs facteurs, à savoir : la qualification insuffisante du personnel ou le manque d'organisation, l'affaiblissement des flux financiers alimentant le budget de l'entretien, et la sous-estimation de l'importance des anomalies du fonctionnement des équipements d'assainissement, sous la pression de la priorité d'autres projets (AEP ou autres).

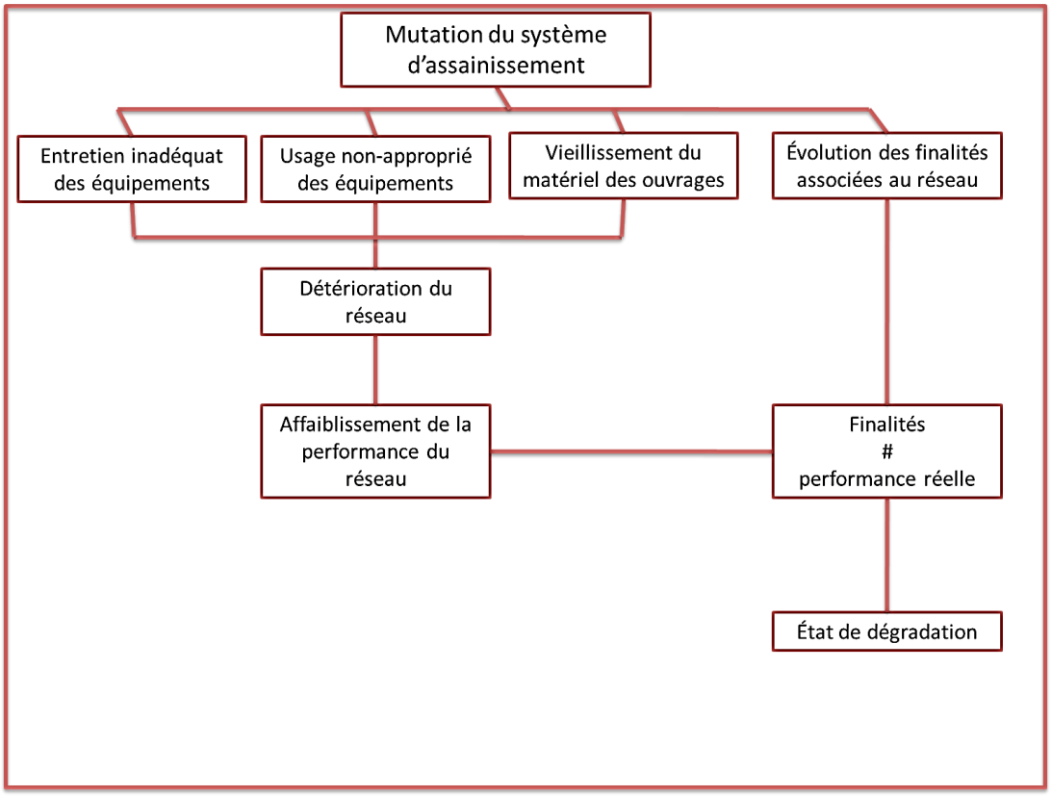


Figure 63 : Récapitulatif de processus de dégradation

Après avoir déterminé les éléments d'affaiblissement des performances et de dégradation du réseau d'assainissement, sont à évoquer les méthodes d'exploitation du réseau d'assainissement afin de maintenir son bon fonctionnement et affaiblir les contraintes liées à son affaiblissement.

IV.3.4. Méthodes d'exploitation

- **Morphologie du réseau et type d'écoulement**

Le réseau d'assainissement est l'ensemble de canalisations et d'ouvrages spéciaux qui assurent la liaison entre les canalisations (Figure 63).

Tableau 32 : Types de liaisons et ouvrages adéquats

Ouvrages	
Liaison surface-réseau	Ouvrage de collecte : branchements et bouches d'égout
	Ouvrage de visite : regard de visite
Liaison réseau-milieu naturel	Emissaires de rejet
	Déversoir d'orage

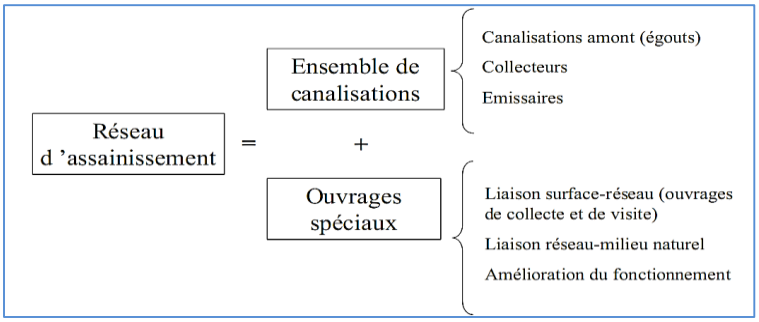


Figure 64 : Morphologie du réseau d'assainissement

Généralement l'écoulement dans les réseaux d'assainissement est gravitaire ou à surface libre, ce qui donne au facteur pente un rôle essentielle dans le calcul et le dimensionnement.

- **Interventions des exploitants**

Dans l'objectif de maintenir le bon fonctionnement du réseau et les capacités initiales des ouvrages tout en préservant leur durée de vie, plusieurs interventions sont à programmer par la régie chargée de gérer le réseau d'assainissement.

Les interventions doivent être normalement programmées et hiérarchisées de façon à minimiser les coûts de gestion et réduire le nombre d'anomalies. Elles sont réparties en deux grandes catégories ; préventives et curatives. Les premières ont pour objectif d'éviter les problèmes de bouchages et débordements alors que les deuxièmes ont pour objectif rétablir et débloquer les situations une fois un problème est survenu.

A- Interventions préventives :

Parmi les interventions préventives que l'organisme exploitant prend en considération on cite :

- Curage : consiste à extraire à l'aide de moyens adaptés les dépôts (boues, sables, gravats) accumulés dans les conduites. Il permet de :
  - préserver la capacité hydraulique maximale des ouvrages lors d'événements pluvieux ;
  - limiter la pollution du milieu naturel en évitant la mise en suspension et l'entraînement de dépôts ;
  - limiter le développement et la propagation d'odeurs.

Le réseau doit périodiquement subir les opérations suivantes :

- ✓ curage entier et nettoiement a priori tous les 2 à 5 ans ;
- ✓ nettoyage des canalisations <= 800 mm par hydro-curage et aspiration ;
- ✓ nettoyage des collecteurs visitables manuellement ou par des systèmes adaptés au contexte local.

On distingue deux types de curage, manuel et hydraulique (hydro-curage), le premier constitue le mode basique du curage le plus fréquent, tandis que l'hydro-curage se fait par des camions citernes nommées Hydrocureuse, c'est un des procédés les plus modernes.



Figure 65 : Photo d'une hydrocureuse utilisée pour curage des réseaux d'assainissement

- ➢ Inspection par caméra :

La méthode consiste à procéder à une inspection au moyen d'une caméra autotractée étanche montée sur un chariot automoteur permettant la visualisation en couleurs de canalisation visitée ainsi que les joints du pourtour.

Elle permet l'identification, l'évaluation visuelle de l'état et l'inventaire de toutes les caractéristiques d'une portion définie d'un réseau, pour tout type de canalisations (circulaires, ovoïdes…) d'un diamètre supérieur à 200 mm (Tableau 33).

Tableau 33 : Informations fournies par inspection télévisée

Etanchéité	Structure	Inventaire
Infiltrations	Fissures	Raccordement (type et position)
Pénétration de terre	Effondrements/ ruptures	Réparation
Problème de joints	Dégradation de surface	Courbure particulière

- ➢ Ventilation

L'aération des égouts se fera par les tuyaux d'évent et de ventilation secondaire, par les bouches d'égout, par les trous des tampons regard. Ces communications permettront les échanges entre l'air extérieur et l'air des égouts, échanges qui sont dus aux différences de température, aux variations de pression et à l'action du vent.

L'air des égouts est pauvre en bactéries mais contient des gaz vapeurs pouvant provenir soit de l'extérieur (vapeur d'essence) soit des fermentations même qui se produisent en égout (oxyde de carbone, acide carbonique, sulfure d'hydrogène).

B- Interventions curatives

Ces interventions sont généralement effectuées suite à un incident ou un dysfonctionnement réclamé par l'autorité ou les citoyens ; trois types d'interventions sont à signaler :

- débouchage : le débouchage consiste à débloquer les réseaux d'assainissement, enlever tout obstacle pouvant empêcher l'écoulement normal des effluents dans les conduites. Il se fait manuellement (Tringlette, tir bouchon…) ou par hydrocureuse lors d'un blocage de diamètre important ou quand la situation est délicate.
- vidange : comme son nom l'indique, la vidange est l'opération qui se fait suite à un incident (cave rempli d'eau…), et se fait par le biais de pompe vide cave ou par hydrocureuse combinée.
- réparation des cassures : généralement, une conduite qui présente beaucoup de défaillance d'écoulement doit faire l'objet d'un diagnostic minutieux afin de détecter l'emplacement de l'anomalie. Cette dernière est généralement sous forme de cassure ou pénétration des racines d'arbres (le cas des conduites en béton) et sa réparation consiste à réfectionner le tronçon de la conduite bloquée afin de rétablir la situation initiale et maintenir le bon fonctionnement de celle-ci.

IV.4. Description du réseau d'assainissement

La description du réseau d'assainissement dans la ville de Fès comporte le type du réseau (unitaire, séparatif, pseudo-séparatif…), la délimitation des bassins versants capitaux, le linéaire du réseau principal ainsi que les ouvrages de raccordement, délestage et soulagement.

IV.4.1. Linéaire et types de réseau

Le linéaire du réseau d'assainissement dans la ville de Fès s'élève à plus de 2100 km de collecteurs (y compris le réseau primaire) de différents diamètres et matériaux (collecteurs circulaires et ovoïdes) et le réseau est hiérarchisé en : réseau primaire, secondaire et tertiaire. Le réseau primaire constitue environ 7% du linéaire total.

Le réseau d'assainissement est généralement unitaire, néanmoins les extensions sont en pseudo-séparatif, de sorte que les eaux de ruissellement des voiries soient directement véhiculées vers les oueds traversant la ville (Amarti, 2013).

Tableau 34 : Linéaire du réseau primaire de la ville de Fès (Amarti, 2013)

Collecteurs	Linéaire du réseau primaire (Km)
Bab Siffer	4.1
Moulay Abdellah	12
Médina Jnanates	11.5
Sahrij Gnaoua	6.3
Sidi Brahim	5.7
Villa	15.5
Sud	12.5
Nord	5.2
Miyet	9.3
Ouest	17.4
Boufekrane	5.5
Massira-Dokkarat	15.2
Wifaq	3.3
Intercepteur aval	3.8
Total	**127.30**

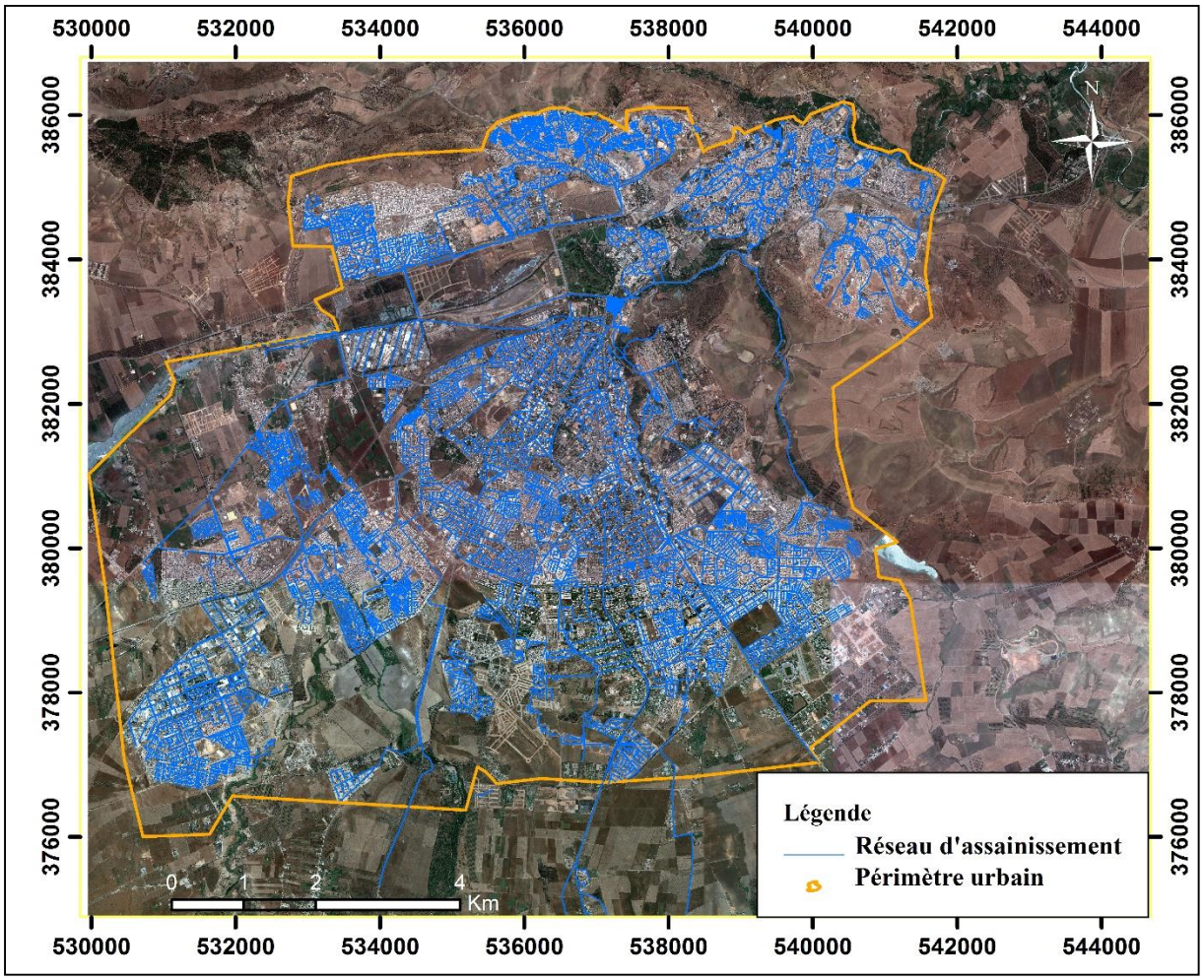


Figure 66 : Réseau d'assainissement dans la ville de Fès

IV.4.2. Bassins versants

Le réseau d'assainissement dans la ville de Fès est structuré en quatorze sous-bassins versants qui constituent les surfaces d'apports chacun avec son collecteur. L'écoulement se fait

généralement par gravité exceptée la station de relevage qui a pour objectif le transfert des eaux du collecteur Massira-Dokkarat vers le collecteur traversant la zone de l'Oued Fès.

Tableau 35 : Caractéristiques des bassins versants

Bassin versant	Longueur hydraulique (m)	Surface en (ha)
BAB SIFFER	1700.52	106.201
BOUFEKRANE	5218.47	654.633
MASSIRA DOKKARAT	8872.93	1883.34
MEDINA	1589.73	431.813
MIYET	4957.24	471.687
MY ABDELLAH	4666.1	1149.37
NORD	3430.2	444.585
SAHRIJ GNAOUA	3233.46	342.126
SIDI BRAHIM	4018.02	349.443
SUD	5495.98	246.216
VILLA	6659.5	1213.72
WEST	6414.5	487.66
WIFAK	6140.73	1002.89
Intercepteur Aval	2468.86	131.13

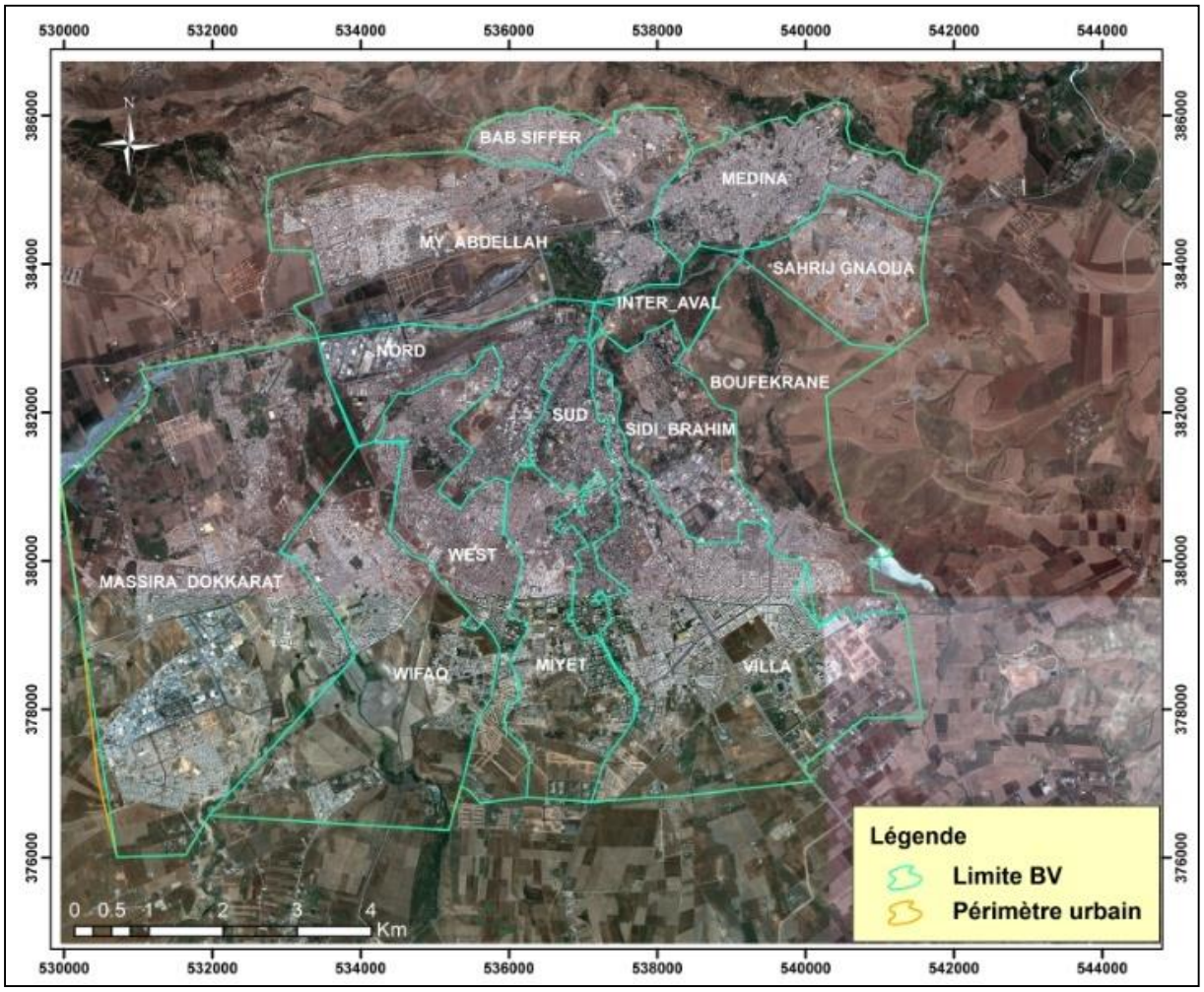


Figure 67 : Sous-bassins versants de la ville de Fès

IV.4.3. Ouvrages spéciaux

L'évacuation des eaux usées et pluviales se fait par le biais des collecteurs existants, pour assurer le bon fonctionnement du réseau durant les périodes de pointes et les épisodes pluvieuses. L'organisme exploitant met en place là où il est nécessaire des déversoirs d'orage afin de soulager les collecteurs avals, qui ont pour rôle de laminer en quelques sortes les débits importants que le réseau peut recevoir en une courte durée.

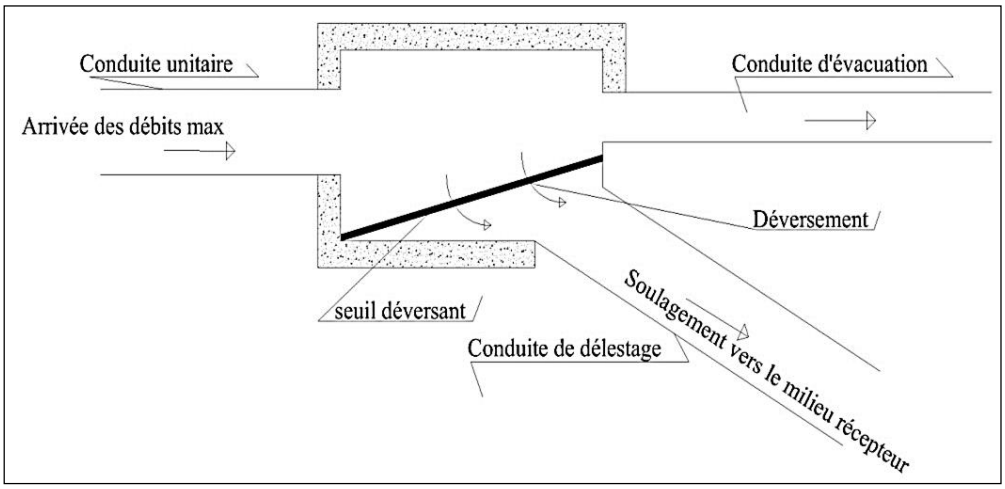


Figure 68 : Schéma de principe d'un déversoir d'orage

Les conduites de délestage sont raccordées soit directement dans les oueds traversant la ville ou bien dans des collecteurs moins chargées.

IV.4.4. Mode d'utilisation

En ce qui concerne le mode d'utilisation des équipements, les agents concernés n'imposent pas, en général, des contraintes aux usagers. Mais il y a eu exception, pour les industriels propriétaires des usines et des tanneries depuis Mai 2003 et avec l'arrivée du projet de la station de la dépollution industrielle, un séparateur installé dans le branchement était imposé pour l'évacuation des eaux chromées pour le recyclage du chrome. Pourtant, la mauvaise pratique et l'inconscience de certains usagers ne permet pas d'atteindre l'objectif de la station prévue.

Par ailleurs, l'installation des branchements est, selon la réglementation, payée et réalisée par les propriétaires des habitats. Ces derniers doivent assurer le raccordement des logements en respectant les prescriptions du règlement du service d'assainissement (seulement la partie des branchements située sous la voie publique qui doit être exécutée sous le contrôle de l'exploitant du service. Elle est propriété de la régie qui doit en assurer l'entretien).

V. Techniques alternatives de gestion des eaux pluviales

A l'encontre du principe de l'assainissement classique qui consiste en l'établissement d'une convergence directe des apports d'eau ruisselés vers des canalisations principales chargées de les acheminer rapidement jusqu'au milieu récepteur, les techniques alternatives en

assainissement pluvial consistent en la multiplication des freins à la convergence rapide et à la concentration des flots de manière à éviter la concomitance des arrivées des eaux à l'exutoire et ainsi à diminuer l'intensité des débits à transiter (République et Canton de Genève, 2005).

On entend par « alternatives » l'ensemble des techniques compensatoires et complémentaires, qui assurent une gestion optimale des eaux de pluie et de ruissellement qui peuvent prendre différents aspects. Leur fonctionnement repose sur deux principes fondamentaux :

- la rétention de l'eau de pluie et de ruissellement, pour réguler les débits et étaler les apports à l'aval.
- l'infiltration dans le sol lorsqu'elle s'avère possible, pour réduire les volumes qui s'écoulent vers l'aval.

Les dispositifs les plus communément utilisés pour la rétention et/ou la percolation des eaux météoriques dans le sol sont :

- ✓ les Chaussées à Structure Réservoir (CSR) ;
- ✓ les Fossés et les Noues ;
- ✓ les Toitures stockant ;
- ✓ les Tranchées d'infiltration de rétention ;
- ✓ les Bassins de rétention.

V.1. Chaussées à structure réservoir (CSR)

V.1.1. Principe de fonctionnement

Une chaussée à structure réservoir supporte, comme toute chaussée, la circulation ou le stationnement de véhicules ; et constitue un réservoir pour les eaux de ruissellement, la rétention d'eau à l'intérieur du corps de la chaussée, dans les vides des matériaux.

L'eau est collectée, soit localement par un système d'avaloirs et de drains qui la conduisent dans le corps de chaussée, soit par infiltration répartie à travers un revêtement drainant en surface, enrobé drainant ou pavé poreux (Communauté urbaine du Grand Toulouse, 2009).

L'évacuation des eaux dans ce cas peut se faire par infiltration ou par un système de drainage vers un exutoire, la figure suivante représente le principe de fonctionnement des chaussées à structure réservoir.

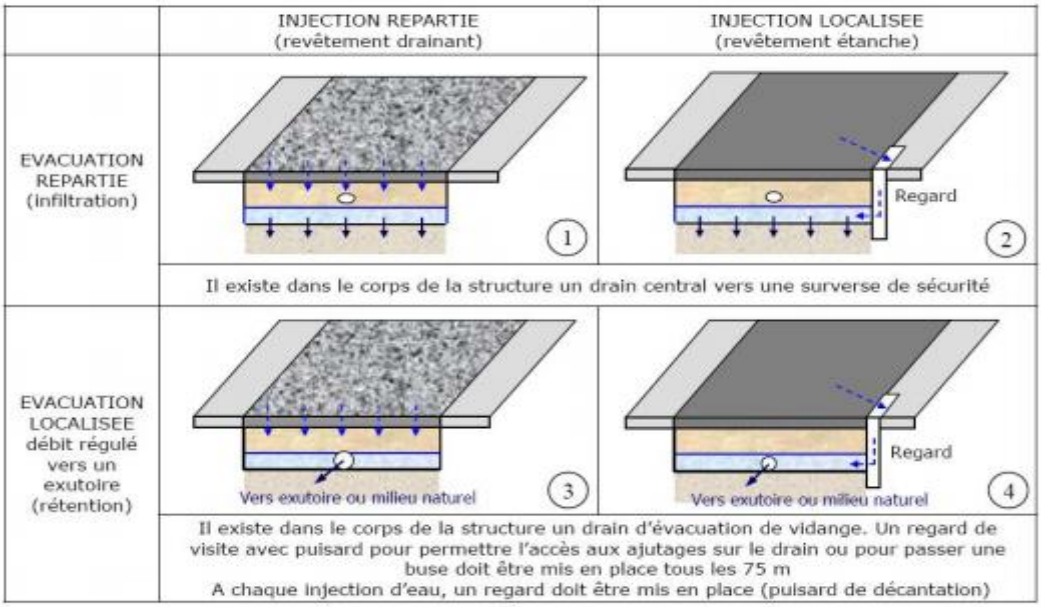


Figure 69 : Fonctionnement des chaussées à structure réservoir

V.1.2. Conception

V.1.2.1. Structure réservoir

La pente du terrain peut provoquer une accumulation de l'eau dans les points bas et son débordement sur la chaussée et réduire aussi la capacité de stockage dans le matériau poreux ; en mettant des cloisons ou en en augmentant l'épaisseur du matériau cette capacité de stockage est améliorée. Par contre, au niveau des terrains plats, il n'y a pas de risque de débordement, mais la durée de vidange peut être trop longue. Dans ce cas il est souhaitable de donner de légères pentes au fond de la structure poreuse pour éviter les stagnations locales d'eau.

V.1.2.2. Revêtement drainant et compact

Il n'y a pas de contrainte particulière à la mise en place du revêtement. Pour les faibles trafics, où la capacité d'autocurage est limitée, des compositions d'enrobé drainant très ouvertes permettront un entretien efficace.

V.1.2.3. Evacuation

La perméabilité du sol permet la sortie de l'eau par infiltration, dans le sol support. Avec des perméabilités plus faibles, la technique reste intéressante mais il faut y associer une évacuation régulée vers le réseau public ou le réseau hydrographique superficiel afin d'assurer une vidange en 2 jours maximum. Par ailleurs, pour la profondeur de la nappe, le sol situé entre le réservoir et la nappe jouant le rôle de filtre, une épaisseur minimale peut être fixée par les services d'hygiène locaux. Une infiltration avec une nappe affleurant nécessite des mesures de protection supplémentaires, lorsque le risque de pollution accidentelle ou diffuse existe, il faudra prévoir des dispositifs d'épuration en amont de l'infiltration dans le sol. Lorsque le risque de pollution est fort, l'infiltration est à proscrire ; la sous couche sera protégée par une géomembrane et l'évacuation de l'eau se fera vers un autre exutoire.

V.1.3. Entretien

La méthode d'entretien dépend du type de revêtement, le revêtement perméable nécessite un entretien préventif et un autre curatif tandis que le revêtement imperméable demande un entretien classique de chaussées à savoir le balayage, l'aspiration et le nettoyage périodique de la surface.

Tableau 36 : Entretien préventif et curatif des chaussées à structure réservoir imperméables

	Entretien préventif	Entretien curatif
Revêtement perméable	- Aspiration - Eviter le balayage - Nettoiement périodique	- Lavage à haute pression - Aspiration combinée

V.1.4. Avantages et inconvénients des chaussées à structure réservoir

Le procédé des chaussées à structure réservoir a des avantages et des inconvénients (Tableau 37), ils sont synthétisés comme suit :

Tableau 37 : Avantages et inconvénients des chaussées à structure réservoir imperméables

Avantages	Inconvénients
- Insertion en milieu urbain, - Diminution du bruit de roulement si le revêtement de surface est un enrobé drainant, - Piégeage de la pollution, - Alimentation de la nappe.	- Risque de pollution de la nappe, - Risque de colmatage.

V.2. Noues et fossés

V.2.1. Principe de fonctionnement

La technique des fossés devient de plus en plus répandue pour l'assainissement pluvial des routes et des zones non totalement urbanisées. Les noues, fossés larges et peu profonds, assurent ces mêmes fonctions en apportant en plus un avantage paysager grâce aux sur largeurs vertes qui améliorent le cadre de vie de la zone ainsi aménagée. À noter que ces dispositifs (qui sont d'une simple mise en œuvre) quand ils sont bien dimensionnés peuvent assurer l'assainissement pluvial de tout un lotissement assurant ainsi un gain financier à l'aval de la zone assainie par la réduction voire l'élimination des conduites classiques. Un entretien relevant des interventions des espaces verts assurant la régularité du bon fonctionnement des ouvrages et de leurs dispositifs annexes (Groupement BRL-GERSAR/ADI, 2013).

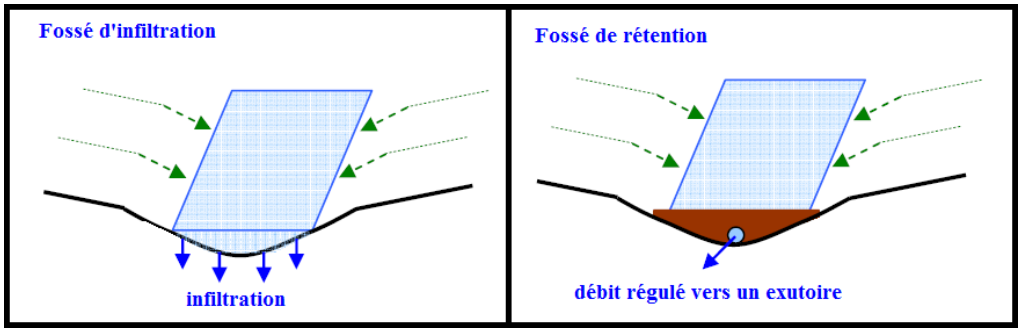


Figure 70 : Fonctionnement des noues

V.2.2. Conception

Le fonctionnement hydraulique de ces ouvrages consiste en :

- la réception des eaux de pluies après ruissellement direct sur les surfaces drainées. L'introduction des eaux peut être localisée tel le cas de la réception des eaux de toitures ;
- le stockage des eaux recueillies sur le corps de la structure. Le cloisonnement de l'ouvrage peut être nécessaire quand la pente du terrain est trop forte ;
- l'évacuation des eaux, en fonction des conditions édaphiques ; les eaux pluviales sont, soit évacuées, à débit régulé, vers un exutoire soit infiltrées dans le sol support.

V.2.3. Entretien

Les noues sont considérées comme des espaces verts et doivent être entretenus sous risque d'être envahis par la végétation. L'entretien est très souvent manuel.

Le phénomène de tassement de la terre végétale constituant la partie superficielle de la noue est cependant très limité et l'infiltration reste toujours possible.

V.2.4. Avantages et inconvénients

Les avantages et les inconvénients des noues et fossés sont présentés dans le tableau 38.

Tableau 38 : Avantages et inconvénients des noues et fossés

Avantages	Inconvénients
✓ Création d'un paysage végétal et d'espaces verts ✓ Réalisation par phases, selon les besoins ✓ Réalisation peu coûteuse ✓ Entretien simple et classique ✓ Faible phénomène de colmatage ✓ Bon comportement épuratoire	✓ Grandes surfaces foncières ✓ Entretien et nettoyage régulier spécifique indispensable (tonte, ramassage des feuilles, …) ✓ Eventuelles nuisances dues à la stagnation ✓ Sur site pentu, cloisonnement nécessaire pour limiter les pertes de volume de stockage.

V.3. Tranchées drainantes et filtrantes

V.3.1. Principe de fonctionnement

Une tranchée est un ouvrage superficiel, linéaire, utilisé pour l'assainissement pluvial des voiries et de toitures. Elle est remplie de matériaux poreux et revêtue de dalles de béton ou de pelouse. Elle est le plus souvent équipée d'un système de drainage (Communauté urbaine du Grand Toulouse, 2009). Il existe deux principaux types de fonctionnement :

- ***les tranchées drainantes :*** système de rétention des eaux. L'eau est évacuée grâce à un drain, selon un débit régulé vers l'exutoire (le réseau d'assainissement pluvial traditionnel, le milieu hydraulique superficiel, un système d'infiltration) ;
- ***les tranchées infiltrantes*** : système d'infiltration, couplé au système de rétention. L'évacuation des eaux pluviales se fait par infiltration directe dans le sol parfois couplée avec un écoulement régulé. Ceci permettra la vidange complète de l'ouvrage.



Figure 71 : Tranchée d'infiltration et tranchée drainant

V.3.2. Conception

L'alimentation en eau durant l'épisode pluvieux peut se faire soit par ruissellement direct, en général au fond de petite noue, soit par déversement du réseau pluvial dans un drain au sein de la tranchée.

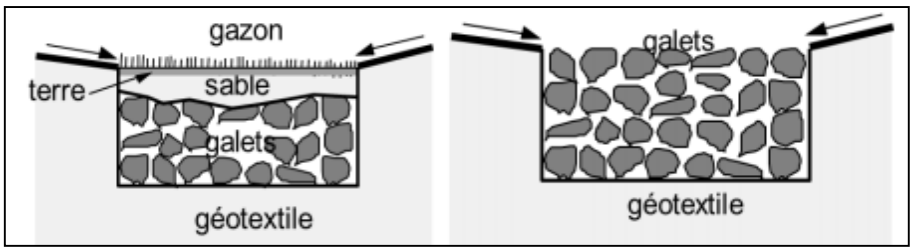


Figure 72 : Conception des tranchées

Les aménagements réalisés sur les tranchées sont divers et variés. Ils peuvent être sous la forme d'espaces verts, de chemins piétonniers, comme des promenades, des trottoirs ou bien des voies d'accès pour les véhicules comme des parkings.

Pour mettre en œuvre une solution technique d'infiltration (tranchée infiltrant), il faut s'assurer de la présence d'horizon géologique favorable à l'infiltration, dans les couches superficielles (1m à 1.5m), grâce aux résultats d'une étude hydrogéologique.

V.3.3. Entretien

Pour les tranchées drainantes en herbées, l'entretien est presque identique à celui d'un jardin : tonte de la pelouse, ramassage des feuilles et des détritus… Si les galets sont apparents, il consiste uniquement à enlever les déchets éventuels. Si la tranchée est drainante et se déverse dans un ruisseau ou vers le réseau d'assainissement, les ouvrages de limitation de débit doivent être entretenus.

V.3.4. Avantages et inconvénients

Les avantages et les inconvénients des tranchées drainantes ou filtrantes sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 39 : Avantages et inconvénients des drainantes / filtrantes

Avantages	Inconvénients
➢ Réduction des débits de pointe ; ➢ Réalimentation des nappes phréatiques (si infiltration) ; ➢ Technique peu coûteuse ; ➢ Mise en œuvre facile et maîtrisée ; ➢ Bonne intégration paysagère ; ➢ Faible emprise foncière ; ➢ Adaptation aux terrains plats ; ➢ Couplage possible avec d'autres techniques.	➢ Risque de colmatage possible, surtout pour les tranchées le long des voies circulées ; ➢ Nécessité d'un entretien régulier ; ➢ Difficilement applicable pour des terrains naturels à forte pente. ➢ Technique tributaire de l'encombrement du sous-sol. ➢ Pour les tranchées infiltrantes risque de pollution de la nappe

V.4. Toitures stockant

V.4.1. Principe de fonctionnement

Le stockage en toitures terrasses (toits stockant) est défini comme une technique de micro-stockage, consistant à stocker provisoirement l'eau de pluie au plus près de la surface captatrice (toiture).

Cette technique n'est pas très répandue car son développement est freiné par des réticences. Ce qui est dommage car cette solution, peu coûteuse, est bien adaptée, en milieu urbain dense, à l'assainissement pluvial de petites surfaces imperméabilisées comme des habitations de particuliers.

Les toits stockant collectent l'eau directement sur leur surface. Ils ne nécessitent donc pas d'ouvrage de collecte. Le stockage est permis grâce à un revêtement d'étanchéité, généralement protégé par une couche de gravillons. Celle-ci permet de réduire les débits de pointe et assure une « filtration » des eaux pluviales, réduisant ainsi l'effet de colmatage (Communauté urbaine du Grand Toulouse, 2009).

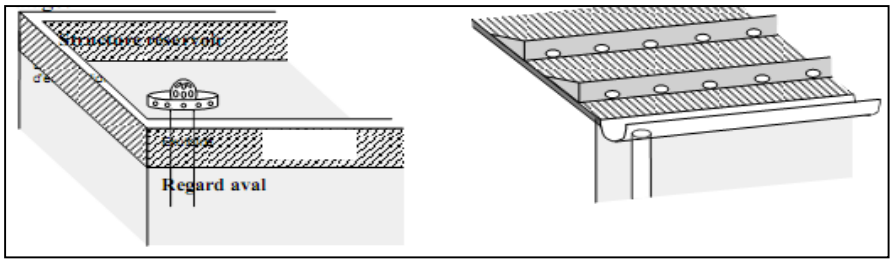


Figure 73 : Fonctionnement des toitures stockant

V.4.2. Conception

Un toit stockant est composé de plusieurs éléments :

- ✓ un élément porteur ;
- ✓ un pare-vapeur et un isolant thermique ;
- ✓ une étanchéité ;
- ✓ une protection de l'étanchéité ;
- ✓ des dispositifs de vidange.

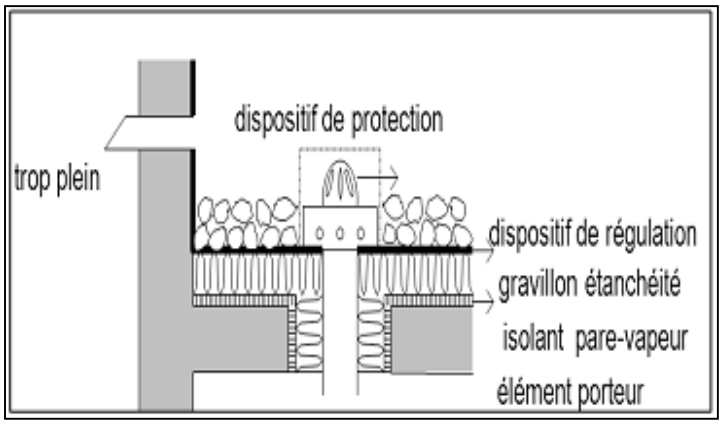


Figure 74 : Dispositifs des toitures stockant

Les dispositifs de vidange sont les systèmes de régulation, et les trop-pleins des systèmes de sécurité :

- **systèmes de régulation :** sont composés d'une évacuation régulée, jusqu'à une certaine hauteur d'eau, par le biais d'orifices calibrés.
- **trop-pleins de sécurité :** servent de déversoirs de sécurité si les systèmes de régulation sont bouchés ou engorgés. Ils servent également à respecter la hauteur d'eau limite sur la toiture.

Les systèmes de régulation et les trop-pleins de sécurité doivent être munis de dégrilleurs pour limiter leur obturation par les feuillages et les branchages par exemple.

V.4.3. Entretien

Pour assurer un bon entretien, il est recommandé de faire au minimum deux visites par an : la première pour vérifier que les feuilles des arbres n'ont pas obstrué les descentes et la deuxième pour contrôler le bon fonctionnement des dispositifs de régulation.

V.4.4. Avantages et inconvénients

Les avantages et les inconvénients des toitures stockant sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 40 : Avantages et inconvénients des toitures stockant

Avantages	Inconvénients
➢ Intégration de façon esthétique ; ➢ Pas d'emprise foncière ; ➢ Mise en œuvre simple ; ➢ Diversité de traitements : en herbe, avec un matériau (bois) ; ➢ Pas de surcoût par rapport aux toits simples.	➢ Nécessite une réalisation soignée ; ➢ Problème d'étanchéité ; ➢ Surcharge des toits.

V.5. Bassins de rétention

Face aux grands débits que peut générer une crue, les techniques alternatives à l'amont montrent leurs limites. Ainsi le bassin de rétention est une installation située sur le réseau d'évacuation des eaux pluviales, permettant de limiter les débits de pointe évacués à l'aval en temps de pluie, afin de les restituer au réseau ou au milieu récepteur dans des conditions acceptables.

Cette technique repose aussi sur le stockage ou l'infiltration, on distingue des bassins à ciel ouvert et les bassins enterrés.

Les bassins de rétention sont destinés à contenir le surplus d'eaux de pluie et de ruissellement généré par l'urbanisation ou l'aménagement d'un site en fonction d'un débit d'évacuation régulé vers un exutoire ; l'exutoire pouvant être le réseau public, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration. Ces missions sont d'étalement et d'écrêtement des eaux pluviales.

Ils sont principalement constitués par trois parties : un ouvrage d'alimentation, une zone de stockage et un ouvrage de régulation garantissant le débit de fuite (Communauté urbaine du Grand Toulouse, 2009).

V.5.1. Bassins de rétention à ciel ouvert

Un bassin à ciel ouvert est situé au niveau du terrain naturel et se vide complètement suite à l'épisode pluvieux. Le volume de stockage disponible est égal au volume utile du bassin.

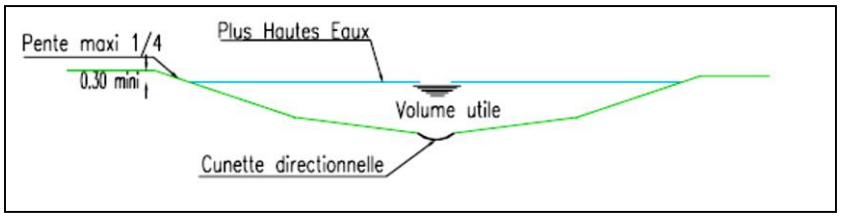


Figure 75 : Coupe en travers d'un bassin à ciel ouvert

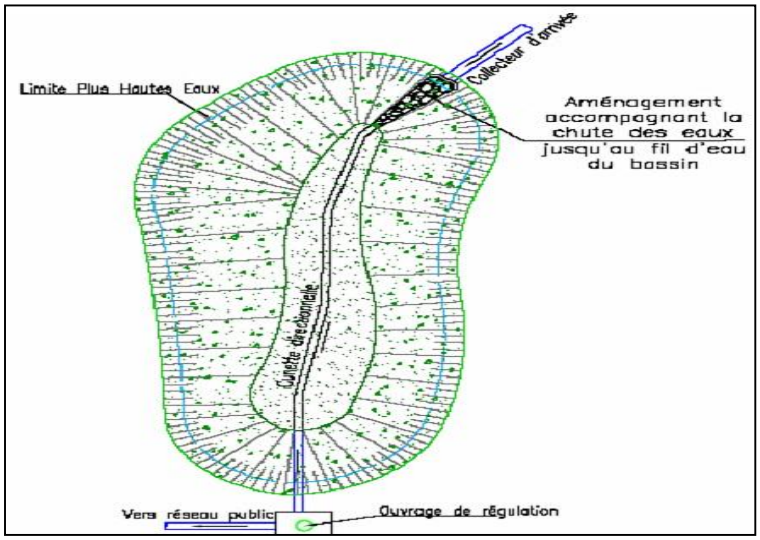


Figure 76 : Vue en plan d'un bassin à ciel ouvert

Un travail poussé, permettant d'assurer une intégration paysagère complète du bassin, doit être pensé et inclus comme axe majeur de réflexion de l'aménagement. Une intégration qui permettra de transformer l'ouvrage hydraulique en un élément à part entière de l'opération. Pour cela, il faut lui donner une valeur paysagère tout en lui conférant (lorsque cela s'avère possible) de multiples autres usages (zone de détente, aire de jeu, …).

Pour permettre la mise en œuvre d'un bassin plurifonctionnel et l'ouvrir au public, on assure :

- ✓ la mise en sécurité des personnes ;
- ✓ une bonne information des riverains ou des usagers sur son fonctionnement ;
- ✓ une signalétique adéquate ;
- ✓ la mise en sécurité des équipements constitutifs de l'ouvrage.

L'alimentation en eau durant l'épisode pluvieux peut se faire :

- ✓ par ruissellement direct ;
- ✓ par déversement du réseau pluvial (le bassin est le point bas du réseau) ;
- ✓ par mise en charge et débordement du réseau tout en évitant des apports d'eau de pluie et de ruissellement lors des pluies de faibles intensités.

Si le volume disponible au sein de l'ouvrage est supérieur au volume utile à stocker, le surplus peut être réutilisé (arrosage, réutilisations diverses, …).

V.5.1.1. Collecte des eaux et alimentation

La collecte des eaux pluviales en amont et l'alimentation du bassin sont réalisées par des canalisations, l'adoption d'un système de « dégrillage » et de pièges à flottants est indispensable ainsi qu'une protection évitant toute intrusion dans les canalisations. Il faut prévoir un aménagement afin d'éviter toute érosion prématurée (pour une alimentation par déversement, aménagement jusqu'au fil d'eau du bassin).

V.5.1.2. Structure du bassin

La mise en place du bassin de rétention à ciel ouvert doit se faire en respectant les critères suivants :

- mettre en place un géotextile et/ou une géomembrane en fonction de la destination du bassin et du type d'eau rétention (possibilité de contamination, zone à « risques ») ;
- prévoir une pente des talus le plus faible possible (facilite l'entretien) ;
- privilégier un profil emboîté (marches d'escalier) pour des pentes de talus importantes ;
- stabiliser les talus par végétalisation ou autre méthode (géogrilles, dispositifs anti-batillage, enrochements, tunage, rondins, …) ;
- assurer un entretien mécanique par le biais des rampes d'accès jusqu'au fond du bassin.

V.5.1.3. Evacuation des eaux

L'évacuation de la totalité des eaux collectées est assurée par la mise en œuvre d'un système de drainage au point bas (« ré-essuyage ») par noue, caniveau, cunette ou drain d'évacuation pour assurer l'absence d'eau stagnante après vidange.

L'exutoire est composé de :

- une protection évitant toute intrusion dans les canalisations ;
- un organe ou orifice de régulation ;
- une surverse de sécurité.

V.5.1.4. Avantages et inconvénients

Les avantages et les inconvénients des bassins à ciel ouvert sont résumés dans le tableau 41.

Tableau 41 : Avantages et inconvénients des bassins de rétention à ciel ouvert

Avantages	Inconvénients
➢ Dépollution efficace des eaux pluviales ; ➢ Conservation d'espaces verts en ville ; ➢ Entretien simple ; ➢ Intégration paysagère.	➢ Importante emprise foncière ; ➢ Risques de nuisances olfactives.

V.5.2. Bassins de rétention enterrés

Ce sont des ouvrages de stockage enterrés sous des espaces verts, des voiries ou encore des parkings. Ils se vidangent complètement après l'épisode pluvieux.

Cette technique peut être conseillée en cas de manque de terrain disponible ou le coût du foncier le justifie (centre-ville par exemple). Sa mise en œuvre peut permettre au propriétaire, grâce à une gestion rigoureuse et dans le cas d'un volume disponible supérieur au volume de rétention demandé, de réutiliser les eaux de pluie à des fins privées (arrosage).

L'alimentation ne peut pas se faire que par :

- déversement du réseau pluvial (le bassin est le point bas du réseau) ;
- mise en charge et débordement du réseau en évitant des apports d'eau de pluie et de ruissellement lors des pluies de faibles intensités.

V.5.2.1. Collecte des eaux

La collecte des eaux pluviales en amont et l'alimentation du bassin sont réalisées par canalisations ou caniveaux chargés d'acheminer les eaux pluviales interceptées par des bouches à grilles (ou avaloirs). Les regards de répartition et les regards visitables permettront l'entretien de ces canalisations afin d'améliorer les conditions d'écoulement.

V.5.2.2. Système de drainage

Le système de drainage dépend du type du bassin. Les bassins de rétention disposent d'un drain placé au fond de structure, alors que les bassins d'infiltration disposent d'un drain placé en haut de la structure de façon à ce que l'eau ruisselle avant infiltration dans le sol.

L'interface structure/exutoire est composée d'un regard de visite permettant l'entretien, d'un drain d'évacuation, d'une surverse de sécurité et un orifice de régulation permettant le contrôle du débit de fuite.

VI. Conclusion

Les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, de plus en plus répandues à travers le monde, présentent beaucoup d'avantages en termes de gestion des eaux pluviales. Elles peuvent parfaitement être insérées dans le tissu urbain, avec l'objectif de retarder les crues et de laminer les débits de pointe des eaux pluviales pour une période de retour déterminée. Les eaux stockées dans les bassins de rétention ou de stockage peuvent servir de ressource pour l'arrosage des espaces verts, le lavage des voies ou le remplissage des citernes des hydrocureuses.

L'intégration des techniques de gestion des eaux pluviales est devenue une priorité pour les villes étalées à l'encontre du sens d'écoulement des eaux où le réseau d'assainissement aval commence à présenter des symptômes d'insuffisance hydraulique.

La gestion du réseau d'assainissement dans la ville de Fès est assurée par la RADEEF, en concertation avec les organismes étatiques notamment la Commune Urbaine et la Wilaya. La RADEEF assure le suivi des travaux réalisés par les entreprises sous-traitantes. Le réseau d'assainissement est hiérarchisé en réseau primaire, secondaire et tertiaire.

L'extension urbaine à l'encontre du sens d'écoulement et la présence d'un réseau hydrographique traversant la ville, ont incité les gestionnaires à choisir le système d'assainissement pseudo-séparatif au lieu de l'ancien système unitaire, chose qui reste difficile à gérer lors des périodes pluvieuses et impose le recours vers l'intégration des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales pour laminer les débits de pointe.

Chapitre VII : Epuration des eaux usées

I. Définition et procédés

I.1. Définition

L'épuration des eaux usées est le processus de traitement des eaux usées industrielles et/ou domestiques et les eaux pluviales avant leur rejet dans le milieu naturel, avec l'objectif principal d'éliminer les particules et les substances qui peuvent nuire à l'environnement.

La station d'épuration (STEP) est installée à l'exutoire du réseau d'assainissement de la collectivité ; selon la biodégradabilité de l'effluent, elle utilise plusieurs principes biologiques ou physico-chimiques. Le processus le plus répandu est celui qui se caractérise par un traitement biologique du fait qu'il fait intervenir les bactéries capables de dégrader les matières organiques, processus plus économique.

Une station d'épuration est constituée d'une succession d'étapes, dont chacune a pour objectif d'extraire une partie de la pollution de l'eau. Les dimensions des ouvrages et la taille des bassins dépendent de la charge polluante et de la concentration en matières polluantes.

L'eau usée passe par plusieurs étapes à savoir, le prétraitement, le traitement primaire, secondaire et tertiaire, en faisant la distinction entre la filière eau et la filière boue.

Les différents types des eaux à traiter par la STEP sont comme suit :

- les eaux ménagères : provenant des ménages (cuisines et lavages), elles contiennent essentiellement des matières organiques et des produits chimiques ;
- les eaux-vannes : provenant des sanitaires, elles contiennent des matières organiques, des micro-organismes et des produits chimiques (détergents….) ;
- les eaux usées industrielles : doivent faire l'objet d'un test de biodégradabilité. afin de s'assurer de leur qualité, ils doivent être compatibles avec le processus de traitement adopté.

I.2. Procédés d'épuration

Il existe deux grands types de procédés d'épuration des eaux usées ; des procédés extensifs et intensifs, à culture fixe ou libre, comprenant le lagunage naturel, le lagunage aéré, STEP à boues activées et le lit bactérien.

Le traitement par des procédés extensifs exige une surface importante pour l'implantation de la STEP et demande plus de temps de séjour des eaux usées dans les bassins de traitement, mais le coût de traitement est plus ou moins acceptable. Alors que le traitement par des procédés intensifs demande une surface réduite pour l'implantation de la STEP et un temps de séjour réduit tout en dépensant un budget annuel de traitement (électricité, pompage, réactifs chimiques…).

Le choix du procédé de traitement dépend de plusieurs paramètres à savoir la disponibilité du foncier, la nature des eaux à traiter, le degré de dépollution envisagé et les critères économiques liés à l'investissement préliminaire et le coût d'exploitation.

I.2.1. Lagunage

Le lagunage est une technique biologique d'épuration des eaux usées, par laquelle le traitement est assuré par une combinaison de procédés aérobies (présence d'oxygène) et anaérobies (absence d'oxygène), impliquant un large éventail de micro-organismes (essentiellement des algues et des bactéries). Les mécanismes épuratoires et les micro-organismes qui y participent sont, fondamentalement, les mêmes que ceux responsables du phénomène d'autoépuration des lacs et des rivières (Pearson, 2005).

Le lagunage se présente comme une succession de bassins (minimum 2 et généralement 3) peu profonds (le plus souvent rectangulaires) dits lagunes. La surface et la profondeur de ces lagunes influencent le type de traitement (aérobie ou anaérobie) et confèrent un rôle particulier à chacune d'entre-elles. L'épuration par lagunage consiste à faire passer des effluents d'eau usée par écoulement gravitaire de lagune en lagune où la pollution est dégradée par (Valiron, 1983) :

- l'activité bactérienne ;
- l'activité photosynthétique et l'assimilation des substances minérales ;
- le pourvoir germicide de la lumière et de certaines algues.

Les matières en suspension de l'eau brute décantent dans le bassin de décantation. Les bactéries assimilent la pollution dissoute, en utilisant l'oxygène nécessaire issu de l'action chlorophyllienne des végétaux pour la synthèse directe de la matière organique (Zeghoud, 2014). On distingue :

- les microphytes ou algues microscopiques : algues vertes ou bleues difficilement séparables ;
- les macrophytes ou végétaux macroscopiques, comprennent des formes libres (ex. lentilles d'eau) ou fixées (ex. roseaux). Les jacinthes d'eau peuvent s'enraciner ou non. Les végétaux supérieurs jouent un rôle de support et doivent normalement permettre d'augmenter la quantité de bactéries et d'algues épuratrices (Degrémont, 1989).

Les macrophytes sont consommés par le zooplancton (microorganismes) et filtrent l'eau à la sortie avant rejet. L'ensemble de ces phénomènes apparait dans plusieurs bassins en séries, ce qui autorise l'étagement des phénomènes épuratoires. Le processus épuratoire qui s'établit dans une lagune est particulièrement intéressant car il est vivant, et se déroule en cycle naturel continu (Zeghoud, 2014).

I.2.2. Lagunage naturel

Il repose sur une culture bactérienne principalement de type aérobie, l'épuration est assurée par un long séjour des eaux usées dans des bassins en série.

Le mécanisme de base est la photosynthèse, la partie supérieure de l'eau est exposée à la lumière ce qui permet le développement des algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies qui détruisent à leur tour la matière organique. Le gaz carbonique produit par les bactéries et les sels minéraux existants dans les eaux usées permettent aux algues de se multiplier. La partie basse du bassin (fond du bassin) et en absence de lumière enregistre l'intervention des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation en entraînant la production de gaz carbonique et de méthane.

L'épuration repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en culture libre et d'algues. La lagune représente un écosystème trié comme suit (AERM, 2007) :

- les producteurs primaires : les végétaux microscopiques (phytoplancton) et macroscopiques (algues, roseaux).
- les herbivores (zooplancton et animaux supérieurs) qui endiguent la prolifération des végétaux ;
- les consommateurs primaires (bactéries) qui profitent de l'oxygénation du milieu pour dégrader la quasi-totalité de la pollution organique. L'épuration s'accompagne de la libération de composés minéraux et de dioxyde de carbone, consommés par les végétaux ;
- les détrivores : (champignons et bactéries) qui s'alimentent des matières organiques et participent ainsi à la minéralisation des sédiments ;

La faune a pour rôle, l'épuration de l'eau directement, la consommation de végétaux et la prédation qui régule la flore microscopique et macroscopique. La microflore est composée de : (AERM, 2007).

- bactéries aérobies ou anaérobies sous deux formes libres (plus généralement en floc) ou fixées. Les bactéries fixées (sur des végétaux supérieurs) ont un meilleur rendement que les bactéries libres. Par contre, la présence des végétaux supérieurs nécessite un faucardage de préférence annuel. Cette opération s'avère souvent longue et relativement fastidieuse ;
- algues microscopiques. Leur activité photosynthétique entraîne une consommation de dioxyde de carbone et une production d'oxygène. Elles permettent d'assurer une partie de l'épuration des matières azotées et phosphorées. De plus, elles régulent le pH en absorbant le dioxyde de carbone. De même que pour les bactéries, elles peuvent être libres ou fixées.

La macroflore constituée d'algues macroscopiques et de végétaux supérieurs est le support d'une partie de la microflore. Elle sert également à absorber une partie de la pollution contenue dans l'eau, à filtrer le milieu, à libérer de l'oxygène et offrir un refuge au zooplancton, aux larves d'insectes, aux invertébrés et aux autres animaux (canards, rats musqués, etc.) (AERM, 2007).

Les petits crustacés tels que les daphnies, jouent un rôle essentiel dans la clarification de l'effluent traité. Leur efficacité est amplifiée lors de la présence de macrophytes. Les seules interventions humaines résident dans le fait d'entretenir les abords et de sortir les excédents de production (curage et faucardage) (AERM, 2007).

La série des bassins en lagunage naturel est classée comme suit : bassins anaérobies, bassins facultatifs et bassins de maturation.

Les bassins anaérobies sont caractérisés par une carence d'oxygène dissous du fait de la DBO5 élevée, les matières en suspension peuvent s'y déposer facilement et former une couche où les bactéries anaérobies dégradent la matière organique. Cette dégradation engendre la production des gaz : le méthane et l'hydrogène sulfuré. Le taux d'abattement de la DBO5 varie de 40 à 60% et les matières en suspension (MES) de 50 à 70%. Ces lagunes sont caractérisées par une faible concentration en micro-algues à cause des conditions défavorables à leur croissance. Ces lagunes ont une profondeur comprise entre 2 et 5m et l'effluent séjourne 3 à 5 jours (Sevrin-reyssac et al, 1995).

Les bassins facultatifs sont caractérisés par trois parties ; une couche supérieure sous forme milieu aérobie riche en algues et en micro-organismes, une couche profonde (au fond du bassin) couverte de sédiments organiques et représente le siège de fermentation anaérobie et une couche intermédiaire de transition favorable aux bactéries facultatives (Beaudry, 1984). Ces bassins sont caractérisés par une profondeur de 1 à 2m et un temps de séjours des eaux de 4 à 6 jours.

Les bassins de maturation sont les moins profonds avec des profondeurs entre 0.8 et 1.2m permettant la pénétration de la lumière qui favorise le développement des algues vertes et la production de l'oxygène et le développement de bactéries aérobies (Degrémont, 1978). Le temps de séjour est compris entre 12 et 18 jours tout en permettant un traitement complémentaire d'effluent partiellement épuré auparavant (Sevrin-reyssac et al, 1995).

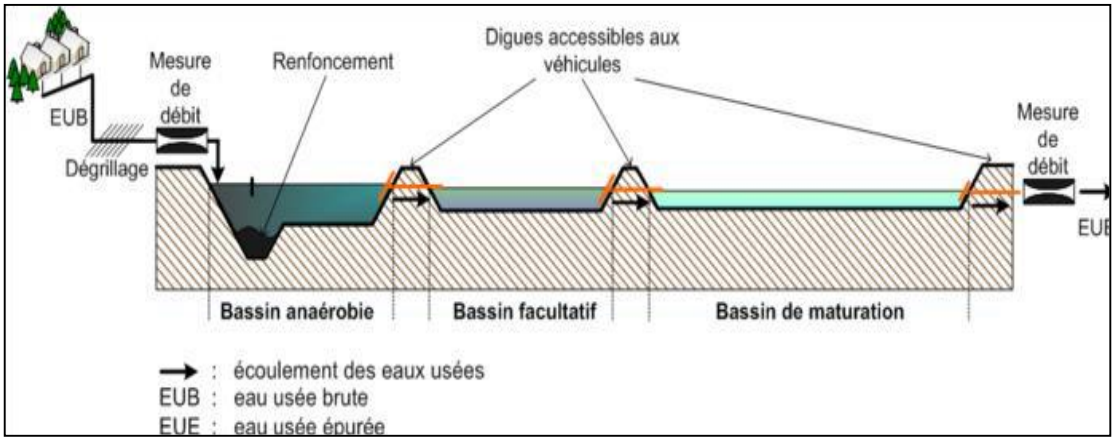


Figure 77 : Schéma d'épuration des eaux usées par lagunage naturel (www.lagunage.eu)

I.2.3. Lagunage aéré

La technique du lagunage aéré repose sur le principe de l'épuration biologique par culture libre, avec une injection artificielle d'oxygène.

Dans l'étage d'aération, les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactéries faible et l'absence de recirculation (AERM, 2007).

L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. La consommation électrique de chacun de ces deux procédés est similaire à celle d'une boue activée. Dans l'étage de décantation, assuré principalement par une ou deux simples lagunes, les matières en suspension (amas de microorganismes et de particules piégées) s'agglomèrent lentement sous forme de boues. Ces dernières doivent être régulièrement extraites (AERM, 2007).

Il existe deux formes de lagunage aéré (AERM, 2007) :

- le lagunage aéré strictement aérobie : avec une aération suffisante pour maintenir le bassin en aérobiose et l'ensemble des particules en suspension ;
- le lagunage aéré aérobie/anaérobie facultatif : formation de dépôt qui évolue en milieu anaérobie.

Le premier est peu utilisé car il consomme beaucoup d'énergie, Le second est rencontré, fréquent et s'apparente au lagunage naturel par épuration des eaux usées par échange eau/sédiment.

I.2.4. Boues activées

La technique des boues activées repose sur le contact permanent des micro-organismes épurateurs avec la pollution, le traitement se fait par le biais d'une oxydation biologique de la matière organique par des cultures libres, oxygénées et brassées artificiellement.

Il est réalisé en deux phases (AERM, 2007) :

- Oxydation de la pollution par des micro-organismes aérobies alimentés en oxygène par des aérateurs mécaniques ou par injection d'air.
- Décantation permettant la séparation physique de l'eau épurée des micro-organismes épurateurs et de la matière résiduelle solide.

Bien sûr qu'il existe plusieurs procédés d'épuration autre que le lagunage et les boues activées comme le lit bactérien et les disques biologiques… etc.

I.3. Avantages et inconvénients

Chaque procédé d'épuration présente des avantages et des inconvénients ; les principaux avantages sont liés principalement à la qualité des eaux épurées et le temps de séjour des eaux

alors que les inconvénients sont liés aux dysfonctionnements que peut présenter chaque procédé et le coût de traitement élevé pour certains procédés.

- Lagunage naturel

Tableau 42: Avantages et inconvénients du lagunage naturel

Avantages	Inconvénients
Consommation faible d'énergie	Procédé consommateur d'espace (grande emprise au sol)
Faible frais d'exploitation	Investissement onéreux pour les sols perméables
Construction simple (génie civil)	Faible performance avec les effluents industriels
Absence de nuisance sonore	Procédé non convenable aux réseaux séparatifs
Elimination intéressante de l'azote et phosphore	Possibilité de dégagement des odeurs nauséabondes
Bonne intégration paysagère	Faible maîtrise de l'équilibre biologique

- Lagunage aéré

Tableau 43 : Avantages et inconvénients du lagunage aéré

Avantages	Inconvénients
Bonne adaptation aux variations des charges polluantes	Demande une surveillance en permanence des pompes
Bonne adaptation aux effluents concentrés	Forte consommation d'énergie
Fréquence espacée de curage	Possibilité des nuisances sonores (bruit des pompes et matériel électromécanique)
Bonne intégration paysagère	

- Boues activées

Tableau 44 : Avantages et inconvénients des boues activées

Avantages	Inconvénients
Bonne qualité des eaux épurées	Demande une surveillance en permanence du débit d'entrée
Elimination importante de l'azote global	Coût élevé d'investissement et d'exploitation
Possibilité de combinaison du traitement biologique et physico-chimique	Gestion par des personnes qualifiées (non par des ouvriers ordinaires)
Faible emprise foncière	Possibilité de dysfonctionnement en période pluvieuse
Possibilité de réutilisation des eaux épurées	Extraction régulière des boues (frais d'extraction et transport à la décharge)

II. Présentation du procédé de traitement de la STEP de la ville de Fès

Les eaux usées de la ville de Fès s'évacuaient directement d'une façon précaire et sans traitement préalable dans l'Oued Sebou qui constitue l'exutoire final des eaux usées et la source principale d'alimentation en eau potable et d'irrigation de la région de Fès.

Selon les données de l'agence de bassin hydraulique Sebou (ABHS), la ville de Fès contribuait à environ 40% de la pollution de l'Oued Sebou ; c'est dans ce contexte que les

gestionnaires du secteur ont décidé d'implanter une station d'épuration, en aval au point de confluence avec l'Oued Sebou, afin de minimiser l'impact des eaux usées.

La station d'épuration de la ville de Fès de type boues activées, comprend plusieurs étapes de traitement (filière eau) afin de remplir sa fonction.



Figure 78: Station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès (https://tool-online.com/free-map-tools.php)

II.1. Dégrillage

Le dégrillage permet d'évacuer, aussi bien des eaux de surfaces que des eaux résiduaires, les gros objets du type troncs d'arbre, bidons et des matières de taille plus faible (branches, feuilles, objets métalliques ...), appelés classe de "matières grossières".

Il permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de causer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Il rend également plus efficace les traitements suivants.

Tableau 45 : Types de dégrillage

Type de dégrillage	Ecartement barres
Dégrillage grossier	30 mm < **E**<100 mm
Dégrillage moyen	10 mm < **E**< 25 mm
Dégrillage fin	3 mm < **E**< 10 mm

La station d'épuration de la ville de Fès adopte deux types de dégrilleurs : le dégrilleur grossier présente un espacement inter-barreaux de 60 mm et le deuxième un espacement de 10 mm.



Figure 79: Dégrilleur entrée STEP de Fès (Asraou, 2013)

II.2. Dessablage/déshuilage

Après le dégrillage, les eaux usées passent par des dessableurs de type aéré. Les eaux usées contiennent une quantité assez importante de sables et graviers qui doit être enlevée de la chaîne de traitement afin de limiter les problèmes d'abrasion des divers équipements mécaniques. Pour ce faire, on agite énergiquement le mélange eaux usées/sables à l'aide d'un système d'aération submergé pour détacher les matières organiques accolées aux sables. Ceux-ci ainsi lavés, décantent plus rapidement et se déposent sur le fond du dessableur. Le sable ainsi déposé est récupéré par une pompe d'extraction fixée sur un pont roulant. Par la goulotte de collecte, le sable est dirigé vers un système de concentration de sable et déposé dans des bennes.

Le but donc du dessablage est d'extraire des eaux brutes, les graviers, sables et autres particules minérales $\varphi\ 200 > \mu m$, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, et à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion.

Le déshuilage-dégraissage fait appel à la différence entre la masse volumique des graisses et des huiles à extraire et celle des liquides dans lesquels elles sont en suspension. C'est une opération de séparation liquide-liquide qui favorise, par injection des bulles d'air, la flottation des huiles qui sont ensuite séparées par raclage.

Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale de graisses et un dépôt minimal de boues au fond fermentescibles.

Dans le cas de la STEP de Fès, l'opération du dessablage déshuilage se fait dans un ouvrage nommé dessableur-déshuileur ; la vitesse d'écoulement de l'eau dans ces ouvrages est réduite de façon à favoriser le dépôt des sables et la flottation des graisses. L'injection des bulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses qui seront raclées en surface, les sables déposés sont récupérés par pompage.



Figure 80: Dessableur-déshuileur de la STEP Fès (Asraou, 2013)

II.3. Décantation primaire

Les eaux polluées renferment en suspension des matières solides dont la nature (organique et minérale), la dimension (particules grossières, finement dispersées ou à l'état colloïdal) et la densité sont très diverses.

Les traitements primaires sont constitués par des techniques physiques de séparation par décantation gravitaire des matières solides du liquide.

La décantation primaire présente un intérêt certain en épuration dans la mesure où sans addition préalable de réactifs chimiques, elle assure l'élimination par sédimentation des matières en suspension décantables (de taille généralement supérieure à 50 microns).

Le cas de la STEP de Fès, les décanteurs primaires peuvent éliminer environ 80% des matières en suspension (Asraou, 2013).



Figure 81 : Décanteur primaire de la STEP Fès (Asraou, 2013)

II.4. Bassin biologique

Les bassins d'aération sont des réacteurs biologiques dans lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies. La pollution dissoute est transformée en gaz et biomasse.

Les micro-organismes aérobies utilisent l'oxygène injecté par des aérateurs pour dégrader la matière organique qui sera par la suite décantée au fond du réacteur.

La conception du système de boues activées doit nécessairement être basée sur un bilan de masse qui tient compte de l'affluent, des boues extraites et de la cinétique biologique dans le réacteur. Le volume des bassins d'aération doit être suffisant pour que le substrat ait le temps d'être transformé en biomasse. Cependant, il ne doit pas être trop grand, afin de pouvoir maintenir une concentration suffisante de biomasse dans les bassins tout en limitant l'âge des boues pour favoriser une qualité de biomasse propice à sa floculation et à sa décantation. Il faut s'assurer que la masse biologique pouvant être engendrée sous différentes conditions d'exploitation est suffisante compte tenu du volume de réacteur choisi. Une conception basée uniquement sur un temps de résidence hydraulique n'est pas acceptable.

II.5. Décantation secondaire

Les décanteurs secondaires (nommés aussi clarificateurs) ont pour objectif la séparation des boues de l'eau traitée. Une opération de recyclage de boue la plus concentrée vers le bassin biologique est effectuée à ce niveau afin d'assurer le réensemencement de la biomasse.

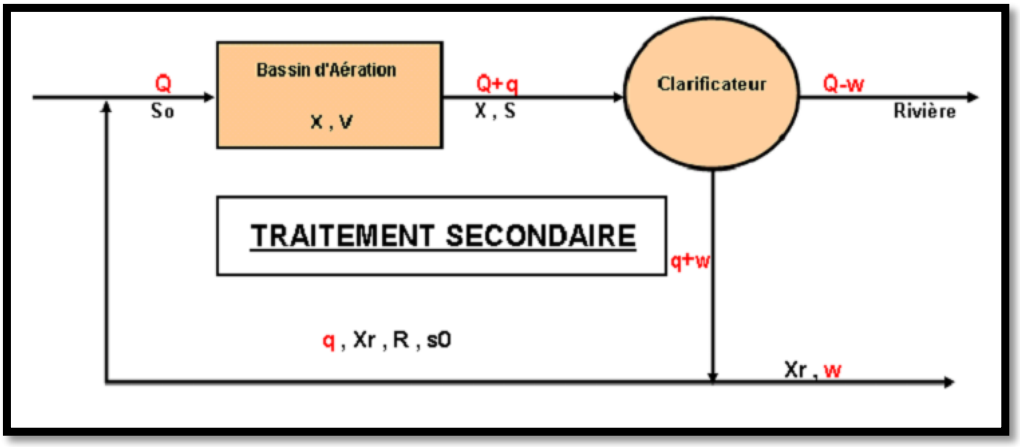


Figure 82 : Illustration du recyclage de la biomasse du clarificateur vers le bassin biologique

II.6. Situation actuelle et capacité

Le rendement épuratoire peut être défini comme le facteur principal de jugement de la performance de la STEP, il est basé sur plusieurs paramètres, dont les concentrations moyennes de la DBO5, DCO et MES à la sortie de la STEP.

Ce rendement épuratoire peut être affecté par des dysfonctionnements qui peuvent parvenir de temps à autre ; ces derniers sont liés essentiellement, soit à des pannes d'équipement, soit à des fluctuations de charges polluantes (le cas le plus répandu). L'arrivée parfois des produits toxiques (le chrome par exemple) des unités clandestines de tanneries perturbe le traitement biologique et inhibe significativement l'activité bactérienne chargée de dégrader la matière organique.

La comparaison du débit moyen (Q) avec le domaine de garantie a une grande utilité car il informe sur le temps de séjour des eaux usées dans les bassins de traitement. Un débit dépassant le maximum de garantie signifie un temps de séjour réduit, ce qui nuit à la qualité des eaux épurées (épuration non complète). Par contre si le débit moyen est inférieur au minimum de garantie, l'ensemencement de la biomasse peut être affecté vu que l'eau séjourne une période supérieure à celle préconisée pour le bon déroulement du traitement.

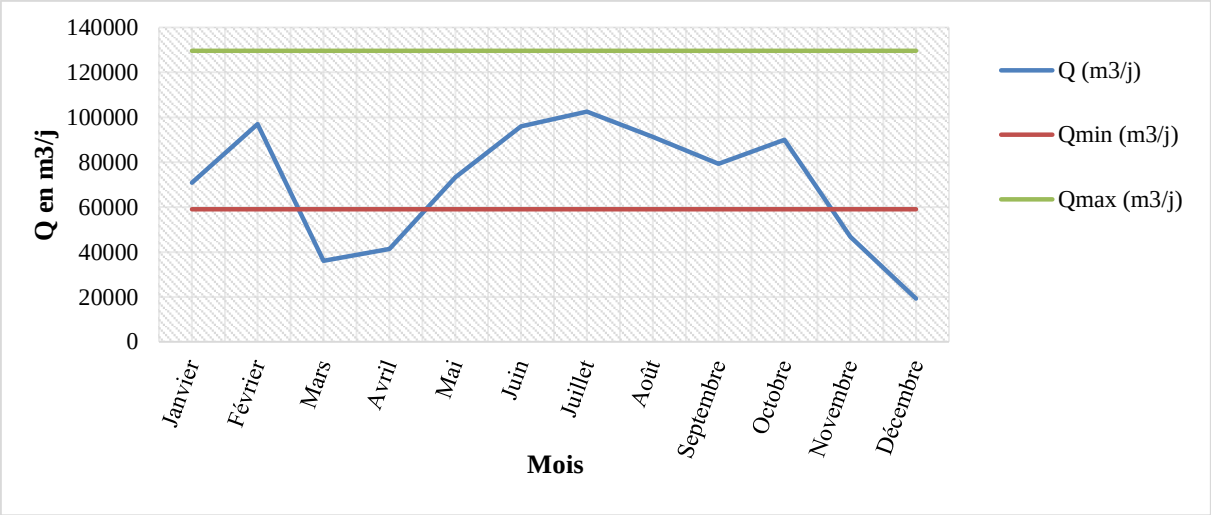


Figure 83 : Débit moyen à l'entrée de la STEP et domaine de garantie

La figure 83 montre que la valeur du débit moyen est bien calée dans l'intervalle de garantie d'exploitation, 4 mois sur 12 connaissent un débit inférieur à celle préconisée par les gestionnaires de la STEP, ce qui peut affecter la performance épuratoire. Les mois dans lesquels on enregistre une baisse de débit sont mars, avril, novembre et décembre.

La comparaison qui doit aussi couvrir les concentrations des polluants cités auparavant, est faite sur la base du domaine de garantie déclaré par le gestionnaire et les concentrations moyennes réelles à l'entrée de la STEP.

Les figures 84, 85 et 86 présentent respectivement la comparaison des concentrations moyennes de la DBO5, DCO et MES à l'entrée de la station avec le domaine de garantie.

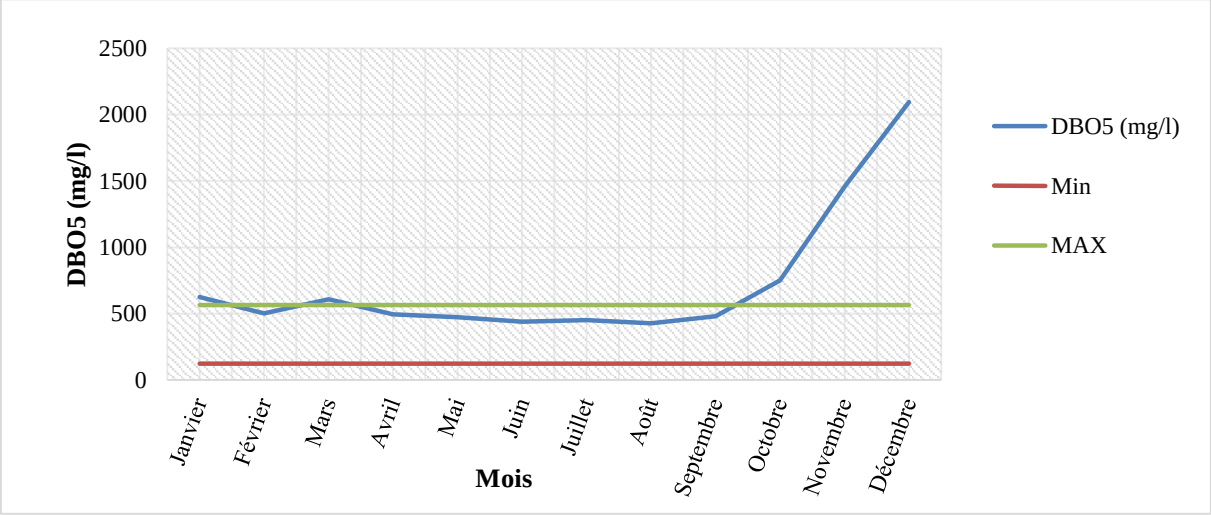


Figure 84 : Concentration de la DBO5 à l'entrée de la STEP et domaine de garantie

La figure 84 présente clairement que les mois allant d'octobre à janvier enregistrent des concentrations de DBO5 supérieures à celles préconisées par les gestionnaires de la STEP.

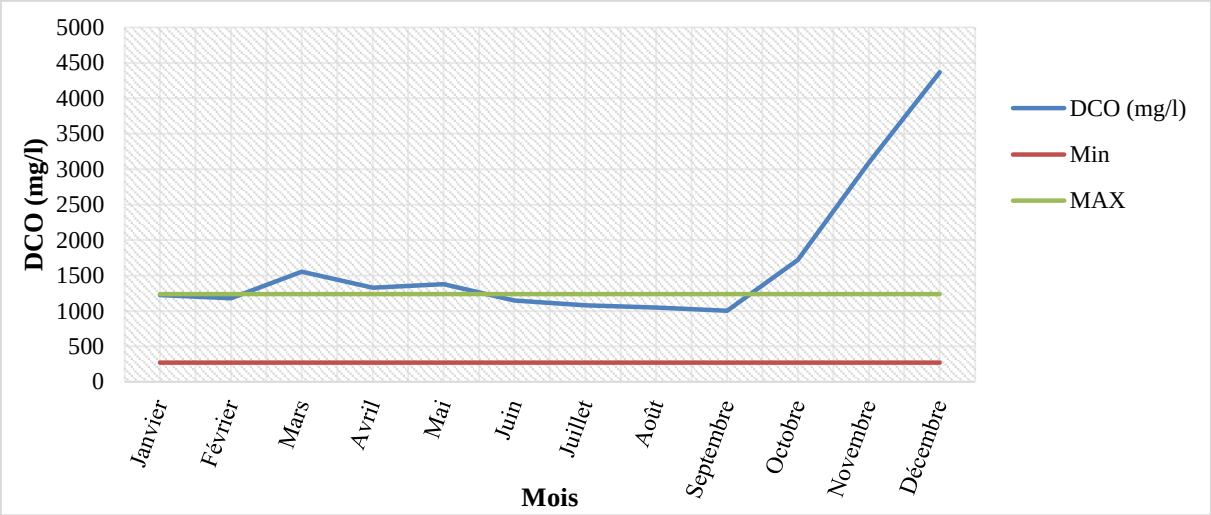


Figure 85 : Concentration de la DCO à l'entrée de la STEP et domaine de garantie

Il s'avère clairement d'après la figure 85 que la DCO enregistre des valeurs supérieures à celles du domaine de garantie pour 6 mois de l'année.

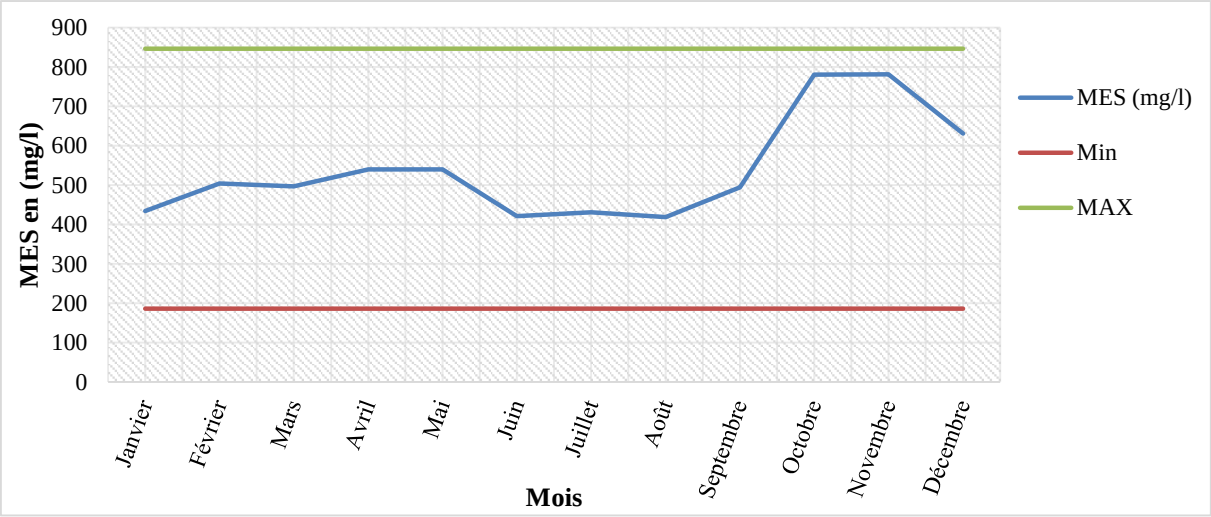


Figure 86 : Concentration de la MES à l'entrée de la STEP et domaine de garantie

Généralement la concentration moyenne en DBO5, DCO et MES à l'entrée de la station d'épuration ne présente pas une valeur inférieure à celle du domaine de garantie, avec un enregistrement des valeurs importantes en DBO5 et DCO en mois d'octobre et novembre, qui peut être expliqué par l'arrivée des premières pluies chargées des sables de lavage des voiries.

II.7. Qualité des eaux épurées

Les données à l'entrée de la station d'épuration peuvent donner des informations sur son fonctionnement, alors que celles à la sortie peuvent éclairer à quel pourcentage la station est capable de traiter les effluents.

Selon les résultats déclarés par les gestionnaires de la station d'épuration, le taux d'abattement de la pollution s'élève à environ 95% pour les matières en suspension (MES), 97% pour la demande biologique en oxygène (DBO5) et 90% pour la demande chimique en oxygène (DCO).

Le tableau ci-après présente les concentrations des paramètres majeurs à l'entrée et à la sortie de la STEP. La comparaison avec les normes de rejet confirme la qualité des eaux épurées est dans les normes (en termes de DBO5, DCO et MES).

Tableau 46 : Concentration de DBO5, DCO et MES à l'entrée et à la sortie de la STEP (2016)

Moyenne annuelle des concentrations	**Entrée STEP**	**Sortie STEP**	**Domaine de garantie**	**Normes rejet (Maroc)**
DBO5 (mg/l)	734	25	< 30	< 120
DCO (mg/l)	1677	185	< 125	< 250
MES (mg/l)	539	30	< 35	< 150

Il ressort que :

- la concentration de la DBO5 à la sortie de la station d'épuration est conforme selon les normes marocaines et les valeurs préconisées par les gestionnaires ;
- la DCO présente une valeur non conforme au domaine de garantie sauf qu'elle est admissible en la comparant avec les normes marocaines du rejet ;
- la concentration de la MES est conforme aux normes et au domaine de garantie.

III. Conclusion

La station d'épuration de la ville de Fès adopte le système d'épuration par boues activées. La charge polluante à l'entrée de cette station présente une fluctuation, la baisse du débit moyen à l'entrée durant certains mois peut être expliquée par le délestage d'une partie du débit par le biais des déversoirs d'orage en amont de la station. Elle est en projet d'extension pour améliorer la qualité du traitement, surtout avec l'accroissement démographique et l'augmentation du débit de pointe à l'entrée. Le principe du dimensionnement de la station d'épuration est détaillé dans le chapitre XI relatif aux solutions proposées.

Chapitre VIII : Etude des risques d'inondation

I. Coefficient de ruissellement

I.1. Définition

Le coefficient de ruissellement représente la partie des précipitations qui ne s'infiltre pas dans le sol et ne s'évapore pas dans l'atmosphère. Dès lors que les capacités de rétention de la végétation et du sol superficiel sont saturées, cette partie s'écoule en surface avant d'atteindre le réseau hydrographique directement ou via un système artificiel d'évacuation (MEEDDAT, 2009).

I.2. Calcul du coefficient de ruissellement Cr

L'expression mathématique du coefficient de ruissellement s'écrit comme suit :

$$Cr = \frac{\sum(\text{Ci x Ai})}{\sum \text{Ai}}$$

Avec :

- Ci : coefficient de ruissellement en une surface Ai ;
- Cr : coefficient de ruissellement du bassin.

Le calcul du coefficient de ruissellement moyen est effectué en se basant sur les surfaces urbanisées (surface du bâti) et les surfaces non urbanisées au fil des années et en affectant à chaque unité de surface le coefficient de ruissellement qui lui correspond.

Tableau 47 : Données de base pour le calcul du coefficient de ruissellement entre 1912 et 2032

	Années	Surfaces du bâti	Cr Bâti	Surfaces terrain naturel	Cr TN	Cr Moyen
Accroissement calculé	1912	175.84	0.90	15824.16	0.30	0.31
	1922	406.03	0.90	15593.97	0.30	0.32
	1932	636.22	0.90	15363.78	0.30	0.32
	1942	866.40	0.90	15133.60	0.30	0.33
	1952	1004.52	0.90	14995.48	0.30	0.34
	1962	1445.35	0.90	14554.65	0.30	0.35
	1972	1780.60	0.90	14219.40	0.30	0.37
	1982	2493.75	0.90	13506.25	0.30	0.39
	1992	3206.62	0.90	12793.38	0.30	0.42
	2002	4912.22	0.90	11087.78	0.30	0.48
	2012	6821.19	0.90	9178.81	0.30	0.56
Accroissement simulé	2022	8238.00	0.90	7762.00	0.30	0.61
	2032	9370.00	0.90	6630.00	0.30	0.65

Le résultat du calcul du coefficient de ruissellement moyen (tableau 47) a permis de tracer le graphe (Fig. 87), il contient deux périodes, une première calculée allant de 1912 à 2012 soit 100 ans et une deuxième simulée.

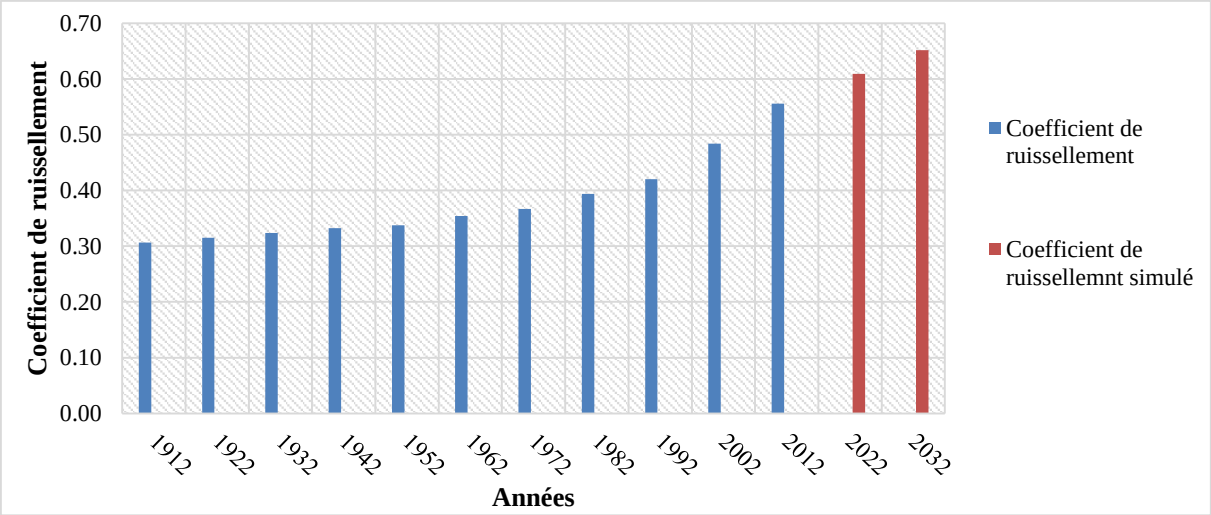


Figure 87 : Accroissement du coefficient de ruissellement entre 1912 et 2032

Le coefficient de ruissellement est passé d'environ 0,31 en 1912 à plus de 0,56 en 2012, il peut atteindre plus de 0,65 en 2032. Cet accroissement est expliqué bien évidemment par l'imperméabilisation des sols liée à l'extension urbaine la ville de Fès.

La reconversion du type d'habitat en immeuble pour les zones villas augmente le débit de pointe des eaux usées et pluviales par unité de surface, le calcul effectué montre que le débit engendré par une zone immeuble (R+4) et le double par rapport à celui engendré par une zone villa (Annexe I.1).

II. Simulation par logiciel HEC-RAS (Amont pont Saâdyine)

II.1. Présentation

Le logiciel utilisé pour la simulation hydraulique nommé HEC-RAS de l'US Army of engineers. C'est un modèle très répandu et couramment utilisé dans le domaine de l'hydraulique fluvial autant en Europe qu'à travers le monde.

La simulation via le modèle HEC-RAS est effectuée en trois parties, une première constitue une base de données contenant toutes les informations de la rivière à savoir les conditions hydrologiques, le coefficient de rugosité, le débit et la lame d'eau ainsi que les informations géométriques ; la deuxième partie est composée des modèles exécutant les calculs du modèle et la troisième partie permet d'afficher graphiquement les résultats afin d'examiner visuellement les résultats de la simulation.

II.2. Préparation des données de base de simulation

Avant l'entame de la simulation hydrologique, il faut d'abord étudier la zone et son entourage topographiquement, hydrologiquement et de point de vue ruissellement.

L'étude topographique a permis de tirer le modèle numérique du terrain qui permet à son tour d'établir la carte des courbes de niveaux et la carte des pentes qui montrent une variation d'altitude sur la totalité du périmètre urbain de la ville de Fès, avec des pentes

relativement fortes au Nord, au Nord Est et à l'Est, et d'autres faibles à l'Ouest notamment le long du lit de l'Oued Fès. Cette étude dévoile une hétérogénéité spatiale, avec une pente dominante de 0 à 15%. L'utilité de cette étude est extrême vu que la pente constitue un paramètre essentiel dans le calcul des débits des eaux pluviales.

La figure 88 est une superposition des sous-bassins versants (SBV) découpés et la carte des pentes. La zone du lit de l'Oued Fès présente de très faibles pentes voire même nulles pour certains tronçons.

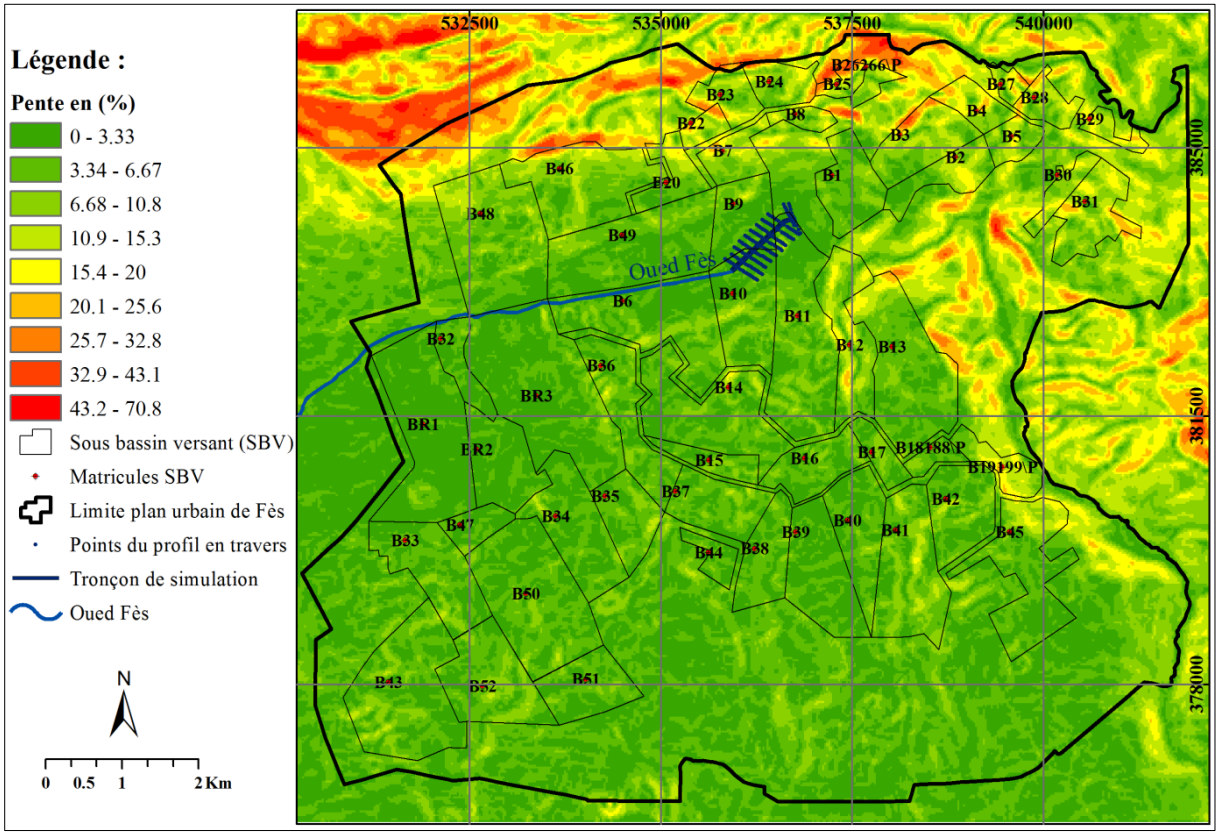


Figure 88 : Carte des pentes et découpage des sous-bassins versants

Dans le but d'estimer le débit généré par une pluie, la ville de Fès a été découpée en plusieurs sous-bassins versants qui se définissent comme étant un secteur géographique drainé par un cours d'eau qui peut être une rivière, une Chaâba ou une canalisation artificielle.

Pour ce faire, un calage de la carte des pentes avec celle des sous-bassins versants a été effectué afin d'avoir une idée sur le cheminement de chaque goutte d'eau tombée sur une surface imperméabilisée, assemblage des sous-bassins versants selon la direction de l'écoulement et déduction des paramètres de calcul.

Tableau 48 : Paramètres de calcul des débits des eaux pluviales

S .B.V.	A Km²	L Km	Dénivelée (m)	I m/km	S.B. V	A Km²	L Km	Dénivelée (m)	I m/km
1	0.80	1.192	24	20.126	**27**	0.16	0.390	17	43.617
2	0.59	1.600	89	55.625	**28**	0.36	0.549	33	60.129
3	0.86	1.342	96	71.553	**29**	0.21	0.387	13	33.569
4	0.42	0.845	74	87.610	**30**	0.31	0.434	12	27.653
5	0.32	0.529	39	73.668	**31**	0.85	1.462	19	12.999
6	1.80	1.658	13	7.841	**32**	0.45	1.515	3	1.981
7	0.45	0.647	62	95.842	**33**	1.19	1.522	20	13.141
8	0.20	0.420	15	35.731	**34**	1.27	1.522	21	13.798
9	0.69	0.953	20	20.993	**35**	0.71	1.002	14	13.976
10	1.20	1.693	24	14.176	**36**	1.07	2.508	25	9.967
11	1.99	3.000	35	11.666	**37**	0.83	1.189	14	11.775
12	1.07	2.187	28	12.805	**38**	0.76	0.574	22	38.331
13	1.93	2.151	49	22.779	**39**	1.23	1.702	21	12.337
14	1.67	2.183	34	15.574	**40**	0.96	1.161	30	25.844
15	0.36	1.559	30	19.248	**41**	1.51	1.942	39	20.078
16	0.71	1.444	14	9.695	**42**	0.94	1.129	20	17.712
17	0.31	1.030	22	21.350	**43**	2.10	2.095	39	18.613
18	0.21	0.710	9	12.682	**44**	0.26	0.790	10	12.659
19	0.45	0.637	40	62.834	**45**	1.54	1.897	86	45.340
20	0.47	0.606	43	70.905	**46**	1.58	1.106	82	74.166
21	0.10	0.293	12	41.001	**47**	0.35	1.027	3	2.921
22	0.21	0.515	34	66.066	**48**	2.10	1.874	100	53.369
23	0.46	0.919	45	48.962	**49**	1.99	2.015	14	6.949
24	0.45	0.818	29	35.458	**50**	2.60	1.884	30	15.923
25	0.19	0.384	18	46.873	**51**	0.83	0.924	15	16.230
26	0.17	0.447	42	94.035	**52**	1.29	1.261	14	11.100
BR3	0.96	1.579	10	6.333	**BR 1**	2.21	2.631	3	1.140
					BR 2	2.84	2.722	12	4.409

Les formules utilisées pour le calcul hydrologique sont présentées sur le tableau 49 et le résultat du calcul hydrologique est présenté dans le tableau 50.

Tableau 49 : Formules utilisées pour le calcul hydrologique

Formule	Formule	Condition	Observation
Rationnelle	$Q_T = \frac{1}{3.6} \cdot C \cdot i \cdot A$	A <25Km²	**Q** : Débit moyen en m3/s **C** : Coefficient de ruissellement **i** : l'intensité en mm/h **A** : Surface du bassin ha. **P** : Précipitations maximales en 24 h en mm **I** : pente en m/km. **H** : Précipitation maximale en 1h **K** : Coefficient topographique
Burkli Ziegler	$Q = 0.0039 . C \cdot H_{1H} \cdot A^{0.75} I^{0.25}$	A < 10 Km²	
Mac-Math	$Q = K \cdot P \cdot A^{0.58} \cdot I^{0.42}$	A < 1 Km²	

Le débit adopté pour le dimensionnement des ouvrages est le maximum de ces trois débits calculés des formules présentées sur le tableau 49.

Tableau 50 : Résultat du calcul hydrologique

B.V.	Mac Math (l/s)	Rationnelle (l/s)	Burkli Ziegler (l/s)	"adopté" Q (m3/s)
1	1036.92	3486.63	2202.34	**3.49**
2	1332.00	4018.72	3073.60	**4.02**
3	1852.96	6525.38	4246.31	**6.53**
4	1326.10	4207.81	2517.69	**4.21**
5	1062.91	3904.46	1958.77	**3.90**
6	A>1Km²	6105.24	3978.28	**6.11**
7	1442.17	4782.92	2477.08	**4.78**
8	586.62	2049.76	1015.83	**2.05**
9	969.02	2798.97	1634.16	**2.80**
10	A>1Km²	4485.35	3119.64	**4.49**
11	A>1Km²	5598.78	4656.22	**5.60**
12	A>1Km²	3794.00	3040.19	**3.79**
13	A>1Km²	8227.35	5825.01	**8.23**
14	A>1Km²	5680.01	4180.37	**5.68**
15	642.83	1384.67	1154.31	**1.38**
16	711.64	2393.17	1710.22	**2.39**
17	613.17	1843.23	1294.83	**1.84**
18	389.52	1715.93	1094.83	**1.72**
19	1199.03	5608.08	2893.20	**5.61**
20	1294.42	5764.36	2880.25	**5.76**
21	431.04	1714.28	804.39	**1.71**
22	794.91	2999.05	1609.43	**3.00**
23	1098.68	4302.29	2633.69	**4.30**
24	950.12	4179.15	2432.48	**4.18**
25	637.84	2950.17	1412.19	**2.95**
26	803.25	2994.07	1571.70	**2.99**
27	563.14	2469.02	1227.75	**2.47**
28	1031.09	5120.98	2569.87	**5.12**
29	598.06	3163.73	1488.79	**3.16**
30	680.61	3945.75	1839.32	**3.95**
31	898.52	4756.78	3286.50	**4.76**
32	279.39	1161.34	956.64	**1.16**
33	A>1Km²	6452.95	4282.73	**6.45**
34	A>1Km²	6254.73	4099.71	**6.25**
35	832.70	4748.73	2842.12	**4.75**
36	A>1Km²	4091.10	3509.39	**4.09**
37	846.41	4510.34	2854.14	**4.51**
38	1318.10	8058.05	3630.55	**8.06**
39	A>1Km²	5517.98	3839.84	**5.52**
40	1283.94	6285.73	3777.29	**6.29**
41	A>1Km²	7227.65	5111.66	**7.23**
42	1079.71	5703.44	3420.92	**5.70**
43	A>1Km²	8771.11	6067.48	**8.77**
44	443.93	1805.93	1162.41	**1.81**
45	A>1Km²	7556.17	5215.06	**7.56**
46	A>1Km²	12331.25	6539.84	**12.33**
47	287.38	1496.53	1062.40	**1.50**
48	A>1Km²	14141.84	9145.29	**14.14**
49	A>1Km²	7195.44	5048.33	**7.20**
50	A>1Km²	11890.99	7576.06	**11.89**
51	969.82	6531.28	3657.22	**6.53**
52	A>1Km²	6700.39	4041.76	**6.70**
BVR 1	A>1Km²	3802.47	3145.33	**3.80**
BVR 2	A>1Km²	5904.32	4531.90	**5.09**
BVR 3	708.91	3976.26	2835.28	**2.65**

II.3. Simulation du tronçon amont pont Saâdyine

Généralement l'accouplement de HEC-RAS et Arcgis (HEC-GEORAS) donne des résultats satisfaisants pour une simulation hydrologique d'un cours d'eau, c'est dans cette optique qu'on a opté pour cette démarche d'étude dont la méthodologie repose sur différentes étapes :

- création du terrain naturel : constitue l'entame du travail, elle se fait à la base du levé topographique (x,y,z) et non pas sur la MNT pour avoir une précision d'altitudes ;
- création et traçage des layers : il s'agit de définir les différentes couches à associer pour lancer la simulation, l'axe de la rivière, les berges et les coupes transversales (cross-sections) ;
- affectation de coefficient de Manning ;
- attribution des élévations (côte) pour chaque layer et exportation des données vers HEC-RAS ;
- insertion des donnés du débit (données du tableau 50) et implantation des ouvrages d'art (dalot triple du pont Saâdyine) ;
- Simulation hydrologique par le biais d'HEC-RAS selon deux périodes de retour différentes, décennale (Q10) et centennale (Q100).

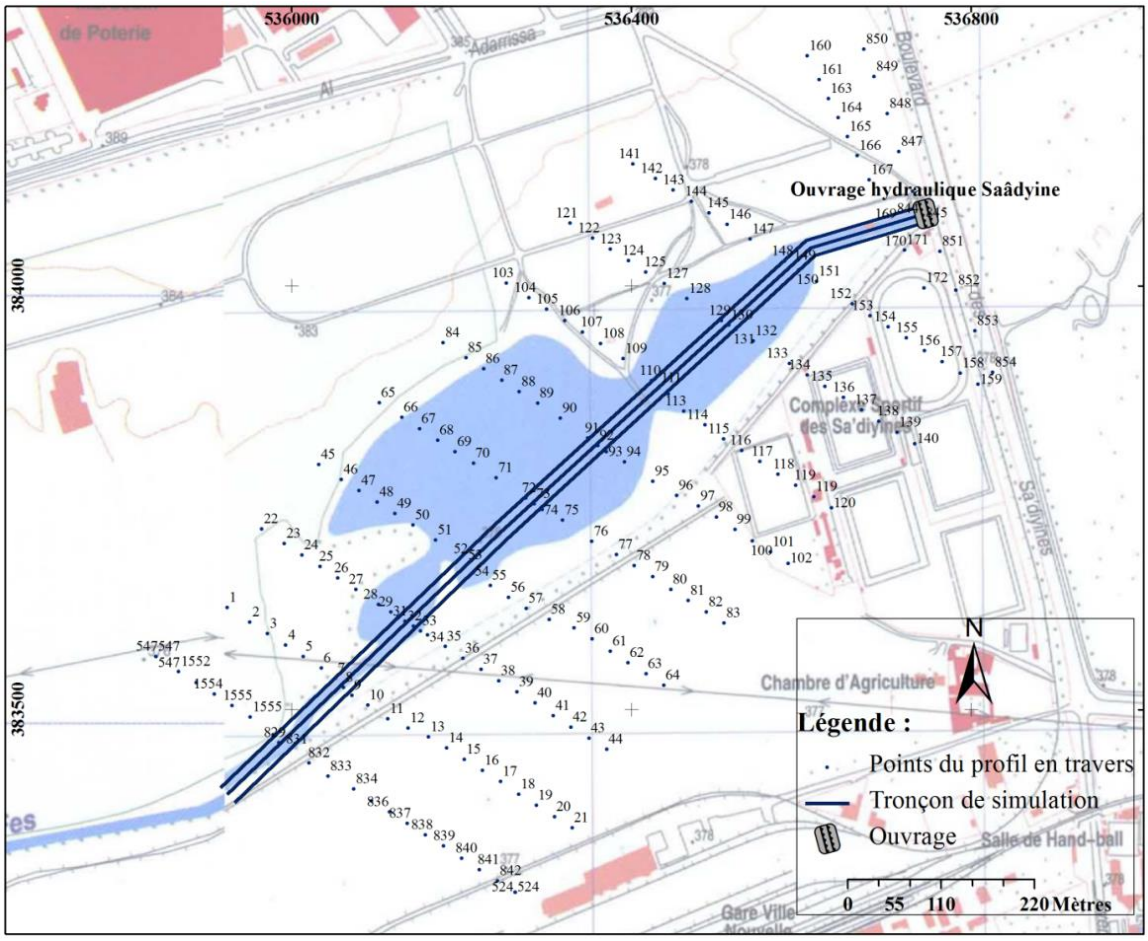


Figure 89 : Tronçon de simulation hydrologique (amont pont Saâdyine)

III. Surcharge des collecteurs

III.1. Réseau principal d'évacuation

Le réseau d'assainissement de la ville de Fès est décomposé en réseaux primaire, secondaire et tertiaire, il est constitué de différents diamètres allant de DN 400 mm à plus de DN 1400 mm pour les conduites circulaires en plus des canalisations ovoïdales.

Le problème qui peut se poser dans ce sens a une relation directe avec l'extension urbaine, comme il a été déjà constaté et expliqué dans le chapitre III, la ville de Fès enregistre depuis de nombreuses années une extension urbaine vers le Sud, le Sud-Ouest et l'Ouest, tandis que l'écoulement se fait en contre-sens avec cette extension ; cela explique la raison de la sursaturation des conduites posées avant l'extension urbaine.

III.2. Calcul des débits de pointe

Afin de calculer les débits de pointe générés par chaque sous-bassin versant, il est primordial de définir certains paramètres à savoir la surface, la pente moyenne et le coefficient de ruissellement équivalent. Ces paramètres dont les formules sont déjà citées dans le chapitre V constitueront la base de calcul du débit de pointe généré par chaque sous-bassin versant.

Tableau 51 : Paramètres de calcul (caractéristiques des sous-bassins versants)

Sous-bassins versants	Longueur Hydraulique (m)	I moyenne %	K	Surface A (ha)	M
BAB SIFFER	1700.52	4.31	1.909	106.201	1.65
BOUFEKRANE	5218.47	2.85	1.909	654.633	2.04
MASSIRA DOKKARAT	8872.93	0.38	1.909	1883.34	2.04
MEDINA	1589.73	0.58	1.909	431.813	0.77
MIYET	4957.24	0.6	1.909	471.687	2.28
MY ABDELLAH	4666.1	1.09	1.909	1149.37	1.38
NORD	3430.2	0.91	1.909	444.585	1.63
SAHRIJ GNAOUA	3233.46	5.47	1.909	342.126	1.75
SIDI BRAHIM	4018.02	1.58	1.909	349.443	2.15
SUD	5495.98	1.22	1.909	246.216	3.50
VILLA	6659.5	1.12	1.909	1213.72	1.91
WEST	6414.5	0.8	1.909	487.66	2.90
WIFAK	6140.73	1.08	1.909	1002.89	1.94
Intercepteur Aval	2468.86	2.96	1.909	131.13	2.16

Le tableau 52 représente les résultats du calcul de Qpc par tronçon étudié et par sous-bassin versant.

Tableau 52 : Débit de pointe par collecteur et par bassin versant

BV	Collecteur	Qpc m^3/s	BV	Collecteur	Qpc m^3/s
BAB SIFFER	BAB SIFFER	1.18	VILLA	BEN ABD ALLAH	0.63
	BAB SIFFER	4.59		BEN ABD ALLAH	1.65
	BAB SIFFER	8.51		VILLAS	6.01
MAS-DOK	MAS-DOK	0.37	SUD	SUD	1.27
	MAS-DOK	2.68		SUD	1.34
	MAS-DOK	3.28	WEST	WEST	2.47
	MAS-DOK	4.15		WEST	4.74
	MAS-DOK	4.71		WEST	4.55
MIYET	Miyet G	1.65		WEST	6.70
	Miyet D	1.93		WEST	9.97
	Miyet	5.26		HIMER I	0.63
	Miyet	0.82		HIMER I	3.09
My Abdellah	My Abdellah	2.79		HIMER II	1.01
	My Abdellah	4.43		HIMER II	6.59
	My Abdellah	15.57	WIFAQ	WIFAQ	1.68
	My Abdellah	18.20		WIFAQ	3.58
NORD	Hypodrome	2.46		WIFAQ	3.49
	NORD	22.22		WIFAQ	3.61
SIDI BRAHIM	S-BRAHIM	1.09		WIFAQ	2.16
	S-BRAHIM	5.11	**Calcul vérifié par Bassin versant, délimité par Autocad-Covadis, - calcul effectué par Excel-**		
	S-BRAHIM	8.46			
	S-BRAHIM	8.98			
BOUFEKRANE	BOUFEKRANE	1.96			

IV. Résultats obtenus

IV.1. Tronçon amont pont Saâdyine

L'étude et la simulation hydrologique ont été appliquées sur deux périodes de retour différentes Q10 et Q100. Les résultats montrent que durant une crue centennale Q100 l'ouvrage Saâdyine (dalot triple ouvertures) ne sera pas capable d'acheminer les débits de pointe, ce débit est largement supérieur à son débit critique, ce qui rend sa zone amont plus exposée à une éventuelle inondation et la présence d'une plaine à faible pente le long de l'Oued accentue le risque est rend cette zone plus exposée à des stagnations des eaux pluviales. Le résultat de la simulation des plaines inondables montre la présence d'une surface inondable d'environ 1.42 km².

L'étalement de la surface que peut couvrir la crue Q10 arrive à 0.49 km² soit 34.50% de la totalité de surface de la plaine inondable, cet étalement est dû principalement à la stagnation des eaux pluviales et au ruissellement avec la présence de zones de dépression favorisant leur stagnation, par ailleurs l'ouvrage est capable d'acheminer le débit de pointe à Q10, tandis que l'ouvrage ne sera pas capable d'acheminer le débit Q100. La surface inondable s'élève à environ 0.86 km² soit 60.56% totalité de surface de la plaine inondable (Couscous et al., 2015).

La figure 90 présente le résultat graphique de la simulation hydrologique de la zone amont du pont Saâdyine.

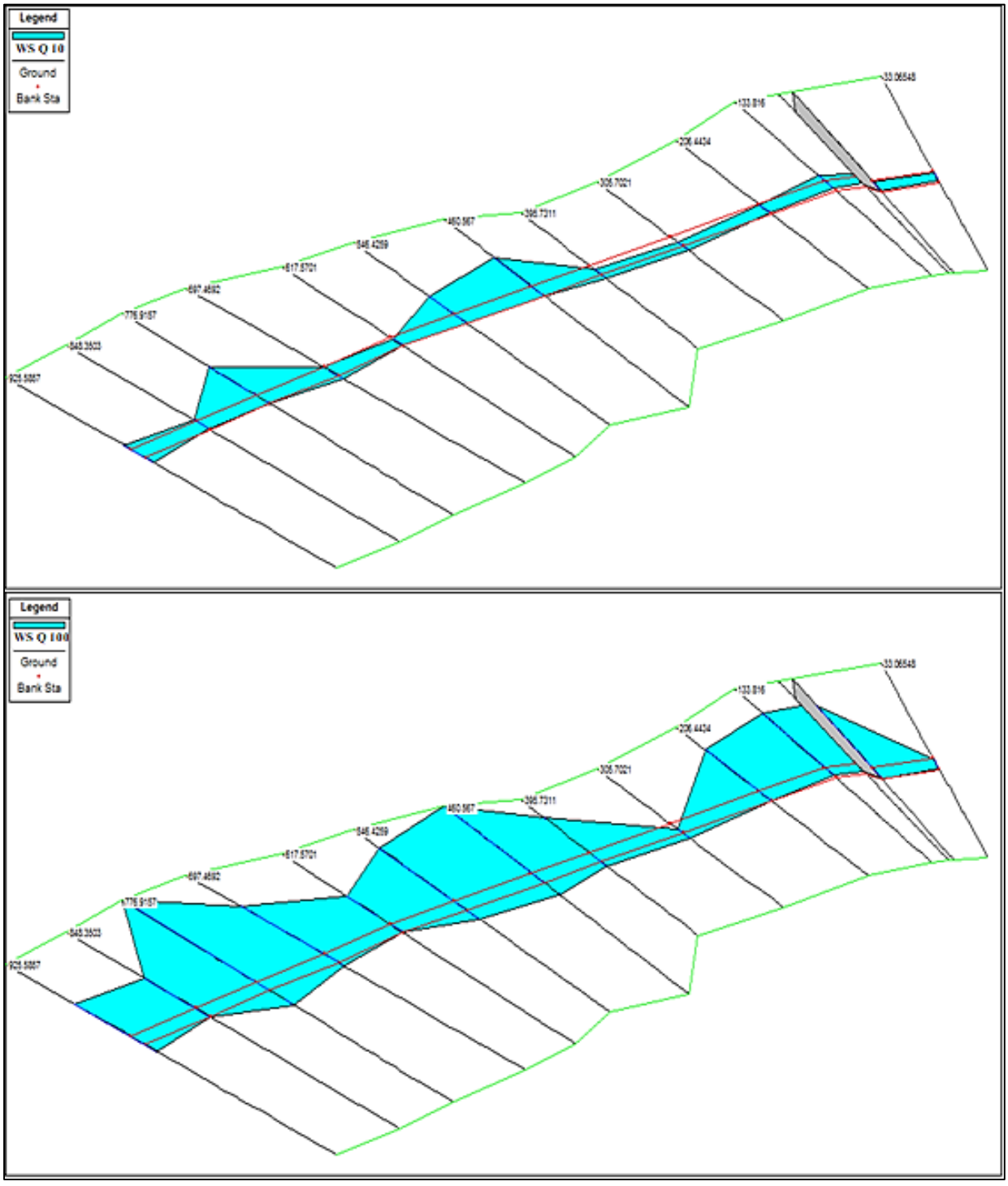


Figure 90 : Résultats de la simulation hydrlogique Q10 et Q100

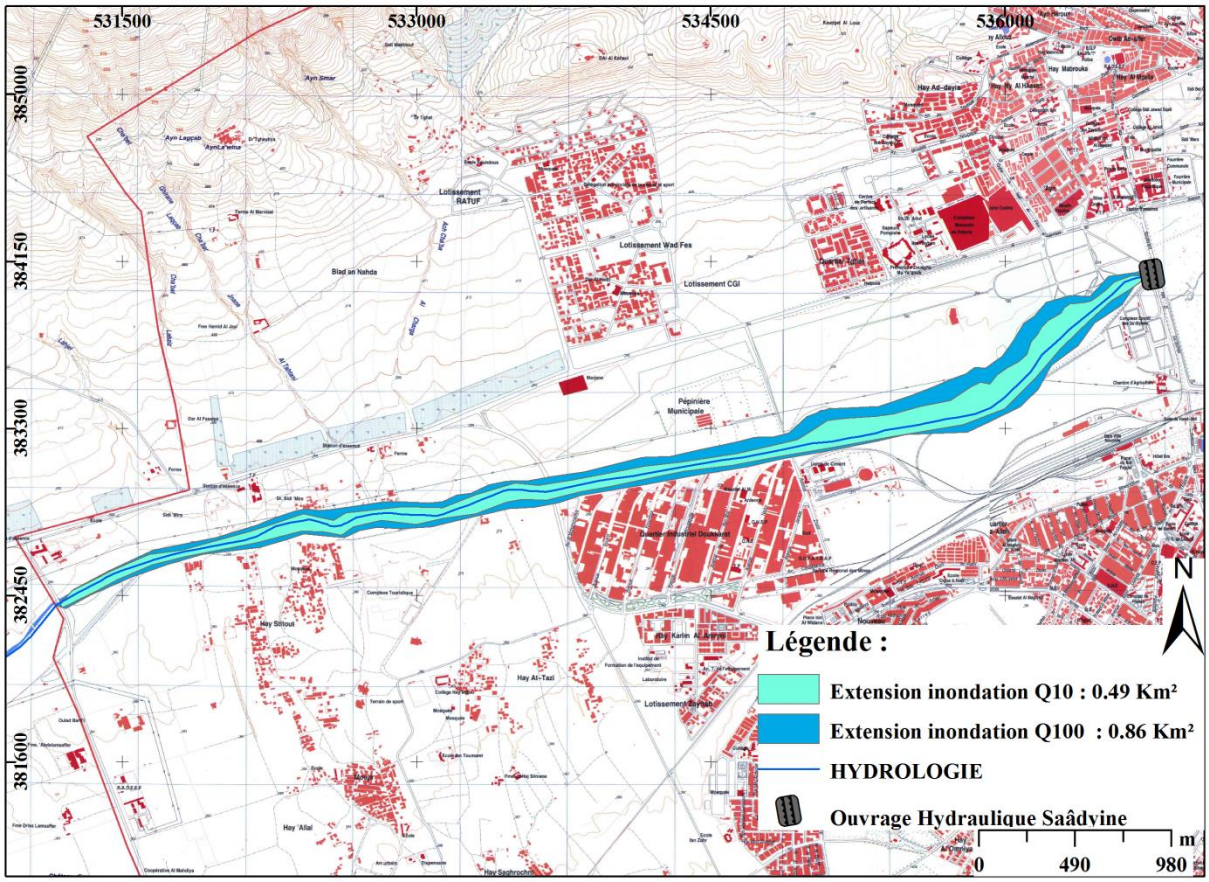


Figure 91 : Extension de l'inondation Q10 et Q100

IV.2. Réseau d'assainissement

Après avoir calculé les débits de pointes dans différents points du réseau d'assainissement, le calcul de la vitesse d'écoulement en conditions normalisées ne doit pas dépasser 4.5 m/s, une vitesse excessive est considérée un signal d'alarme indiquant la saturation ou la surcharge du tronçon étudié.

Le résultat de calcul de la vitesse réelle d'écoulement présenté dans le tableau 53 montre que la majorité des collecteurs étudiés présentent des vitesses d'écoulement excessives et donc une plus grande vulnérabilité des éventuels débordements.

Tableau 53 : Vitesse d'écoulement des collecteurs principaux d'assainissement

BV	Collecteur	Qpc m3/s	I en m/m	Section existante (mm)	Vr m/s	Condition vitesse
BAB SIFFER	BAB SIFFER	1.18	0.0202	600	4.19	assuré
	BAB SIFFER	4.59	0.018	1000	5.85	non assuré
	BAB SIFFER	8.51	0.019	1000	10.84	non assuré
MASSIRA-DOKARAT	MAS-DOK	0.37	0.0038	400	2.96	assuré
	MAS-DOK	2.68	0.0035	1000	3.41	assuré
	MAS-DOK	3.28	0.0039	1000	4.17	assuré
	MAS-DOK	4.15	0.0034	1000	5.29	non assuré
	MAS-DOK	4.71	0.0034	1200	4.16	assuré
MIYET	Miyet Gauche	1.65	0.0062	500	8.39	non assuré
	Miyet Droit	1.93	0.006	500	9.83	non assuré
	Miyet	5.26	0.0066	600	18.60	non assuré
	Miyet	0.82	0.0069	500	4.20	assuré
My Abdellah	My Abdellah	2.79	0.0109	600	9.86	non assuré
	My Abdellah	4.43	0.012	800	8.80	non assuré
	My Abdellah	15.57	0.0108	1400	10.12	non assuré
	My Abdellah	18.20	0.0105	1400	11.82	non assuré
NORD	Hypodrome	2.46	0.0102	600	8.71	non assuré
	NORD	22.22	0.0108	1600	11.05	non assuré
SIDI BRAHIM	S-BRAHIM	1.09	0.0109	600	3.87	assuré
	S-BRAHIM	5.11	0.015	1027	6.17	non assuré
	S-BRAHIM	8.46	0.01	1392	5.56	non assuré
	S-BRAHIM	8.98	0.011	1392	5.90	non assuré
BOUFEKRANE	BOUFEKRANE	1.96	0.0285	600	6.92	non assuré
VILLA	BEN ABD ALLAH	0.63	0.0352	400	5.00	non assuré
	BEN ABD ALLAH	1.65	0.0298	600	5.83	non assuré
	VILLA	6.01	0.0198	1027	7.25	non assuré
SUD	SUD	1.27	0.0155	600	4.50	assuré
	SUD	1.34	0.0157	600	4.75	non assuré
WEST	WEST	2.47	0.143	500	12.59	non assuré
	WEST	4.74	0.0122	1000	6.04	non assuré
	WEST	4.55	0.0126	1027	5.50	non assuré
	WEST	6.70	0.0133	1027	8.09	non assuré
	WEST	9.97	0.0139	1392	6.55	non assuré
	HIMER I	0.63	0.0125	500	3.23	assuré
	HIMER I	3.09	0.0175	800	6.15	non assuré
	HIMER II	1.01	0.0179	500	5.12	non assuré
	HIMER II	6.59	0.0177	1027	7.95	non assuré
WIFAQ	WIFAQ	1.68	0.0087	800	3.35	assuré
	WIFAQ	3.58	0.0088	1000	4.56	non assuré
	WIFAQ	3.49	0.0085	1027	4.21	assuré
	WIFAQ	3.61	0.0079	1027	4.35	assuré
	WIFAQ	2.16	0.0081	800	4.31	assuré

L’insuffisance hydraulique a été chiffrée de façon à déterminer à quel pourcentage les collecteurs peuvent être saturés, le tableau 54 synthétise le résultat du calcul de l’insuffisance hydraulique des collecteurs étudiés.

Tableau 54 : Pourcentage d'insuffisance des collecteurs étudiés

BV	Collecteur	Section existante en mm	I en %	Qps en m3/s	Qpc en m3/s	% d'insuffisance
BAB SIFFER	BAB SIFFER	600	2.02	0.97	1.18	18.21
	BAB SIFFER	1000	1.80	3.73	4.59	18.91
	BAB SIFFER	1000	1.90	3.83	8.51	55.05
MASSIRA-DOKARAT	MAS-DOK	400	0.38	0.14	0.37	62.92
	MAS-DOK	1000	0.35	1.64	2.68	38.70
	MAS-DOK	1000	0.39	1.73	3.28	47.08
	MAS-DOK	1000	0.34	1.62	4.15	61.01
	MAS-DOK	1200	0.34	2.67	4.71	43.24
MIYET	Miyet G	500	0.62	0.33	1.65	80.28
	Miyet D	500	0.60	0.32	1.93	83.43
	Miyet	600	0.66	0.55	5.26	89.47
	Miyet	500	0.69	0.34	0.82	58.40
My Abdellah	My Abdellah	600	1.09	0.71	2.79	74.49
	My Abdellah	800	1.20	1.65	4.43	62.79
	My Abdellah	1400	1.08	7.28	15.57	53.26
	My Abdellah	1400	1.05	7.18	18.20	60.56
NORD	Hypodrome	600	1.02	0.69	2.46	72.06
	NORD	T220	1.08	10.51	22.22	52.69
SIDI BRAHIM	S-BRAHIM	600	1.09	0.71	1.09	53.85
	S-BRAHIM	T130	1.50	3.66	5.11	39.59
	S-BRAHIM	T180	1.00	6.90	8.46	22.67
	S-BRAHIM	T180	1.10	7.23	8.98	19.47
BOUFEKRANE	BOUFEKRANE	600	2.85	1.15	1.96	70.00
VILLA	BEN ABD ALLAH	400	3.52	0.42	0.63	50.00
	BEN ABD ALLAH	600	2.98	1.18	1.65	40.00
	VILLA	T130	1.98	4.20	6.01	42.94
SUD	SUD	600	1.55	0.85	1.27	50.00
	SUD	600	1.57	0.85	1.34	57.14
WEST	WEST	500	14.3	1.56	2.47	58.33
	WEST	1000	1.22	3.07	4.74	54.55
	WEST	T130	1.26	3.35	4.55	35.81
	WEST	T130	1.33	3.45	6.70	94.48
	WEST	T180	1.39	8.13	9.97	22.67
	HIMER I	500	1.25	0.46	0.63	37.50
	HIMER I	800	1.75	1.99	3.09	55.56
	HIMER II	500	1.79	0.55	1.01	82.14
	HIMER II	T130	1.77	3.98	6.59	65.77
WIFAQ	WIFAQ	800	0.87	1.40	1.68	20.00
	WIFAQ	1000	0.88	2.60	3.58	37.50
	WIFAQ	T130	0.85	2.75	3.49	26.64
	WIFAQ	T130	0.79	2.66	3.61	35.81
	WIFAQ	800	0.81	1.35	2.16	60.00

Le pourcentage d'insuffisance est un indice calculé en se basant sur le rapport entre le débit de pointe écoulé et le débit à pleine section que peut transporter un collecteur quelconque.

Afin de minimiser l'insuffisance hydraulique, il est préférable d'agrandir le diamètre de certains collecteurs et dévier des collecteurs vers d'autres moins chargés si c'est possible ; le chapitre X relatif aux solutions proposés contient le calcul des diamètres proposés pour minimiser cette insuffisance.

La figure 92 représente les tronçons les plus vulnérables à des éventuelles saturations. Il est à signaler que cette surcharge est gérée par le biais des déversoirs d'orage qui sont répartis sur différents points de la ville, une solution non durable avec l'extension rapide de la ville en amont des réseaux existants et qui oblige les gestionnaires du réseau d'assainissement à jeter une partie de la pollution directement dans les Oueds traversant la ville afin de soulager les conduites avals.

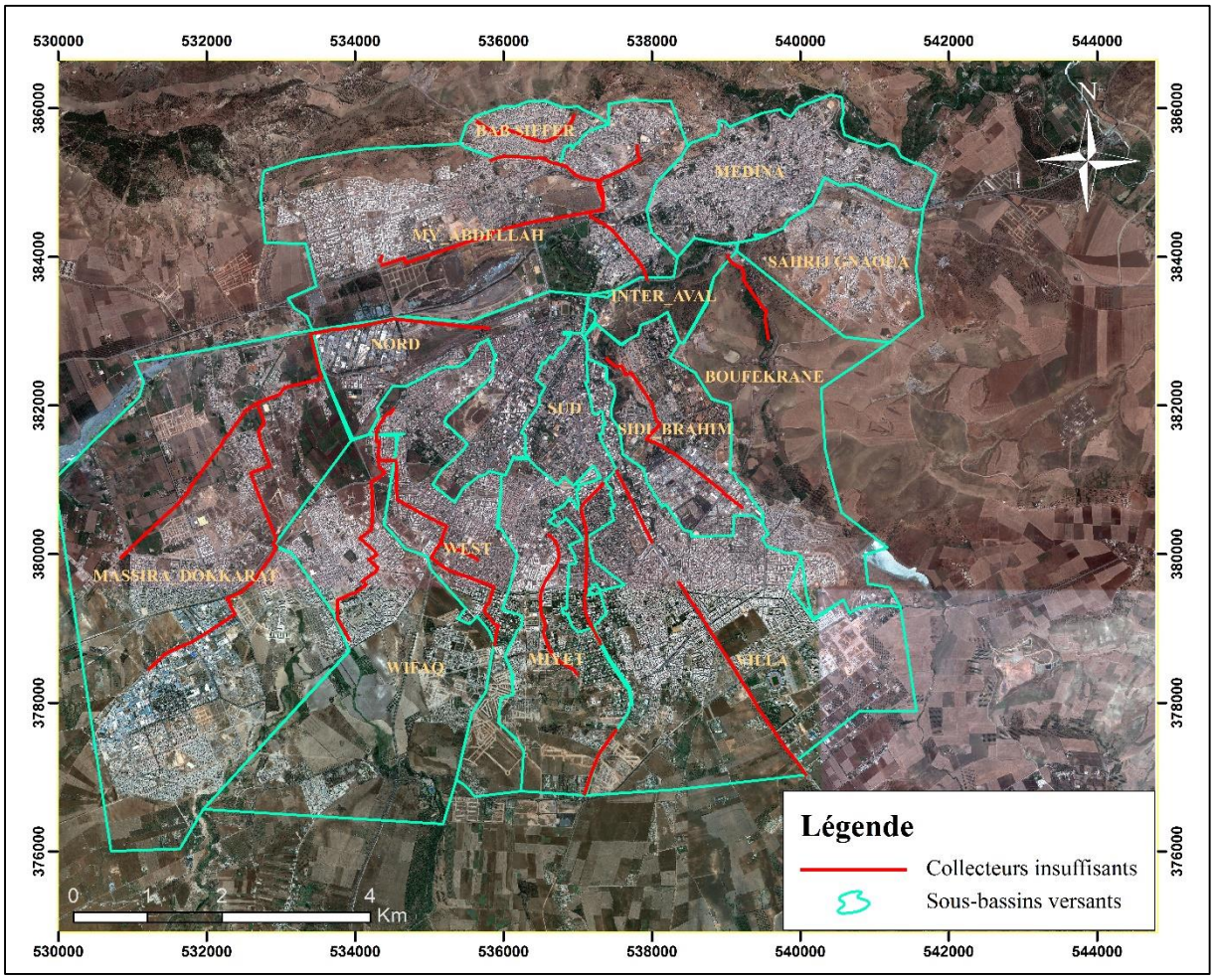


Figure 92 : Tronçons des collecteurs vulnérables à la saturation

L'étude des collecteurs d'assainissement liquide est effectuée pour examiner leur capacité d'évacuation face à une averse décennale (T10) et elle a démontré la vulnérabilité de certains d'entre eux à une éventuelle saturation.

Le pourcentage d'insuffisance hydraulique des collecteurs étudiés varie entre 18.21% et 94.48%. Ces pourcentages peuvent être réduits par l'amélioration des conditions d'écoulement à savoir l'adoption des conduites ayant des sections plus grandes et le chemisage de ces collecteurs en vue de minimiser leur rugosité. Il s'avère aussi clairement qu'avec une extension urbaine en amont du réseau d'assainissement existant les collecteurs avals seront plus exposés à des surcharges fréquentes durant la période pluvieuse de période de retour décennale (T10).



Photo 1 : Stagnation des eaux pluviales au niveau du pont Zouagha (13/10/2016)



Photo 2 : Débordement du collecteur Nord (13/10/2016)

V. Conclusion

Plusieurs collecteurs du réseau d'assainissement présentent une insuffisance hydraulique, accentuée par l'extension urbaine et l'usage non conforme du réseau. Des débordements de plusieurs collecteurs ont eu lieu en temps pluvieux notamment au niveau des quartiers Merja, Hay Azzallah Dokkarat et la partie basse de l'avenue Ibn Khatib. L'ouvrage dalot triple objet de la simulation hydrologique est incapable d'acheminer les débits de pointe des eaux pluviales pour la période de retour décennale et centennale, avec une zone amont qui devient vulnérable à des éventuels débordements.

Afin d'éviter les risques de débordement, il est indispensable de mettre en place une stratégie de réhabilitation des collecteurs présentant une insuffisance hydraulique et un recours vers les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales pour le laminage des débits de pointe en amont.

Chapitre IX : Réutilisation des eaux pluviales et épurées

I. Champs Agricoles adjacents à la STEP

I.1. Délimitation des espaces agricoles

La réutilisation des eaux épurées pour des fins agricoles semble être l'une des solutions durables pour protéger la ressource naturelle (nappe souterraine), la station d'épuration (STEP) de la ville de Fès est localisée dans une zone riche en espace agricole et en diversité de production. La délimitation des espaces agricoles a pour objet de déterminer les besoins en eau d'irrigation de ces champs, afin de les comparer avec le débit des eaux épurées et vérifier si ces dernières peuvent être une ressource potentielle d'irrigation.



Figure 93 : Situation des champs agricoles par rapport à la station d'épuration (Vue Google Map)

Les espaces agricoles de cette zone sont généralement à la propriété des agriculteurs qui y sont installés depuis de nombreuses années, profitant des conditions naturelles (présence du cours d'eau, nappe…) ; on peut qualifier cette agriculture de vivrière du fait que la majorité des produits est tournée directement à l'autoconsommation et une autre partie est placée sur le marché.

La majorité des agriculteurs de cette zone n'ont pas d'autres ressources financières, pour eux, l'activité agricole peut être considérée comme la ressource principale qui peut générer des revenus. Une mise à niveau et un développement des systèmes d'irrigation doit être mis en place afin de rendre cette activité agricole plus productive en qualité et en quantité.

La mise en place des systèmes d'irrigation (notamment l'irrigation localisée) peut avoir un impact considérable sur cette zone, l'utilisation des fertilisants peut dans ce cas être plus raisonnable (l'injection des fertilisants par ferti-irrigation), notamment avec la subvention de

l'état (FDA) des projets d'équipement en système d'irrigation localisée (goutte à goutte) qui peut être un catalyseur de développement de cette zone.

La surface totale exploitable des champs agricoles adjacents à la station d'épuration s'élève à plus de 84 ha. Les cultures pratiquées sont généralement les céréales, le maraîchage et l'olivier.

I.2. Calcul des besoins en eau d'irrigation

Le calcul des besoins en eau d'irrigation repose sur les paramètres d'évapotranspiration de la zone, les paramètres pluviométriques et la surface exploitable.

$$Bn = \frac{(ET0 \times Kc \times Kr)}{Ea}$$

Avec

- Bn : besoins nets en eau d'arrosage
- ET_0 : évapotranspiration de référence en mm/j ;
- Kc : coefficient cultural ;
- Kr : coefficient de rationnement par stades ;
- Ea : coefficient d'application de l'eau à la parcelle.

Tableau 55 : Evapotranspiration de référence (ET0) mensuelle (ABHS, 2015)

	Sept	**Oct**	**Nov**	**Déc**	**Jan**	**Fév.**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Août**
ET_0 (mm/jour)	4.33	2.9	1.87	1.29	1.23	1.54	2.03	2.63	3.48	4.97	6.45	6.03
Jour par mois	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31
ET_0 (mm/mois)	129.9	89.9	56.1	39.99	38.13	43.12	62.93	78.9	107.88	149.1	199.95	186.93

La valeur de l'évapotranspiration de référence (ET0) varie durant les mois, elle atteint sa valeur maximale en Juillet avec 199.95 mm.

I.3. Résultats obtenus

Sachant que le transfert de la pluviométrie du mm en m^3 a été fait par le biais de la formule : 1mm = 10 m^3/ha. Le tableau 56 représente le résultat de calcul des besoins en eau d'irrigation de champs agricoles adjacents à la station d'épuration.

Tableau 56 : Besoins mensuels en eau d'irrigation des champs agricoles adjacents à la station d'épuration

Mois	**Sept.**	**Oct.**	**Nov.**	**Déc.**	**Jan.**	**Fèv.**
Besoin Brut (m^3/mois)	42600.71	29482.71	18398.00	13114.72	12504.73	14141.20
Mois	**Mar.**	**Avr.**	**Mai.**	**Juin**	**Juil.**	**Août**
Besoin Brut (m^3/mois)	20637.89	36225.36	49530.94	73346.0	104917.7	98085.91

Les besoins en eau d'irrigation font l'objet d'une comparaison avec la pluviométrie moyenne mensuelle afin de déduire le volume manquant à la satisfaction complète des besoins en eau de ces champs agricoles.

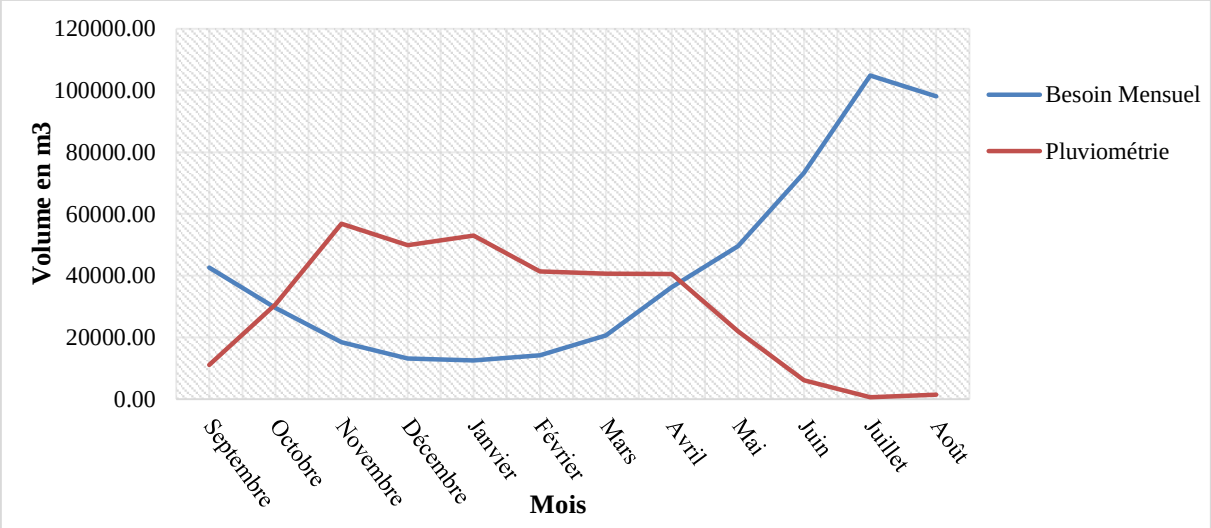


Figure 94 : Besoins en eau d'irrigation et pluviométrie mensuelle

D'après la courbe (Figure 94), on constate la présence de deux périodes : la première allant du mois d'Octobre jusqu'à Avril où la pluviométrie peut satisfaire les besoins en eau d'irrigation, et la deuxième allant de Mai à Septembre où l'irrigation s'impose du fait que la demande en eau dépasse la pluviométrie enregistrée.

L'irrigation des champs agricoles se fera durant la période allant de Mai à Septembre, car c'est celle qui connait la plus faible pluviométrie et la plus forte demande.

Le calcul des volumes d'eau d'irrigation demandés s'effectue par la différence des besoins en eau et la pluviométrie. Le tableau 57 présente les volumes d'eau des champs agricoles à fournir pendant les mois moins pluvieux.

Tableau 57 : Volumes d'eau d'irrigation mensuels demandés

	Volume précipitation (m3)	Besoins (m^3)	V – B
Septembre	11005.065	42600.71	- 31 595.64
Octobre	30645.522	29482.71	1 162.82
Novembre	56855.286	18398.00	38 457.29
Décembre	49872.762	13114.72	36 758.04
Janvier	53026.704	12504.73	40 521.97
Février	41397.597	14141.20	27 256.39
Mars	40647.06	20637.89	20 009.17
Avril	40579.596	36225.36	4 354.24
Mai	21976.398	49530.94	- 27 554.55
Juin	6029.595	73346.02	- 67 316.42
Juillet	539.712	104917.76	- 104 378.05
Août	1391.445	85825.17	- 84 433.73

Les résultats des calculs (Tableau 57) montrent que la période allant de Mai à Septembre présente des besoins max que seules les précipitations ne peuvent pas satisfaire et le volume

annuel total manquant pour une irrigation satisfaisante des champs s'élève à 315 278,39 m^3 (somme des valeurs négatives du produit V-B).

Le volume annuel total manquant à l'irrigation des champs agricoles avoisinants à la station d'épuration peut être largement satisfait du fait que cette dernière rejette un débit d'eau épurée fluctuant entre 0.48 et 1.5 m^3/s, et si on prend en considération juste le débit minimum, les besoins en eaux d'irrigation peuvent être largement satisfaits.

I.4. Qualité des eaux épurées

Les paramètres fixés pour évaluer la qualité des eaux épurées sont : Aluminium, Cadmium, Chrome, Cuivre, Plomb, DBO_5 (demande biologique en oxygène), DCO (demande chimique en oxygène), MES (matière en suspension).

Ces paramètres sont pris comme indicateurs de pollution et/ou de toxicité, la présence à des concentrations élevées de l'un d'entre eux rend l'irrigation impossible. Le tableau ci-après présente les valeurs des concentrations mesurées à la sortie de la station d'épuration.

Tableau 58 : Résultats de l'analyse des eaux épurées

Paramètres	Valeur mesurée
Al (mg/l)	< 0.01
Cd (mg/l)	< 0.01
Cr (mg/l)	< 0.01
Cu (mg/l)	0.08
Pb (µg/l)	0.05
DBO5 (mg/l)	30
DCO (mg/l)	125
MES (mg/l)	35

Ces valeurs (tableau 58) font l'objet d'une comparaison avec les normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation fixées par le Ministère délégué auprès du Ministère de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement chargé de l'eau (2015) ; elle montre que les valeurs mesurées sont inférieures au seuils fixés (tableau 59).

Tableau 59 : Comparaison des résultats d'analyse avec la norme marocaine

Paramètres	Valeur mesurée	Norme	Observation
Al (mg/l)	< 0.01	5	Qualité satisfaisante
Cd (mg/l)	< 0.01	0.01	Qualité satisfaisante
Cr (mg/l)	< 0.01	0.01	Qualité satisfaisante
Cu (mg/l)	0.08	0.2	Qualité satisfaisante
Pb (µg/l)	0.05	5	Qualité satisfaisante

Les eaux épurées s'avèrent de qualité chimique satisfaisante avec une concentration en métaux lourds nettement inférieure à celle des normes en vigueur.

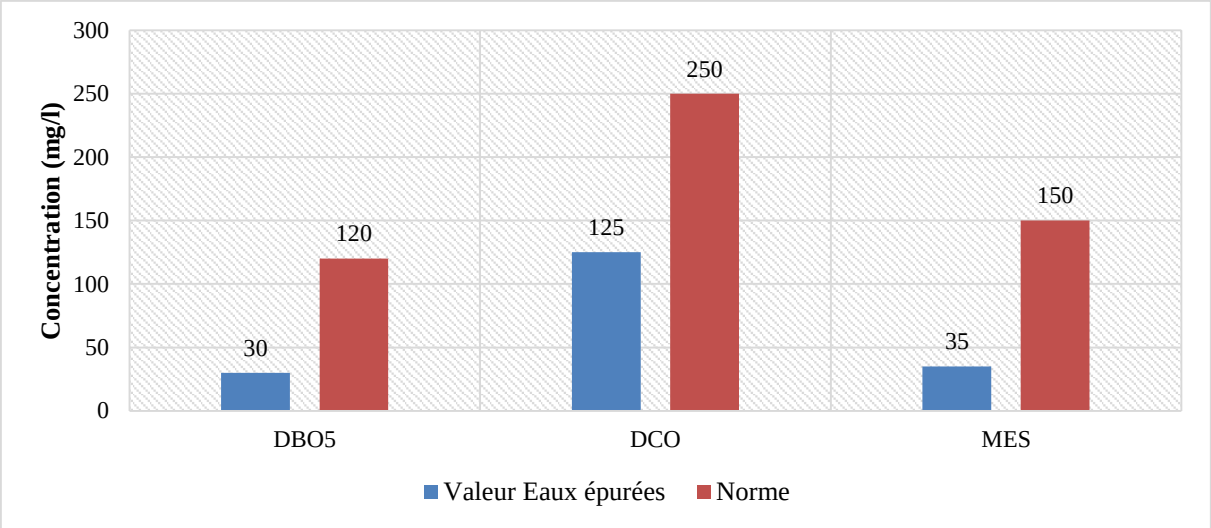


Figure 95 : Comparaison des valeurs de DBO5, DCO, MES des eaux épurées avec la norme marocaine

La comparaison de la charge organique des eaux épurées avec les normes montre que les eaux épurées présentent une concentration nettement inférieure à celle des normes en vigueur (figure 95).

Tenant compte des deux comparaisons précédentes des éléments chimiques et organiques des eaux épurées et les normes marocaines en vigueur (tableau 59 et figure 95), il s'avère que la réutilisation des eaux épurées de la station de la ville de Fès pour l'irrigation des champs périurbains est possible sous réserve d'analyses bactériologiques.

II. Espaces verts de la ville de Fès

II.1. Etat des lieux des espaces verts

En se basant sur les données disponibles à l'Agence Urbaine de Fès, on a classifié les espaces verts par arrondissement et selon les systèmes d'arrosage adoptés et les types d'espace (jardin public, parc, carrefour planté…).

Tableau 60 : Surface des espaces verts par arrondissement et indice Ev/hab

Arrondissement	S Jardins publics (m²)	S Places publiques (m²)	Autres (m²)	Total (m²)	Ev / hab m²/hab
Agdal	139 606.50	23 211	28 050	190867.5	**1.340**
Mérinides	158 443.50	2 126	4 026	164595.5	**0.785**
Saïss	58222.74	11 390	250	69862.74	**0.336**
Zouagha	26 221	2798	-	29019	**0.111**
Medina – Mechouar	76 824	75 688	-	152512	**0.522**

Il ressort clairement que les anciens arrondissements tels qu'Agdal, Mérinides, et Médina rassemblent des surfaces importantes d'espace vert avec respectivement 31.45%, 27.12%, 25.13% de la totalité des espaces verts de la ville.

Néanmoins le ratio (Ev/hab) qui décrit le rapport en m² par habitant des espace verts reste très loin de la moyenne préconisée par l'OMS qui est comprise entre 10 à 14 m²/hab. L'arrondissement Zouagha enregistre le ratio le plus faible de la ville avec 0.11m² d'espaces verts par habitant.

Les données émanant des services publics, notamment la commune urbaine et l'agence urbaine et sauvegarde de Fès, informent sur les systèmes d'arrosage adoptés pour chaque arrondissement ; le tableau 61 représente le pourcentage des surfaces arrosées et les systèmes adoptés.

Tableau 61 : Pourcentage des systèmes d'arrosage par arrondissement (AUSF, 2014)

Arrondissement	Systèmes d'arrosage adoptés
Agdal	
Mérinides	
Saïss	
Zouagha	
Mechouar - Médina	

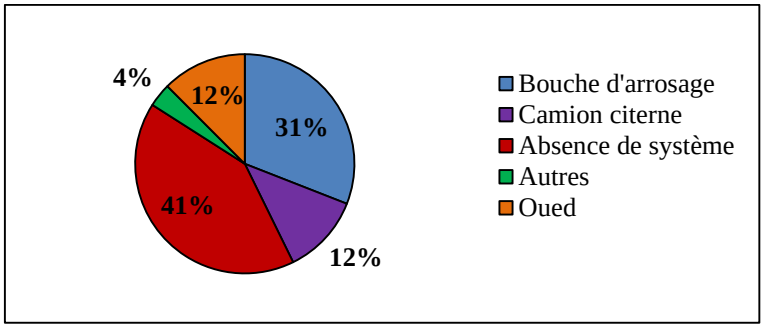


Figure 96 : Pourcentages des espaces verts (cumulés) arrosés et non arrosés

Les résultats obtenus de l'analyse de la base des données des espaces verts de la ville (Figure 96) montrent que :

- 41% des espaces verts sont délaissés sans arrosage soit 250 496 m² ;
- Seulement 12% des espaces verts sont arrosés par le biais des oueds ;
- 12% des espaces sont arrosés par le biais des camions citernes soit 71517 m². Ce système d'arrosage est soumis à des arrêts (retardataires) relatifs à la disponibilité des engins empêchant ainsi le déroulement normal de l'opération d'arrosage ;
- 31% des espaces verts sont arrosés par des bouches d'arrosage ;
- 4% des espaces verts sont arrosés par les associations des quartiers ou les habitants.

II.2. Besoins en eau d'arrosage

Le calcul des besoins en eau d'arrosage est basé essentiellement sur la surface totale non arrosée "250 496 m²" soit 41% de la totalité de surface des espaces verts de la ville (tableau 62).

Tableau 62 : Besoins mensuels en eau d'arrosage des espaces verts

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fèv.
Besoin Brut (m^3/mois)	12629.17	8740.28	5454.17	3887.92	3707.08	4192.22
Mois	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Août
Besoin Brut (m^3/mois)	6118.19	7670.83	10488.33	14495.83	19439.58	18173.75

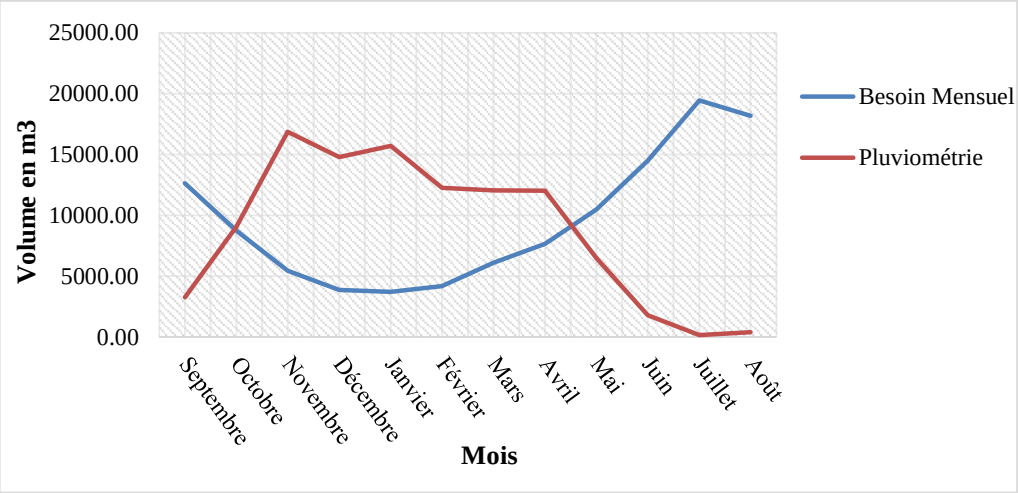


Figure 97 : Besoins en eau d'arrosage et pluviométrie mensuels

Après la superposition des besoins en eau mensuels d'arrosage et la pluviométrie (figure 97), il s'est avéré que cette dernière peut satisfaire les besoins en eau d'arrosage du mois d'Octobre jusqu'à Avril, sachant que le transfert de la pluviométrie du mm en m^3 se fait par le biais de la formule : 1mm = 10 m^3/ha.

La période allant de Mai à Septembre connait une plus faible pluviométrie et une forte demande en eau d'arrosage, chose qui impose l'intégration de l'arrosage durant cette période. Le calcul des volumes d'eau d'arrosage demandés s'effectue par la différence des besoins en eau et la pluviométrie (tableau 63).

Tableau 63 : Volumes d'eau d'arrosage mensuels demandés

	Volume Précipitations (m^3)	Besoins mensuels (m^3)	V – B
Septembre	3 262.50	12 629.17	9 366.67
Octobre	9 085.00	8 740.28	344.72
Novembre	16 855.00	5 454.17	11 400.83
Décembre	14 785.00	3 887.92	10 897.08
Janvier	15 720.00	3 707.08	12 012.92
Février	12 272.50	4 192.22	8 080.28
Mars	12 050.00	6 118.19	5 931.81
Avril	12 030.00	7 670.83	4 359.17
Mai	6 515.00	10 488.33	3 973.33
Juin	1 787.50	14 495.83	12 708.33
Juillet	160.00	19 439.58	19 279.58
Août	412.50	18 173.75	17 761.25
NB : (B-V) présente la différence entre le volume de précipitations et les besoins mensuels			

Afin de satisfaire les besoins en eau d'arrosage des espaces verts de la ville, la proposition est celle qui repose sur la collecte des eaux pluviales, pour ce faire, il est primordial de définir la surface de l'impluvium nécessaire pour la collecte du volume d'eau d'arrosage demandé par les espaces verts de la ville de Fès.

Il est à signaler que le stockage et la gestion des eaux pluviales apparaissent relativement anciens et répandus dès les 11ème et 12ème siècles (Boutfirass, 2011) notamment avec les

almohades qui ont réalisé dans le cadre des grands travaux hydraulique de nombreux systèmes comprenant des citernes de stockage des eaux. Il y a aussi un cas historique d'un grand intérêt, celui de Sidi Bou Othmane où des fouilles archéologiques ont mis au jour en 1947 un complexe hydraulique comprenant deux barrages de retenue, des conduites et une série de 9 citernes disposées de façon parallèle les unes aux autres. Les citernes de Sidi Bou Othmane totalisent une capacité de 2130 m³. (Boutfirass, 2011)

La méthode utilisée est celle basée essentiellement sur le volume maximum demandé pour l'arrosage et la pluviométrie de la zone. (ABHS, 2012)

$$Smax = \frac{Vmax}{P \times KT \times KF}$$

Avec

- V_{max} : volume maximal d'eau de pluie récupérable annuellement en litres ;
- P : Précipitations annuelles en mm ;
- S_{max} : surface de l'impluvium en m^2 ;
- K_T : coefficient de restitution ;
- K_F : coefficient du système de filtration.

Le coefficient de restitution (K_T) varie selon la nature de la surface de l'impluvium. Le tableau 62 présente les différents K_T pour les différents types de surfaces.

Tableau 64: Coefficient de restitution selon les types de surface (ABHS, 2012)

Type de couverture	**Coefficient (K_T)**
Surface en matière dure en pente	0,9
Surface ondulé en pente	0,8
Toiture terrasse	0,6

Le coefficient (K_F) représente le coefficient de rendement hydraulique du système de filtration, il est de l'ordre de 0.9 pour les systèmes neufs et/ou bien entretenus.

II.3. Résultats obtenus

Les cellules en rouge sur le tableau 63 présentent les volumes d'eau nécessaires pour l'arrosage quand les besoins dépassent le volume des précipitations. Le volume annuel total manquant pour assurer les besoins en eau d'arrosage est de 63 089.17 m^3.

La surface de l'impluvium est basée sur le volume total annuel à récupérer pour des fins d'arrosage.

Tableau 65: Surface totale de l'impluvium de la ville de Fès

Volume annuel (m^3)	Pluviométrie annuelle (mm)	KT	KF	Surface impluvium (m^2)
63089	475	0.8	0.9	**184 470.76**

Il sort que pour adopter les systèmes de récupération des eaux pluviales pour l'arrosage des espaces verts, la ville de Fès doit consacrer 184 470,76 m² de ces espaces imperméables pour la récupération des eaux pluviales (tableau 65).

Donc pour arroser 250 464 m² des espaces verts de la ville on a besoin de collecter les eaux pluviales d'une surface imperméable de 184 470,76 m².

Le rapport (I/EV) entre la surface de l'impluvium et la surface à arroser est de 0.74, donc pour chaque m² à arroser, la surface de l'impluvium doit être égale à 0.74 m² (tableau 66).

Tableau 66 : Surface de l'impluvium pour chaque arrondissement de la ville de Fès

Arrondissement	Surface à arroser	Rapport I/EV	Surface Impluvium (m²)
Agdal	92783.5	0.73641	68 326.44
Mérinides	131395		96 760.22
Saïss	19643.74		14 465.79
Zouagha	6480		4 771.92
Médina	194		142.86

L'analyse de ces données montre qu'il est possible d'assurer les volumes d'eau nécessaires pour l'arrosage des espaces verts de chaque arrondissement en utilisant la surface de l'impluvium qui lui correspond (tableau 66), La surface d'impluvium la plus importante soit 96 760.22 m² correspond à l'arrondissement Mérinides.

III. Conclusion

La réutilisation des eaux épurées pour des fins agricoles peut être considérée comme l'une des solutions durables mettant à niveau et promouvant l'agriculture périurbaine de la ville de Fès. Une étude approfondie doit être menée dans ce sens pour mobiliser cette ressource potentielle et protéger le milieu naturel. La récupération des eaux pluviales pour l'arrosage des espaces verts de la ville de Fès doit faire l'objet d'une stratégie communale adaptée à chaque arrondissement, en commençant par la localisation des endroits où le foncier permet l'implantation des bassins de stockage des eaux pluviales.

Chapitre X : Etude des risques de contamination du milieu naturel par les eaux usées

Plusieurs facteurs peuvent intervenir dans le risque de contamination du milieu naturel par les eaux usées notamment les débordements dus à la surcharge des collecteurs, les déversements directs et les soulagements des collecteurs par le biais des déversoirs d'orage.

La ville de Fès dispose de plusieurs quartiers industriels, Sidi Brahim, Namae, Ain Chkef, Ain Nokbi et Dokkarat. La majorité des unités industrielles ne disposent pas des systèmes de traitement des eaux usées, exceptées les tanneries qui en concertation avec la régie procèdent à la déchromatation des effluents chargés en chrome.

Le soulagement des collecteurs par des déversoirs d'orage (D.O) peut aussi engendrer une contamination vu qu'il s'agit de soulager les collecteurs unitaires (eaux usées+ pluviales). Certes ces eaux sont diluées, mais si on prend en compte le débit soulagé par chaque D.O la charge polluante est importante.

I. Zones à risque

Les zones à risques sont définies comme étant les points où les débordements du réseau d'assainissement peuvent constituer une véritable nuisance pour le milieu naturel. Parmi ces zones, les zones industrielles de la ville et les zones démunies des systèmes de traitement à la source.

I.1. Zone industrielle Ain Nokbi

La zone industrielle Ain Nokbi regroupe une dizaine d'unités de tannerie, qui par ignorance du danger ils peuvent substituer au milieu naturel des déchets solides provoquant ainsi des obstructions au niveau des conduites d'assainissement. Ces dernières se manifestent au niveau des conduites principales en causant des écoulements en surface des effluents trop chargés en chrome qui rejoignent par la suite l'Oued Fès en aval.

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès ne prend pas en compte le traitement du paramètre chrome et l'arrivée des effluents chargés en chrome engendre des dysfonctionnements au niveau du processus d'épuration. Pour en faire face, la régie et en concertation avec plusieurs intervenants a mis, à l'avance, en place une station de déchromatation qui reçoit les effluents chromés afin de les traiter. Le transport de ces effluents se fait par le biais des camions citernes qui visitent périodiquement quelques unités de tanneries, alors que d'autres unités (notamment les clandestines) jettent leurs rejets directement dans le réseau d'assainissement.

Il s'avère que ces rejets ont une double nuisance, une première pour le milieu naturel et la deuxième pour la station d'épuration si jamais ces effluents atteignent l'entrée de la STEP.



Photo 3: Affaissement du collecteur et débordement des eaux usées chargées en chrome (zone industrielle Sâada, Ain Nokbi « prise le 26/08/2019 »)

L'affaissement du collecteur d'assainissement enregistré le 22/08/2019 dans la zone industrielle Sâada Ain Nokbi présente un exemple concret de la gravité des problèmes soulevés dans cette zone. La réfection de cet affaissement et la re-canalisation de l'effluent a demandé une durée de plus de 10 jours, chose qui reflète la quantité de pollution atteignant le milieu naturel.

I.2. Zone Boufekrane

La zone de Boufekrane qui fait partie du secteur d'exploitation ville nouvelle, a fait l'objet d'un suivi minutieux pour pouvoir détecter les acteurs concernés (causes de dégradation). Il s'avère que plusieurs conditions sont à l'origine du dysfonctionnement du réseau d'assainissement dans cette zone.

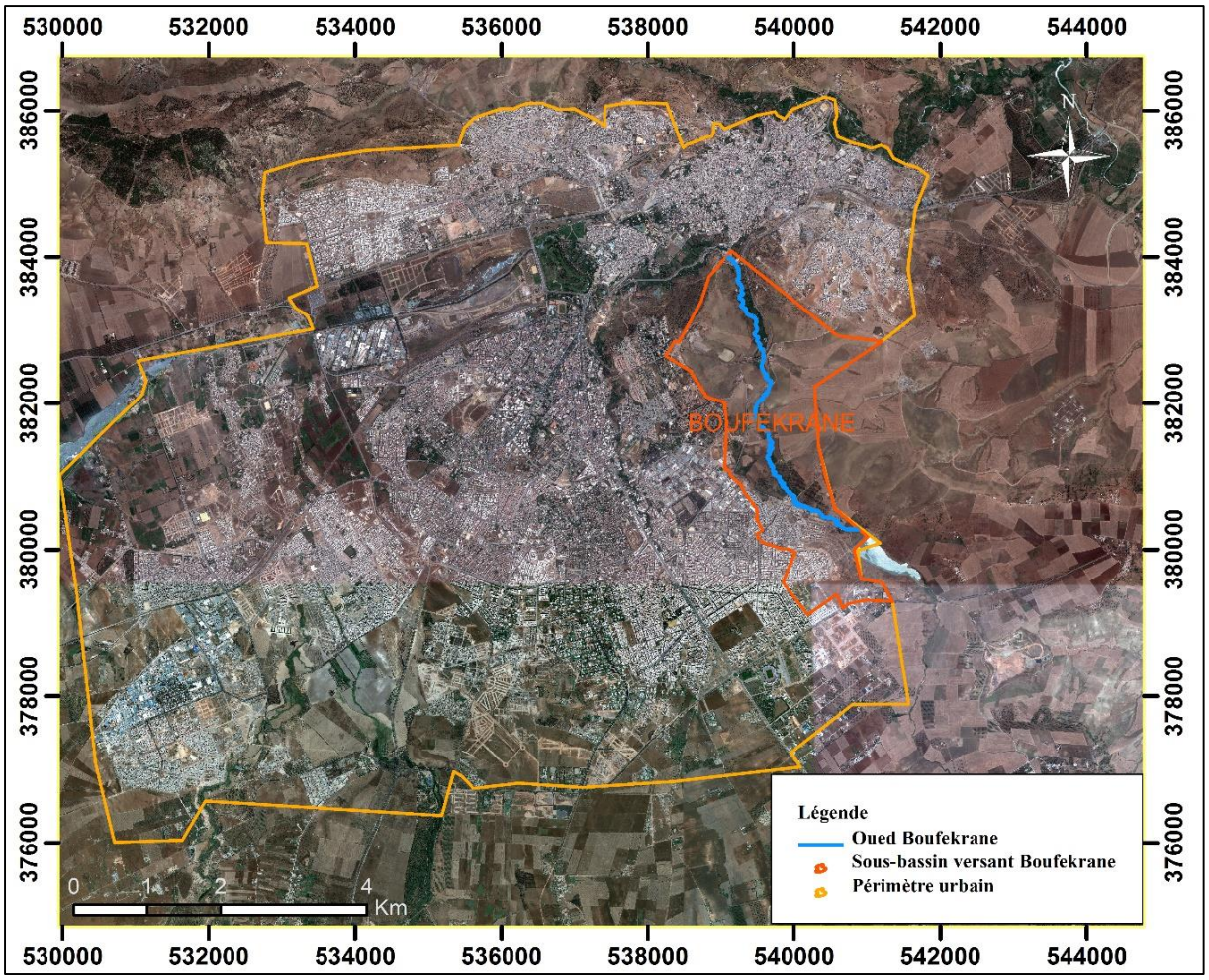


Figure 98 : Délimitation du bassin versant Boufekrane

I.2.1. Nature de l'effluent transporté

La nature des effluents écoulés dans le réseau d'assainissement peut être l'un des facteurs de dégradation de la structure matérielle des équipements, dont les principales caractéristiques sont :

- la corrosion de l'ouvrage due à la nature agressive des effluents rejetés par les unités industrielles du quartier Sidi Brahim ; la présence des substances chimiques dans ces effluents provoque le vieillissement des joints et la dégradation du radier des regards de visite ;
- l'érosion du collecteur à cause de la forte pente au niveau de la zone d'Ouisslane en présence des effluents agressifs ;

- la surcharge du collecteur dont la capacité d'évacuation est limitée du fait que la conduite principale est sous-dimensionnée (DN600).

I.2.2. Itinéraire de la conduite principale

Le milieu environnant de la conduite principale du sous-bassin versant Boufekrane pourrait être l'un des facteurs contribuant à sa détérioration physique.

Le tassement différentiel est lié essentiellement aux modes d'occupation et d'utilisation du sol (par la présence du collecteur dans des terres agricoles et la circulation des engins). Ce type de contrainte peut entraîner la forte compression de l'ouvrage et conduire finalement à sa détérioration. Le défaut de structure dû aux tassements différentiels se manifeste souvent au niveau des regards marqué par des cisaillements de la canalisation au point de jonction avec le regard.

La nature lithologique marneuse du sous-sol de la vallée d'Ouisslane est à l'origine d'affaissement et de glissement de terrain. A ces phénomènes s'ajoutent la forte pente et les fortes pluies sporadiques.

I.2.3. Bouchage du réseau

Il s'agit du problème le plus compliqué du secteur d'exploitation ''ville nouvelle'', aucune solution jusqu'à présent n'a pu aboutir à sa solution radicale. Le collecteur passe en pleine terre agricole en parallèle avec l'Oued Boufekrane, les agriculteurs profitent de cette situation pour irriguer leurs parcelles, en raison du débit important transitant d'une part et sa richesse en termes de matière organique d'autre part. Il constitue une ressource importante pour eux, en procédant au blocage de l'écoulement par le biais des sacs en sable ou les tampons en fonte au niveau du déversoir d'orage ou des regards de visite. Pendant l'année 2017 (entre janvier et août) on a pu enregistrer 40 débordements du collecteur.

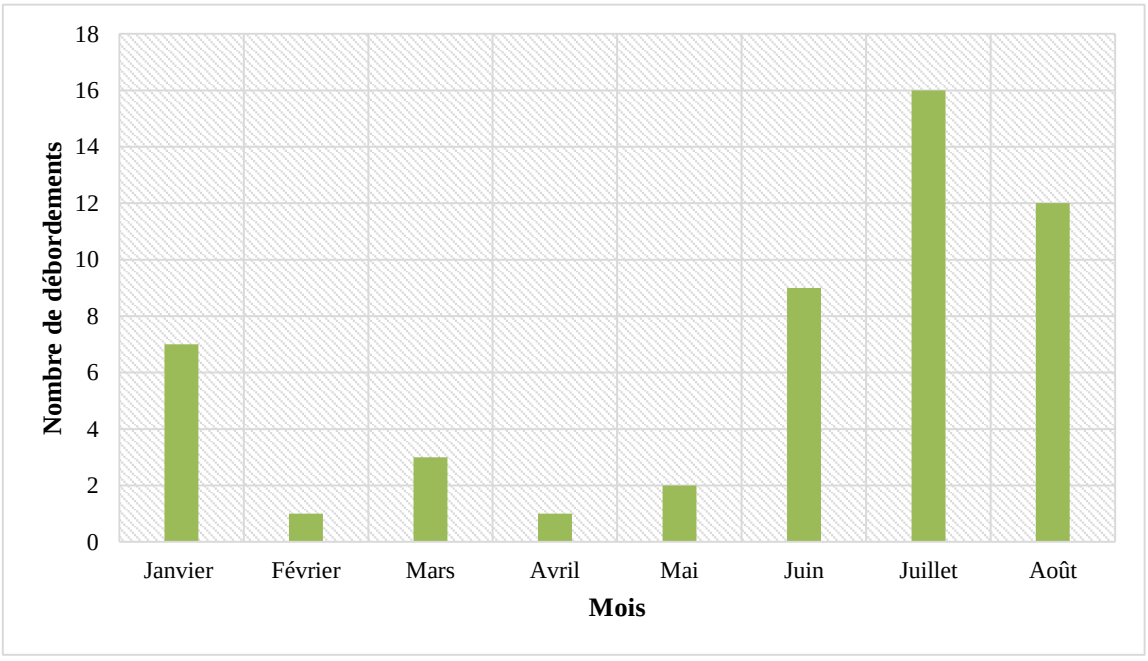


Figure 99 : Nombre des débordements du collecteur Boufekrane entre Janvier et Août 2017 (RADEEF, 2017)

Les débordements enregistrés pendant l'été où le besoin en eau d'irrigation augmente sont totalement dus à l'action de l'homme, alors que les débordements en printemps et en hiver en grande partie dus à la surcharge du collecteur principal.

Donc pour clarifier l'idée, la zone de Boufekrane se trouve en face d'une problématique composée, la surcharge du collecteur pendant la période pluvieuse et le blocage effectué par les agriculteurs pendant la période d'été, ce qui rend cette zone une véritable zone à risque de contamination du milieu naturel par les eaux usées.

En même année 2017, pour résoudre ces problèmes naturels et/ou anthropiques. Le nombre des interventions dans cette zone par rapport au secteur d'exploitation ville nouvelle est estimé par la régie à (RADEEF, 2017) :

- 27% des opérations de curage ;
- 1.20% des opérations de débouchage ;
- 12.53 % du nombre des sacs à déchets curés.

I.3. Déversoirs d'orage

Sachant que les déversoirs d'orage ont un rôle de soulager les conduites en aval et sont implantés sur les réseaux d'assainissement unitaires (eaux usées et pluviales), les conduites de soulagement (de ces ouvrages) sont déversées directement dans le milieu naturel vu que la ville de Fès est traversée par plusieurs Oueds. Le réseau hydrographique est censé être une pièce à conviction pour le choix du réseau séparatif chose qui n'a pas été faite à temps. Dans cette optique, s'est développée la vision critique qui permet de classer les déversoirs d'orage parmi les points à risques de déversement des eaux usées dans le milieu naturel.

Pour développer cette vision, il est essentiel de définir l'expression de la charge polluante définie pour chaque paramètre indicateur de pollution. Ainsi elle informe sur la quantité de pollution par unité de temps. L'expression mathématique de ce paramètre s'écrit comme suit :

$$Cp = Q \times [P]$$

Avec :

- Cp : Charge polluante en Kg/j ;
- Q : Débit du débordement en m^3/j ;
- [P] : Concentration d'élément polluant.

Pour justifier la mise en place des déversoirs d'orage, les gestionnaires négligent le paramètre pollution et focalisent leur intérêt sur le paramètre débit du fait que les eaux issues des conduites de soulagement sont diluées (présence des eaux pluviales).

Le fait de prendre à la légère la dilution des eaux usées déversées est acceptable dans le sens où le pouvoir auto-épuratoire permet de dégrader la pollution (minimale) déversée dans une période limitée. Il est ainsi important de souligner que la dilution est causée par le

pic du débit déversé ; sachant selon l'équation précédente que l'augmentation du débit ne vaut pas une charge polluante minimale mais une concentration minimale en éléments polluants. Dans ce cas, la tendance de la charge polluante est mal connue.

Période sèche	Période pluvieuse
$Cp = Q \times [P]$	$Cp = Q \times [P]$ ↗ ↘

Figure 100 : Variation de la charge polluante en périodes sèche et pluvieuse

En fait la gestion des eaux usées dans le cas des réseaux unitaires doit être axée sur le paramètre charge polluante, car elle a un double intérêt, elle permet d'une part l'instauration d'une gestion intégrée couvrant les deux volets (qualité et quantité) et d'autre part d'éviter les débordements tout en gardant un environnement hydrographique sain et protégé contre l'arrivée des eaux usées.

I.4. Station de relevage

La station de relevage située près du quartier industriel Dokkarat a pour objectif de faire monter les eaux usées issues du collecteur Massira-Dokkarat qui se trouve à un niveau relativement plus bas (9 m) vers le collecteur nord.



Photo 4 : Vise d'Archimède de la station de relavage Dokkarat

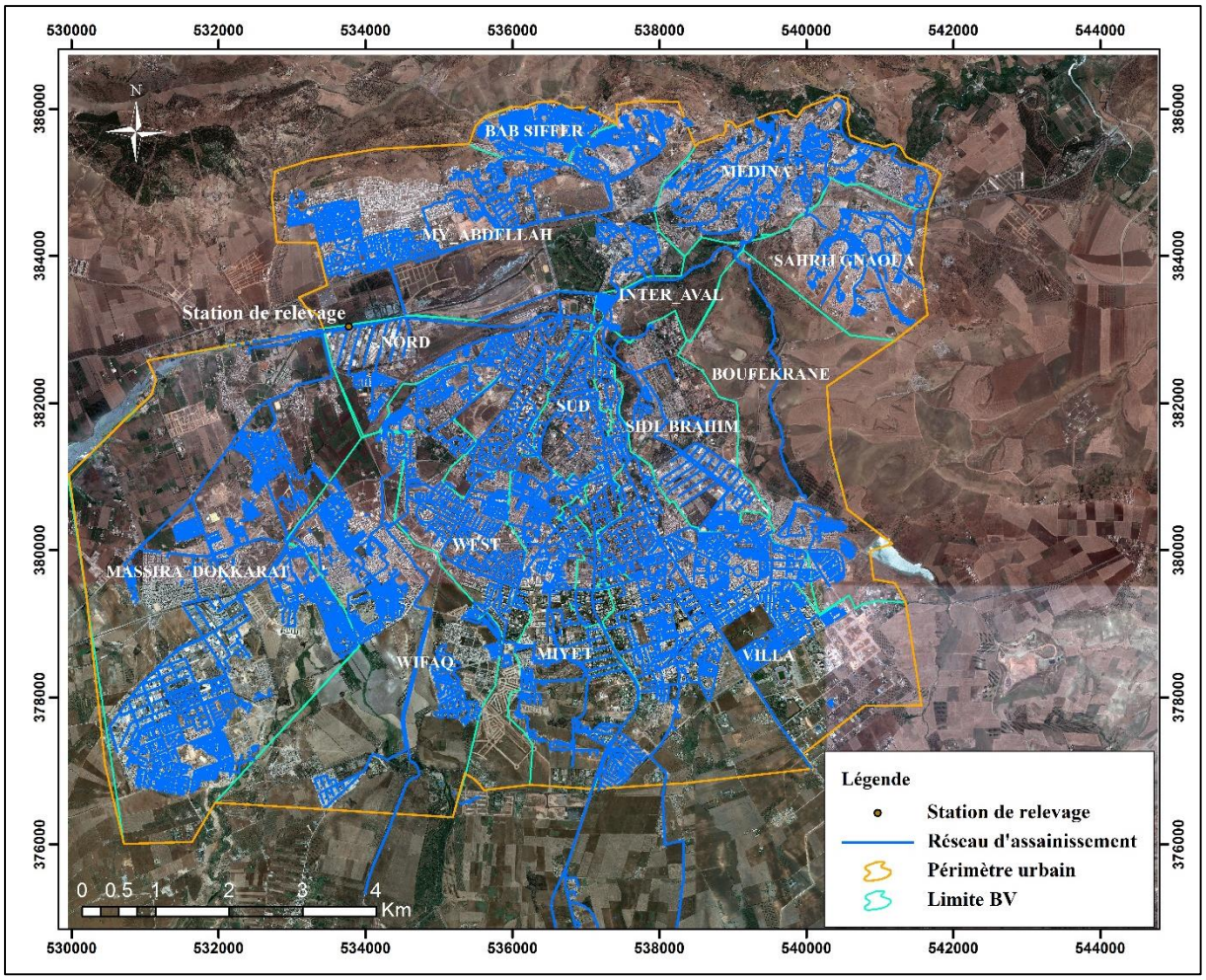


Figure 101 : Localisation de la station de relevage par rapport au réseau d'assainissement de la ville de Fès

La station de relevage peut être considérée comme point noir du réseau d'assainissement du fait que le recours au relevage est dépassé dans la plupart des villes à travers le monde et la simple panne au niveau des vises ou pompes peut mettre les quartiers Bensouda, Massira, Quartier industrielle Namae, Merja et toute la zone ouest en situation de surcharge, en amont.

II. Améliorations effectuées

Malgré les contraintes et les problèmes soulevés, il ne faut pas nier que les gestionnaires du réseau d'assainissement ont fourni des efforts dans le but de lutter contre les débordements et la protection de l'environnement. Plusieurs appels d'offres sont lancés annuellement pour diverses fins à savoir la réhabilitation du réseau d'assainissement pour l'élimination des points noirs, le curage hydraulique et l'entretien curatif.

Dans ce sens la régie dépense annuellement plus de 12 millions de dirhams dans le cadre des marchés de terrassement et pose des conduites d'assainissement dans la ville de Fès et environ 4 millions de dirhams pour le curage du réseau d'assainissement.

Il est à souligner que la régie s'apprête à entamer les travaux pour collecteurs de Miyet Amont et déviation du collecteur sud (lot 1) et de Himmer amont (lot 2) dans le cadre d'un marché public d'une estimation atteignant 120 millions de dirhams pour le premier lot et plus de 71 millions de dirhams pour le second lot.

II.1. Réhabilitation

La réhabilitation consiste à remplacer les conduites dégradées par des conduites en Polyéthylène à haute densité (PEHD), tout en gardant le même alignement de l'ancien réseau, la même pente de calage et le même diamètre. Il s'agit d'améliorer les conditions d'écoulement des effluents et la suppression des fuites. Le total du linéaire réhabilité annuellement s'élève à plus de 12 km des conduites de divers diamètres allant de 200 mm à 1000 mm. Cette opération s'inscrit dans le cadre des marchés cités auparavant.

II.2. Déviation

Il s'agit des opérations de changement des itinéraires des conduites pour les rendre accessibles et libérer les titres fonciers des particuliers. La quasi-majorité des opérations de déviation sont enregistrées dans les zones périphériques récemment structurées (exemple : Oulad Tayeb), en plus des travaux de déviation effectués dans l'ancienne Médina pour éviter les passages du réseau sous-construction (ancienne Sloquia).

II.3. Renforcement

Les travaux de renforcement consistent en la création des bouches d'égout à grille pour éliminer la stagnation des eaux pluviales et limiter théoriquement les risques d'inondation et en changement des conduites d'assainissement par d'autres ayant un diamètre plus grand, là où les conditions de raccordement le favorisent.

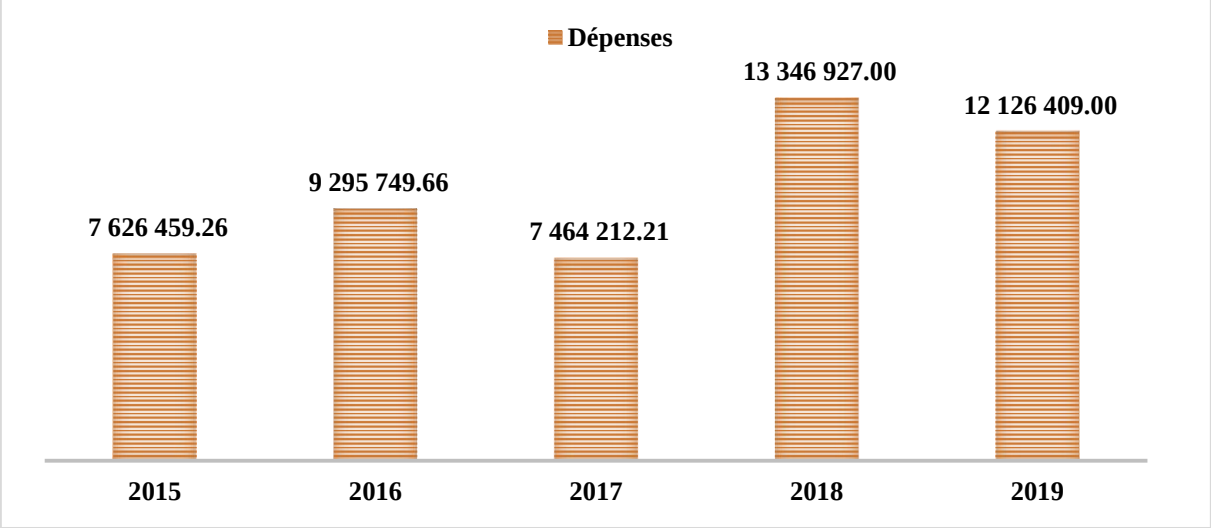


Figure 102 : Dépenses totales annuelles pour la réhabilitation, le renforcement et la déviation du réseau d'assainissement de la ville de Fès

La figure 102 illustre les dépenses de la régie pour effectuer les travaux de réhabilitation, déviation et renforcement du réseau d'assainissement de la ville de Fès. Les

dépenses des années 2018 et 2019 sont colossales subventionnées par l'Etat dans le cadre du plan national d'assainissement (PNA). Ce budget octroyé à ces opérations a connu une augmentation d'environ 40%.

II.4. Mise à niveau

Il s'agit des opérations de réduction ou surélévation du niveau des regards de visite. La mise à niveau à part son rôle esthétique, elle a pour objectif de rendre le réseau d'assainissement accessible aux agents chargés des opérations de curage et débouchage et de lutter contre le vandalisme des tampons en fonte. Pour cette opération, la régie a dépensé, entre 2015 et 2018, plus de 5 millions de dirhams. Les photos 5, 6, 7 et 8 présentent un reportage photographique du déroulement de l'opération de la mise à niveau.

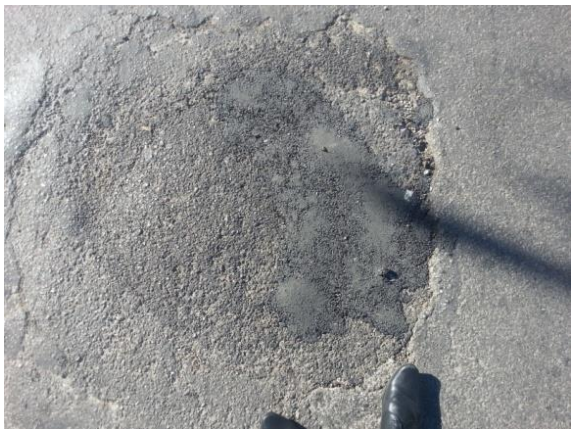


Photo 5 : Regard de visite revêtu (inaccessible)



Photo 6 : Attente de prise du béton



Photo 7 : Balisage (attente de prise du béton)

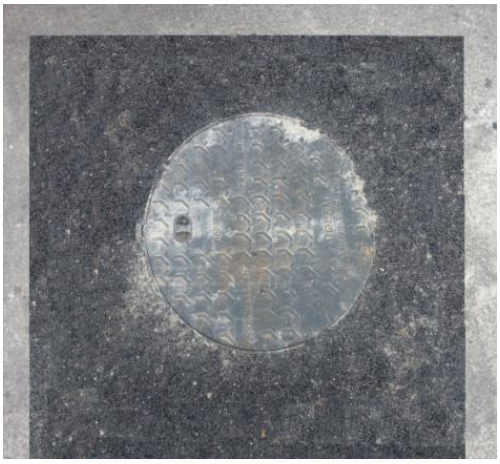


Photo 8 : Etat final du regard (accessible)

II.5. Chemisage

Le chemisage des collecteurs peut être considéré comme réhabilitation complète des tronçons de conduite, sans l'ouverture d'une tranchée. Cette opération s'effectue soit par un tubage en éléments de chlorure de polyvinyle qui pourrait réduire la section de la canalisation, soit par un chemisage avec polymérisation et thermo-durcissement d'une résine imprégnant une gaine en feutre (épaisseur de 3 à 20 mm selon le diamètre) appelé chemisage en Coke.

Plusieurs ovoïdes de la ville de Fès ont connu ces opérations de chemisage dans le but de pérenniser leur durée de vie et améliorer les conditions d'écoulement des effluents.

II.6. Extension de la station de relevage

La station de relevage Dokkarat a connu durant ces dernières années une extension par l'ajout d'un vise d'Archimède et des pompes de secours pour pouvoir les utiliser en cas de l'arrivée d'un débit important.

Cette solution peut être fiable dans le sens où les équipements restent sous surveillance en permanence, l'entretien et l'exploitation de cette station minimise le risque des pannes. A ce propos on note qu'en 2018, plusieurs pannes ont été enregistrées et ont provoqué des débordements significatifs au niveau du quartier Merja.

Ces solutions proposées restent des solutions curatives et n'arrivent pas à éliminer le risque définitivement du fait qu'on ne peut pas garantir le bon fonctionnement de ces équipements même avec une exploitation minutieuse.

III. Conclusion

La zone de Boufekrane est une véritable zone à risque de contamination du milieu naturel par les eaux usées. Elle a une double contrainte, la première est liée à l'insuffisance hydraulique du collecteur drainant son bassin versant et la deuxième est liée à l'action humaine vu que les agriculteurs riverains bloquent l'écoulement afin d'irriguer leurs champs par les eaux usées (brutes).

Tout blocage du collecteur d'assainissement drainant la zone industrielle Ain Nokbi constitue un risque de contamination du milieu naturel par les effluents chromés, la récupération à la source de ces effluents doit être renforcée de façon à minimiser le risque de déversement.

Les pannes des pompes ou des vises d'Archimède de la station de relevage Dokkarat, qui parviennent de temps à autre, mettent la zone amont en situation de blocage. Le raccordement gravitaire au réseau aval, collecteur nord, est la solution la plus adéquate pour un tel problème.

Chapitre XI : Solutions proposées

Dans le but de minimiser et limiter les problèmes, déjà évoqués, liés à l'assainissement liquide dans la ville de Fès, des solutions sont proposées pour pouvoir minimiser l'impact des problèmes liés au réseau d'assainissement à savoir le laminage des débits de pointe, la gestion en amont par l'intégration des techniques alternatives des eaux pluviales, la fragmentation des rejets et le recours vers l'écoulement gravitaire.

I. Gestion en amont

Sachant que la ville de Fès a connu une grande et rapide extension urbaine, principalement ces deux dernières décennies, vers l'Ouest et le Sud et que les eaux usées et pluviales issues de cette extension sont écoulées et raccordées dans les collecteurs déjà existants au centre et à l'Est de la ville, la gestion en amont des eaux usées et pluviales s'avère primordiale.

Cette situation met les gestionnaires face à de sérieux problèmes pendant le temps pluvieux. Le choix de réseau dans les nouvelles zones urbaines est fait de façon à évacuer les eaux pluviales des chaussées vers les Oueds traversant la ville. Sur ce, un pourcentage dépassant les 60% des eaux pluviales cheminant dans le réseau des eaux usées (système pseudo-séparatif).

La gestion en amont doit s'articuler sur des bases en accord avec les techniques alternatives d'assainissement liquide dont l'élimination des points noirs est l'objectif sollicité.

I.1. Laminage des débits de pointes

Le laminage des débits de crues peut se faire en intégrant les techniques alternatives d'assainissement pluvial dans les nouveaux lotissements urbains pour pouvoir minimiser leurs impacts en termes de ruissellement et débit de pointe. L'établissement des études indépendantes dont l'objet sera la gestion des eaux pluviales de chaque zone récemment urbanisée apparait le plus convenable.

Dans ce sens, une mise en place d'un système de gestion des eaux pluviales est recommandée pour minimiser l'impact du ruissellement et le laminage du débit de pointe pendant le temps pluvieux. Les lotissements du Nord de la ville de Fès à titre d'exemple (zones Oued Fès/Tghat) peuvent constituer l'objet d'un projet pilote pour tester le rôle que ces techniques peuvent avoir sur le ruissellement dans la zone de route Meknès.

Le principe de la technique repose sur la réservation d'une surface du terrain pour la construction d'un bassin de rétention des eaux pluviales pour les retenir avant de les restituer au milieu naturel sous-forme de débit de fuite une fois le réseau déchargé.

La démarche menée est basée essentiellement sur la surface à urbaniser, le débit de pointe des eaux pluviales et le volume des eaux à stocker. Le choix du système est fait pour garantir certains critères à savoir :

- impossibilité de contamination de la nappe phréatique ;
- contrôle du rejet par une seule sortie (orifice de vidange).

Le modèle vérifié avec lequel le calcul a été effectué (Annexe V.1) permet de tirer un ratio de 2 % de la surface totale du lotissement pour l'implantation des ouvrages de rétention des eaux pluviales, en prenant une surface du lotissement, objet du projet pilote, de 10 ha.

Le débit de pointe de la zone s'élève à 1.15 m^3/s et qui peut être géré par un bassin de rétention de 6000 m^3. En variant la profondeur du bassin, la surface peut diminuer sauf pour des raisons de stabilité de l'ouvrage, il est préférable de ne pas dépasser 3m en profondeur.

La figure ci-après présente la vue en plan du bassin de rétention proposé pour la gestion des eaux pluviales ; il est à signaler que c'est une proposition dont le dimensionnement et la conception diffère selon les cas et selon la géomorphologie du terrain (Annexes V.2 et VI.1).

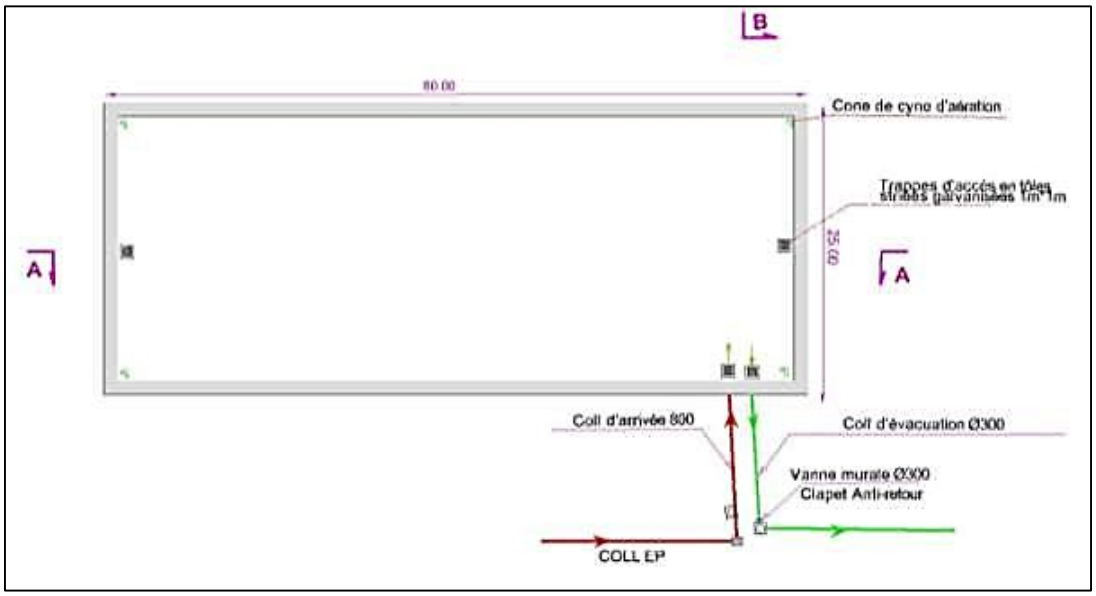


Figure 103 : Plan du bassin de rétention des eaux pluviales du lotissement choisi

L'objectif principal de l'installation des bassins de rétention est de laminer les crues et minimiser l'impact du ruissellement sur le réseau d'assainissement existant (nommé aussi hors site). La réutilisation des eaux pour diverses fins doit faire l'objet d'une étude de qualité et d'une estimation financière plus détaillée.

I.2. Abandon de la station de relevage

Comme le relevage est de plus en plus délaissé à travers le monde, vu les problèmes qu'il présente, principalement liés aux dysfonctionnements des pompes ou des vises de relevage. La solution est de raccorder d'une manière gravitaire le collecteur Massira-Dokkarat

avec le collecteur nord à une profondeur supérieure à 9 m de façon à assurer l'écoulement gravitaire des effluents tout en évitant la station de relevage (Annexe VI.3).

Le raccordement gravitaire du collecteur Massira-Dokkarat au réseau d'assainissement en aval en évitant le passage par la station de relevage est l'une des solutions proposées pour assurer l'écoulement normal des effluents. Au moment de l'aménagement de la route Meknès, cette proposition n'est pas prise en compte du fait que la station de relevage durant cette période était en projet d'extension et les gestionnaires ont choisi d'attendre le fonctionnement de la station avec les débits post-extension, chose qui manifeste des imperfections au moment de l'évacuation du débit de pointe (en cas de pannes).

Le projet de raccordement gravitaire sur une longueur d'environ 2900 m permet d'éviter le relevage d'une part et assurer l'écoulement normal des effluents de l'amont vers l'aval d'autre part. Cette opération aura comme effet la suppression définitive des problèmes de blocages et de débordements liés à cette station. L'estimation financière de ce projet de raccordement gravitaire en éliminant la station de relevage s'élève à 11.958.000,00 Dh TTC (Annexe III.1).

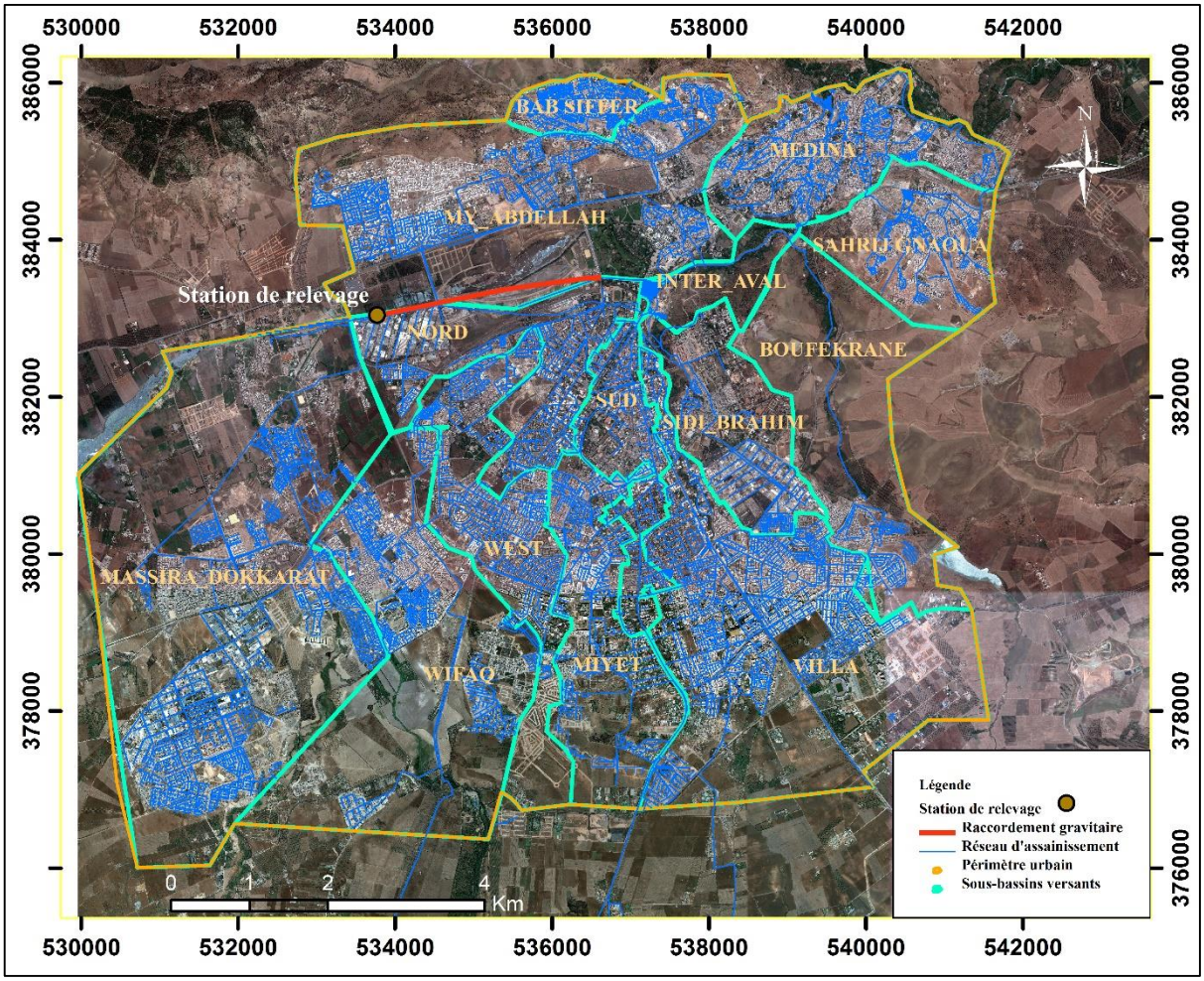


Figure 104 : Itinéraire du projet de raccordement gravitaire après suppression de la station de relevage

I.3. Fragmentation des rejets

La ville de Fès est connue par sa topographie qui ne favorise pas le passage aisé des effluents de l'Ouest vers l'Est, la zone avoisinante au lit de l'Oued Fès au niveau du quartier industriel Dokkarat enregistre la plus faible pente de la ville. Cette zone et son amont peuvent constituer un deuxième point de rejet des effluents après traitement. Un schéma de traitement des effluents qui peuvent rejoindre l'Oued Fès après traitement est proposé et pourrait réanimer le cours d'eau de l'Oued qui enregistre durant la période sèche une chute considérable du débit. Il s'agit d'une fragmentation quantitative et qualitative qui soulage les conduites en avale (débit traité et rejeté sur place) et minimise la charge polluante à l'entrée de la station d'épuration déjà existante (le projet de la réalisation de l'extension de cette dernière sera inutile).

Le projet proposé vise à isoler les eaux usées du bassin versant Massira-Dokkarat et la déviation de celles de la partie basse du bassin versant Wifaq en vue de les traiter séparément.

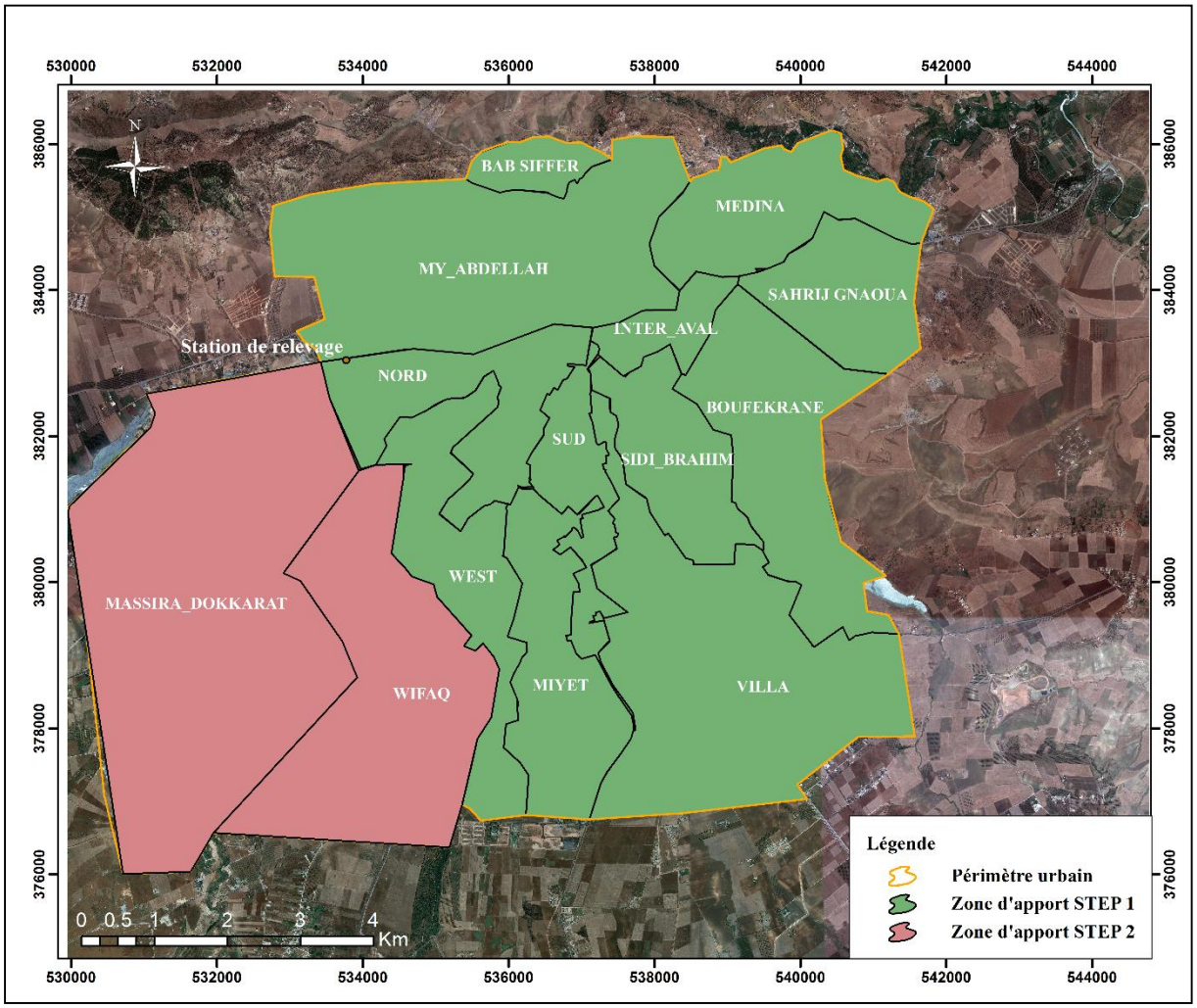


Figure 105 : Schéma de fragmentation des rejets

Sur les 14 bassins versants de la ville de Fès, les bassins versants Massira-Dokkarat et Wifaq constituent eux seuls plus de 32% de la totalité de la surface de la ville de Fès (figure 106).

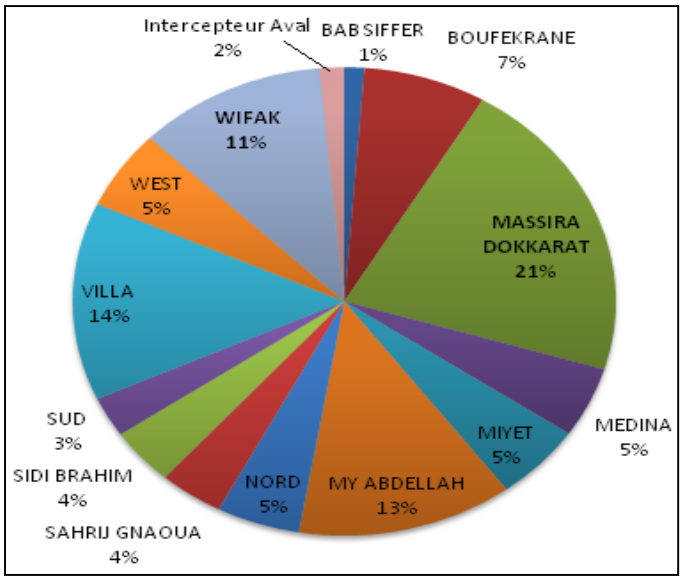


Figure 106 : Pourcentage de surface d'occupation des bassins versants de la ville de Fès

Les deux bassins versants, objet du dimensionnement du deuxième site d'épuration (STEP 2), font partie de l'arrondissement Zouagha qui selon le recensement de la population de 2014 regroupe une population de 260.663 habitants, soit un pourcentage de 23.44% de la totalité de la population de la ville de Fès.

Le choix du système d'épuration est fait en se basant sur des critères technico-économiques et environnementaux, présentés comme suit :

- la disponibilité du terrain : l'espace assez restreint dans cette zone ne favorise pas le choix des systèmes extensifs ;
- l'harmonisation des systèmes de gestion : la station d'épuration existante adopte le système des boues activées ;
- le rendement épuratoire : le système d'épuration doit répondre aux normes d'épuration afin de ne pas nuire à la qualité de l'Oued Fès.

Dans ce sens, le système adopté pour traiter les eaux usées de la zone d'apport 2 est le procédé des boues activées ; l'objectif est de dimensionner la station et déterminer les volumes et dimensions des ouvrages de traitement allant du dégrillage jusqu'au bassin de maturation.

- **Définition des données de base**

Les paramètres nécessaires pour le dimensionnement d'une station d'épuration sont le débit à traiter, la demande biologique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO) et la concentration des matières en suspension (MES).

Le débit à traiter est déterminé en se basant sur la population de l'agglomération, le nombre des unités industrielles, le nombre des administrations et les divers (Hammams, mosquée et autres). Une dotation normalisée est fixée pour chaque type d'habitat, tout cela s'effectue dans le cadre des études préliminaires ; dans notre cas le débit à traiter est déjà fixé vu qu'on vise le traitement des eaux acheminées du collecteur Massira-Dokkarat déjà existant.

Tableau 67 : Données de base du dimensionnement de la STEP 2

Données de base	Q (m3/s)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)
Valeurs	0.9588	370	821	550

- **Dégrillage**

Le dégrillage permet d'éliminer les gros débris à l'entrée de la station, qui peuvent nuire à la qualité de l'épuration et provoquer des dysfonctionnements du processus de l'épuration. Le dégrilleur est dimensionné en se basant sur le débit entrant à la station, l'espacement entre barreaux. L'expression mathématique de la formule de calcul du dégrilleur s'écrit comme suit :

Tableau 68 : Formules du dimensionnement du dégrilleur (Souabi, 2010)

Formules	
$S_v = \frac{Q}{V \times a \times C}$	Avec : ➢ Sv : Surface verticale du dégrilleur ; ➢ Q : Débit entrant (m^3/s) ➢ V : Vitesse de passage (m/s) ; ➢ C : Coefficient de nettoyage ; ➢ e : Espacement entre les barres ; ➢ s : Largeur de la barre ; ➢ Si : Surface inclinée du dégrilleur ; ➢ θ : Angle d'inclinaison (60° généralement).
$a = \frac{e}{e+s}$	
$S_i = \frac{S_v}{Sin\ \theta}$	

Dans ce cas, on parle d'un dégrillage moyen cité auparavant (tableau 45), un canal en amont et un autre en aval, doivent être dimensionnés du fait qu'ils sont chargés d'acheminer l'eau vers le dégrilleur. On fixe une largeur du canal afin de déduire sa hauteur en se basant sur la surface verticale (Sv) calculée auparavant.

Tableau 69 : Formules des calculs des pertes de charge, canal aval et canal amont

Formules	
$H = \frac{S_v}{l}$	Avec : ➢ H : Hauteur du canal ; ➢ Δh : Perte de charge (m) ; ➢ β : Coefficient de forme des barres ; ➢ s : Largeur de la barre ; ➢ e : Espacement entre les barres ; ➢ $\frac{V^2}{2g}$: Energie cinétique (m) ; ➢ θ : Angle d'inclinaison ; ➢ V_c : Vitesse critique (m/s) ; ➢ h_c : Hauteur critique (m) ; ➢ g : Constante (g=9.81) ; ➢ V : Vitesse de passage (m/s) ; ➢ K_s : Coefficient de rugosité (70 pour canal en béton) ; ➢ R_h : Rayon hydraulique ; ➢ I : Pente (m/m) ; ➢ l : Largeur du canal ; ➢ h : Hauteur du canal.
$\Delta h = \beta \times \left[\frac{s}{e}\right]^{\frac{4}{3}} \times \frac{V^2}{2g} \times Sin\ \theta$	
$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \times l^2}}$	
$V_c = \sqrt{h_c \times g}$	
$V = K_s \times R_h^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$	
$R_h = \frac{(l \times h)}{(2h + l)}$	

Le bon fonctionnement des canaux est vérifié par les conditions de vitesse et de hauteur, la vitesse critique supérieure à la vitesse d'écoulement et la hauteur critique inférieure à la hauteur du canal (Souabi, 2010).

Les refus de la grille doivent être triés pour recycler certains des gros débris, ou acheminer pour subir un traitement spécial : incinération ou mise à la décharge contrôlée.

- **Dessablage**

Pour le dessablage, le canal parshall dessableur est le plus convenable par rapport aux autres mécanismes car il permet de stabiliser la vitesse et occupe une surface comparée aux autres dessableurs classiques (EMI, 2008).

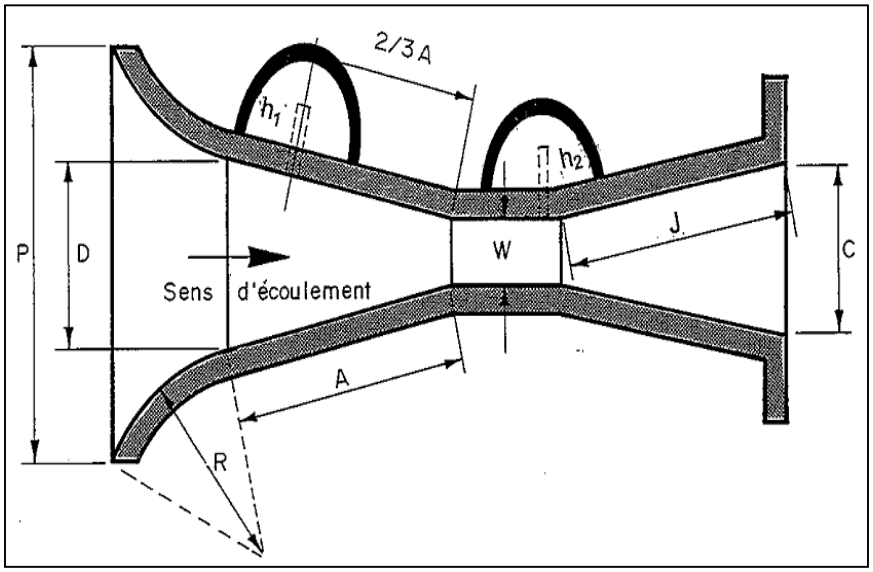


Figure 107 : Schéma du canal dessableur parshall

Les valeurs des paramètres de dimensionnement du canal parshall sont normalisées selon la gorge W (Annexe VII.2). Les Formules utilisées pour le dimensionnement du canal parshall sont présentées dans le tableau 70.

Tableau 70 : Formules du dimensionnement du canal parshall (EMI, 2008)

Formules	
$Q_a = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$	Avec : ➢ Q_a : Rapport des débits ; ➢ Q_r : Rapport de déduction de la valeur S ; ➢ Q_{max} : Débit max traversant le canal ; ➢ W : Gorge du canal parshall ; ➢ H_a : Hauteur adéquate à la décantation ; ➢ H_{max} : Hauteur maximale du canal parshall ; ➢ C : Constante dépendant de W ; ➢ R_h : Rayon hydraulique ; ➢ S et d : Variantes fixant la largeur ; ➢ v : Vitesse d'écoulement ; ➢ Tr : temps de rétention (entre 1 et 2 min).
$Q_r = \frac{Q_a{}^{\frac{1}{3}} - 1}{Q_a - 1}$	
$H_a = \left[\frac{Q_{max}}{2{,}27 \times w}\right]^{\frac{2}{3}}$	
$H_{max} = 1{,}1 \times H_a$	
$S = Q_r \times H_{max}$	
$d = H_{max} - S$	
$H_c = \frac{C \times R_h}{C - 2\,R_h}$	
$l = \frac{Q_{max}}{d \times v}$	
$L = v \times T_r$	

Les paramètres liés au canal parshall sont normalisés de façon à favoriser la décantation des matières décantables, en réduisant la vitesse d'écoulement dans l'objectif de maximiser la masse décantée.

Le bon fonctionnement du canal parshall dessableur n'est accepté que lorsque les deux rapports suivants sont vérifiés (Souabi, 2010) :

→ la hauteur critique H_c doit être inférieure à 70% de la hauteur adéquate à la décantation H_a (H_c<0.7H_a) ;

→ 14< $\frac{L}{H_{max}}$<15

Toute discordance implique automatiquement le changement de la valeur de la gorge W et tous les paramètres qui sont en liaison avec le canal parshall, un redimensionnement dans ce cas est impératif jusqu'à atteindre des valeurs vérifiant les deux rapports (EMI, 2008).

- **Déshuilage**

Le déshuilage, comme a été défini dans le chapitre relatif à l'épuration des eaux usées, est l'opération de la séparation des huiles de l'effluent en traitement. Cette opération a pour objectif de préparer l'effluent au traitement primaire (décantation primaire) et aussi d'éviter les nuisances provoquant le dysfonctionnement du traitement biologique.

L'expression mathématique du dimensionnement de l'ouvrage déshuileur est présentée dans le tableau 71.

Tableau 71 : Formules du dimensionnement du déshuileur (EMI, 2008)

Formules	
$S_h = \frac{Q_p}{V_a}$	Avec : ➢ S_h : Surface horizontale m² ; ➢ Qp : Débit de pointe (m^3/s) ; ➢ Va : Vitesse ascensionnelle (entre 10 et 20 m/h) ; ➢ L : Longueur du séparateur (m) ; ➢ $V_é$: Vitesse d'écoulement (ne doit pas dépasser 0.3m/s) ; ➢ Tr : Temps de rétention (environ 1 min) ➢ l : Largeur du séparateur (m) ; ➢ $V_{sép}$: Volume du séparateur (m^3) ; ➢ h : Hauteur du séparateur.
$L = V_é \times T_r$	
$l = \frac{S_h}{L}$	
$V_{sép} = Q_p \times T_s$	
$h = \frac{V_{sép}}{S}$	

La surface horizontale du séparateur indique la surface totale adéquate à l'opération de flottement des huiles existantes dans les eaux usées, la longueur du séparateur est liée essentiellement à la vitesse d'écoulement de l'effluent qui ne doit pas dépasser 0,3 m/s et le volume du séparateur dépend du temps de séjour des eaux dans le séparateur et le débit de pointe à l'entrée du séparateur. Le rapport indiquant le bon fonctionnement (théorique) de l'ouvrage déshuileur est indiqué comme suit (Souabi, 2010) : $12 < \frac{L}{H_{max}} < 15$.

- **Décanteur primaire**

Les décanteurs primaires sont les ouvrages placés directement après le déshuileur et juste avant le bassin biologique (bassin d'aération). Ils ont pour rôle d'éliminer environ 60% des matières en suspension et environ 35% de la concentration de la DBO_5. Le temps de rétention dans ces ouvrages ne dépasse pas 1 heure et 30 minutes. Le taux de débordement (déversement) est généralement de l'ordre de $2.5 m^3/h/m^2$ (Souabi, 2010).

Le dimensionnement du décanteur primaire s'effectue en adoptant la supposition que la décantation s'effectue dans un seul ouvrage de décantation, ce qui explique le calcul de la surface totale (S_t) et le temps de rétention est un paramètre qui informe sur la durée du passage de l'eau usée dans l'ouvrage avant de passer à l'étape suivante. Le volume unitaire du décanteur constitue le volume par bassin, le rapport (V_t/V_0) indique le nombre de bassins à mettre en place pour avoir une décantation adéquate relative à un taux de débordement (τ) ; ce rapport est corrigé une deuxième fois afin de calculer le volume unitaire par bassin (V_u) et ensuite la surface occupée par chaque décanteur (S_u).

La quantité de boues produites par les décanteurs primaires est déterminée en se basant sur la concentration des matières en suspension (MES), le rendement de décantation des MES (60%) et le débit de pointe. La quantité décantée fera l'objet du dimensionnement d'une fosse à boue qui à son tour dimensionnée en tenant en compte de nombre d'extraction (T) des boues par jour

Le tableau ci-après synthétise les formules de dimensionnement de l'ouvrage de décantation primaire.

Tableau 72 : Formules du dimensionnement du décanteur primaire (Souabi, 2010)

Formules	
$S_t = \frac{Q_p}{\tau}$	Avec : ➢ S_t : Surface totale de décantation (m^2) ; ➢ Qp : Débit à l'entrée du décanteur (m^3/s) ; ➢ τ : Taux de débordement (2,5 $m^3/h/m^2$) ; ➢ H : Hauteur du bassin (m) ; ➢ T_R : Temps de rétention (1,5 h) ; ➢ V_t : Volume total des décanteurs (m^3) ; ➢ V_0 : Volume unitaire du décanteur (m^3) ; ➢ N : Nombre des décanteurs nécessaires ; ➢ Vu : Volume utile par décanteur ; ➢ Su : Surface utile par décanteur ; ➢ B : Quantité des boues produites (T/j) ; ➢ [MES] : Concentration des matières en suspension (mg/l) ; ➢ V_{boues} : Volume des boues produites (m^3) ; ➢ V_{fosses} : Volume des fosses à boues (m^3).
$H = \tau \times T_r$	
$V_t = S_t \times H$	
$V_o = \frac{Q_p}{T_r}$	
$N = \frac{V_t}{V_o}$	
$V_u = \frac{V_t}{N}$	
$S_u = \frac{V_u}{H}$	
$B = 0{,}6 \times [MES] \times Q_p$	
$V_{boues} = \frac{100}{3} \times \frac{B}{N}$	
$V_{fosses} = \frac{V}{T}$	

- **Bassin biologique**

Le bassin biologique est l'étape la plus importante dans le traitement des effluents par boues activées vu qu'il constitue l'étape de traitement avec laquelle se fait la distinction des autres procédés. Dans le bassin biologique la DBO_5 est exclusivement traitée, en insufflant l'oxygène par le biais des pompes pour favoriser l'activité bactérienne de la biomasse aérobie. Un recyclage est recommandé afin de garder un ensemencement régularisé de la biomasse dans cet ouvrage (Mouhir, 2010).

Le dimensionnement du bassin biologique est lié à la charge polluante en DBO_5, le temps de séjour des eaux et le taux de recyclage (débit de recyclage q). La charge massique (C_m) définit la quantité de pollution à traiter par jour. L'objectif principal durant cette phase de calcul est la détermination du volume du bassin biologique et la quantité d'oxygène nécessaire pour les micro-organismes afin de dégrader la pollution existante dans l'effluent à traiter. Le tableau ci-après présente l'expression mathématique des formules de dimensionnement du bassin biologique (nommé aussi bassin d'aération).

Tableau 73 : Formules du dimensionnement du bassin biologique (EMI, 2008), (Souabi, 2010)

Formules	
$V = (Q + q) \times Ts$	Avec : ➢ V : Volume du bassin d'aération (m^3) ; ➢ Q : débit moyen (m^3/j) ; ➢ q : débit recyclé (m^3/j) ; ➢ T_s : Temps de séjour (20 heures) ; ➢ C_m : Charge massique (kg DBO_5/Kg MVS/J); ➢ Q_p : Débit à l'entrée du bassin (m^3/j) ; ➢ S_0 : DBO_5 à l'entrée du bassin (kg/m^3) ; ➢ X : Concentration des solides (Kg/m^3) ; ➢ TRS : Temps de rétention des solides (jour) ; ➢ y : Coefficient de croissance de la masse biologique (y = 0,65) ; ➢ b : Coefficient de croissance des micro-organismes (b = 0,06 J^{-1}) ; ➢ TRH : Temps de rétention hydraulique (jour) ; ➢ S : DBO_5 à la sortie du bassin (kg/m^3) ; ➢ C_v : Charge Volumique ; ➢ B : Quantité des boues produites ; ➢ O_2 : Quantité d'oxygène nécessaire (m^3/j) ; ➢ ρ_{air} : masse volumique de l'O_2.
$C_m = \frac{Q_p \times S_0}{X \times V}$	
$TRS = \left[\frac{1}{(E \times y \times C_m) - b}\right]$	
$TRH = \left[\frac{y(S_0 - S) \times TRS}{(1 + b \times TRS) \times X}\right]$	
$C_v = \frac{Q \times S_0}{V}$	
$B = \frac{X \times V}{TRS}$	
$Q_2 = \frac{Q(S_0 - S) + 1{,}42\ \frac{X \times V}{TRS}}{\rho_{air}}$	

Les paramètres de dimensionnement pris en compte pour la conception du bassin biologique sont présentés sur le tableau ci-après.

Tableau 74 : Valeurs des paramètres liés au bassin d'aération

S = 30 mg / l	E= (S_0 – S) / S_0 = 87,52%
S_0=[DBO_5] x 0,65	X=2000 mg/L
R=X / (Xr – X) = 50%	y = 0.65 et b =0.06 J^{-1}
q = 0,5 x Q	Ts = 20 heures

➢ **Décanteur secondaire (clarificateur)**

La décantation secondaire est l'opération ultime avant de remettre l'eau épurée dans le milieu naturel. Le principe de dimensionnement du clarificateur est le même que celui des décanteurs primaires sauf qu'il faut prendre en compte le débit recyclé durant l'étape du bassin biologique. A la base de la surface occupée par chaque bassin et la hauteur liée au taux de débordement bien déterminé, le diamètre de chaque clarificateur peut être déduit, ensuite les eaux rejoignent la goulotte qui représente la zone de sortie des eaux du clarificateur (Annexe VII.3). L'expression mathématique des formules de dimensionnement du clarificateur sera comme suit :

Tableau 75 : Formules des calculs pour dimensionnement du bassin biologique (Souabi, 2010)

Formules	
$S_t = \frac{(Q+q)}{\tau}$	Avec : ➢ St : Surface totale de décantation (m²) ; ➢ Q : Débit de conception (m^3/s) ; ➢ q : Débit de recyclage (m^3/s) ; ➢ τ : Taux de débordement (2,5 m^3/h/m²) ; ➢ S_u : Surface unitaire du décanteur (m²) ; ➢ H : Hauteur du bassin (m) ; ➢ Tr : Temps de rétention (1,5 h) ; ➢ D : Diamètre du bassin (m) ; ➢ H_g : Hauteur de la goulotte (m) ; ➢ B : Largeur de la goulotte (m).
$S_u = \frac{S_t}{Nbre\ de\ bassins}$	
$H = T_r \times \tau$	
$D = \sqrt{\frac{4 \times S_u}{\pi}}$	
$H_g = \left[\frac{\left(\frac{(Q+q)^2}{Nbre\ de\ bassins}\right)}{4 \times g}\right]^{\frac{1}{5}}$	
$B = 2 \times H$	

➢ **Résultats des calculs**

Les résultats des calculs effectués pour la conception et le dimensionnement de la station d'épuration (nommée STEP site 2) sont synthétisés comme suit :

Tableau 76 : Résultat des calculs du dégrilleur

	Coefficients	Valeurs
Dégrilleur	C	0.4
	e	0.2
	s	0.1
	a	0.67
	V (m/s)	1.2
	Sv (m²)	**3.00**
	Si (m²)	**3.46**

La surface adéquate au dégrillage des effluents à l'entrée de la station d'épuration s'élève à 3.46 m². Il suffit de fixer une largeur pour déduire la hauteur de la grille à mettre en place, sachant que le dégrilleur serait nettoyé mécaniquement.

Tableau 77 : Résultat des calculs du canal amont

Canal amont	Dimensions	Valeurs calculées	Valeurs adoptées
	Longueur (m)	2.5	2.5
	Largeur (m)	1.20	1.5

Le canal amont est coffré de façon à être de 2,5m de longueur et 1,5m de largeur à l'intérieur des parois ; ces dimensions ne prennent pas en considération la largeur des voiles en béton.

Tableau 78 : Résultat des calculs des pertes de charge

Pertes de charge	Coefficients	Valeurs
	β	1.79
	s/e	0.5
	sin Ɵ	0.866
	V (m/s)	1.20
	Δh (m/m)	0.045

Les pertes de charge ont une valeur minimale de 0.045, d'où l'absence de la stagnation des eaux dans le canal même avec une pente minimale de 0.001. Les pertes de charges linéaires dans ce cas ne dépassent pas les 0.11 m.

Tableau 79 : Résultat des calculs du canal aval

Canal aval	Dimensions	Valeurs calculées	Valeurs adoptées
	L (m)	2.50	2.50
	I (m/m)	0.001	-
	V (m/s)	1.20	-
	H (m)	0.32	0.40
	Hc (m)	0.25	-
	Vc (m/s)	1.56	-
	Rh	0.30	-
	Conditions vérifiées : Vc>V et Hc<H		

Le canal aval a pour rôle d'acheminer les eaux après dégrillage vers le canal parshall dessableur ; les conditions du bon fonctionnement sont vérifiées avec les dimensions adoptées de 2,5/0,4. La vitesse serait réduite avant l'entrée du canal parshall pour favoriser la décantation des matières en suspension (notamment le sable).

Tableau 80 : Résultat des calculs du Parshall dessableur

	Dimensions	Valeurs
Parshall dessableur	W (m)	0.23
	S	0.430
	d	1.22
	C (m)	0.381
	V (m/s)	0.27
	Qa	2.00
	Qr	0.26
	Ha (m)	1.50
	Hmax (m)	1.654
	Hc (m)	0.07
	longueur (m)	24.30
	largeur (m)	2.90
	L/Hmax	14.69
	0.7 x Ha	1.05
	Conditions vérifiées : 14< L/Hmax <15 et Hc<0.7Ha	

La vitesse d'écoulement est conditionnée et limitée de façon à favoriser la décantation des MES. Les conditions du bon fonctionnement sont vérifiées.

Tableau 81 : Résultat des calculs du déshuileur

	Dimensions	Valeurs calculées	Valeurs adoptées
Déshuileur	Sh (m^2)	203.04	203.04
	Sv (m^2)	862.92	862.92
	Longueur (m)	18.00	18.00
	Largeur (m)	11.28	11.28
	Volume (m^3)	287.64	287.64
	Hauteur (m)	1.42	1.42
	L/H	12.71	12.71
	Condition vérifiée : 12< L/H <15		

L'ouvrage déshuileur d'un volume de 288 m^3 permet la séparation des huiles des eaux usées avec une hauteur de 1,42 m, assurant un bon fonctionnement.

Tableau 82 : Résultat des calculs du décanteur primaire

		Valeurs calculées	Valeurs adoptées
Décanteur primaire	τ ($m^3/h/m^2$)	2.50	-
	St (m^2)	1380.67	-
	H (m)	2.40	-
	Volume total (m^3)	3309.47	-
	V_0 (m^3)	2301.12	-
	Nombre de bassins	1.44	2
	Vu (m^3)	1654.74	-
	Su (m^2)	690.34	-
	Diamètre (m)	29.65	-
	V_{boues} (m^3)	455.62	-
	V_{fosses} (m^3)	113.91	-

Pour la décantation primaire, deux décanteurs primaires d'un volume d'environ 1655 m^3 avec une hauteur de 2,4 m, une forme circulaire de façon à éviter la présence des zones mortes (coins pour les bassins rectangulaires), et un diamètre d'environ 30 m. L'extraction de la boue décantée est prévue toutes les 6 heures (soit 4 fois par jour).

Tableau 83 : Résultat des calculs du bassin biologique

	Paramètres	Valeurs calculées
Bassin biologique	Volume total (m^3)	103550.40
	C_m ($kgDBO_5$/kg MVS/J	0.96
	Charge volumique	0.17
	Boues produites (kg/j)	10092.02
	O2 (m^3/j)	24569.65
	Nombre des bassins	2
	Volume par bassin (m^3)	51775.20
	Diamètre du bassin (m)	148.00

Le volume total du bassin biologique s'élève à 103550 m^3, qui exige une répartition en deux bassins. Le diamètre du bassin biologique est d'une valeur de 148 m en tenant compte du flux partagé entre les deux bassins biologiques opérationnels en même temps. Le volume d'oxygène nécessaire à l'activité bactérienne est d'environ 24570 m^3 par jour.

Tableau 84 : Résultat des calculs du clarificateur

		Valeurs calculées
Clarificateur	St (m²)	2071.01
	Su (m²)	1035.50
	H (m)	3.75
	Diamètre (m)	36.32
	H goulotte (m)	0.42
	Largeur goulotte (m)	0.84

La surface totale du clarificateur calculée est de 2071 m², en préconisant l'implantation de deux clarificateurs d'une surface de 1035 m² chacun avec une hauteur moyenne de 3,75 m et une goulotte de sortie coffrée à 0.84/0.42.

I.4. Réhabilitation et protection du collecteur Boufekrane

La zone de Boufekrane, comme on l'a synthétisé dans le chapitre relatif aux points noirs d'assainissement de la ville de Fès, représente une zone à risque de déversement des eaux usées brutes dans le milieu naturel ; ces eaux rejoignent l'Oued Boufekrane et puis l'Oued Boukhrareb au niveau de Bab Jdid Rcif

I.4.1. Déplacement du réseau existant

La solution proposée dans ce sens a pour objectif conserver le réseau d'assainissement, prolonger sa vie effective et améliorer sa performance fonctionnelle. La réhabilitation structurelle de ce tronçon peut se concrétiser par l'implantation de nouvelles conduites à la place de l'ancienne (dégradée), avec une profondeur d'environ 6 m et une couche de protection de 2 m.

Le fonctionnement de la conduite projetée est le même que l'ouvrage primitif, cette méthode de réhabilitation est couramment utilisée jusqu'à présent pour faire face à la détérioration des équipements. L'estimation financière de ce projet s'élève à 4.718.304,00 dirhams TTC (Annexe II.2) qui substitue le handicap majeur pour sa concrétisation d'une part et les possibilités d'application éventuellement limités dans le sens où il faut exécuter les travaux dans des terres privées et occupées par les acteurs responsables de sa détérioration d'autre part. Le profil en long de la conduite projetée est présenté en annexe VI.2.

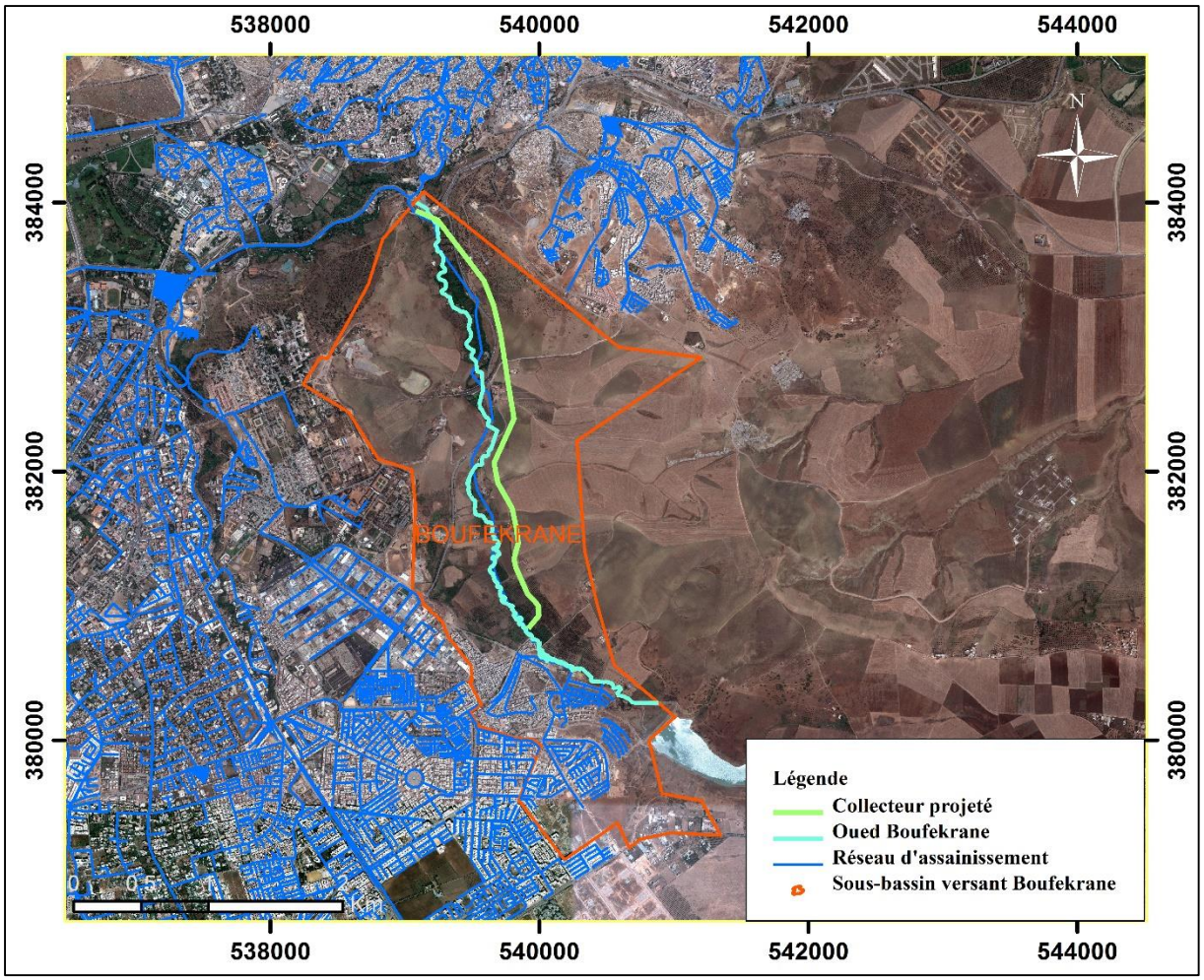


Figure 108 : Déviation du collecteur Boufekrane

I.4.2. Renouvellement et renforcement

Cette solution comprend deux volets, le premier consiste en la substitution de la conduite existante par une autre de taille plus grande (Annexe II .1) tout en gardant le même tracé et itinéraire d'écoulement. La possibilité d'augmentation de la capacité hydraulique est facile à atteindre malgré l'existence d'une contrainte liée à la capacité des tronçons avals incapables d'évacuer les débits de pointe (vu qu'ils ne sont pas concernés par un renforcement hydraulique « jusqu'à présent »). Le deuxième volet de cette solution vise la construction et la pose d'une nouvelle conduite parallèle à celle existante ; cette solution augmente la capacité d'écoulement du réseau. La conduite additionnelle a pour objectif de transporter un pourcentage des effluents de l'amont de la section surchargée à l'aval du même réseau, avec les mêmes difficultés que celles de la solution de déplacement.

II. Gestion en aval

La gestion en aval prend généralement une ampleur curative plus que préventive, la vision qui a permis de proposer des solutions préventives (gestion en amont) s'intègre dans la gestion durable et se projette sur les années ultérieures. L'objectif principal est de pérenniser la durée de vie des ouvrages d'assainissement existants tout en adoptant des

techniques qui vont permettre de stopper et laminer les flux en amont.

La gestion en aval se concrétise généralement par les opérations de curage et débouchage qui améliorent relativement la capacité d'écoulement en éliminant tout débris susceptible de bloquer l'évacuation.

Le chemisage déjà adopté comme méthode de protection et de réhabilitation du réseau d'assainissement (notamment les ovoïdes) peut être classé comme intervention curative vu qu'il vise les conduites principales en aval de la zone de production. Le montant pour réaliser ces travaux (éventuellement élevé) peut servir à mettre en place des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales ; dans ce cas le gain est double du fait que l'investissement en amont pourrait dispenser les gestionnaires des travaux en aval.

III. Conclusion

Les solutions techniques proposées, pour protéger la ville de Fès contre les débordements du réseau d'assainissement, visent aussi la protection de l'environnement contre la pollution par les déversements des eaux usées. Elles s'articulent sur l'intégration des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, la fragmentation des rejets de la ville et le déplacement des collecteurs présentant un risque sur l'environnement.

L'adoption des solutions proposées porte en elle-même une vision respectant les concepts de la durabilité et la gestion de l'amont qui permettent la protection de l'aval tout en gardant un écoulement normal des effluents dans les collecteurs principaux en temps pluvieux.

Conclusions et recommandations

Les travaux effectués durant ces années de recherches ont pour objectif l'étude de l'impact de l'extension urbaine sur le réseau d'assainissement, les risques d'inondation et l'agriculture urbaine dans la ville de Fès.

La démarche adoptée basée essentiellement sur les données de l'urbanisation de la ville de Fès, les surfaces urbanisées au cours des années précédentes, a permis de simuler les surfaces potentiellement urbanisables au futur. Les orientations des différents plans d'aménagement de la ville de Fès et les tendances de l'extension urbaine vers l'Ouest et le Sud à l'encontre du sens d'écoulement des collecteurs d'assainissement et des Oueds de la ville sont les précurseurs de poser la question sur l'impact de l'extension urbaine sur le réseau d'assainissement liquide posé durant les années passées.

Les plans d'aménagement adoptés successivement pour la ville de Fès ont orienté son extension vers l'Ouest et le Sud, ce qui constitue l'origine de la problématique vu qu'elle s'effectue à l'encontre du sens d'écoulement de l'assainissement et des Oueds, d'où la tendance à surcharger les collecteurs avals qui acheminaient les débits de pointe d'une surface d'apport assez limitée par rapport à celle de l'état actuel. Aujourd'hui, ces collecteurs demeurent chargés d'acheminer les eaux usées et pluviales d'une surface plus étalée par rapport à l'état initiale, additionnée à l'usage non conforme du réseau d'assainissement. Il sera malheureusement plus vulnérable à des éventuels dysfonctionnements conduisant des risques beaucoup plus importants qu'avant.

Le résultat de la simulation par le modèle SLEUTH montre que la surface urbanisée atteindra 9370 hectares en 2032, la majorité de la surface urbanisée est sur terre fertile ayant un potentiel agricole élevé, notamment les zones de route Meknès, route Ain Chkef et route Imouzzer (Oulad Tayeb). La perte des surfaces agricoles et fertiles se traduit par un accroissement considérable du coefficient de ruissellement, donc un débit des eaux pluviales plus important à acheminer (à canaliser) pour atteindre l'exutoire tout en évitant les risques de débordement.

L'idée de recours au système d'assainissement pseudo-séparatif pour les nouvelles zones aménagées de la ville de Fès s'est développée dans le but de profiter du réseau hydrographique comme exutoire du réseau pluvial, à cette époque l'objectif visé était de minimiser les diamètres du réseau pluvial en aval et ensuite éviter les fluctuations des charges polluantes à l'entrée de la station d'épuration qui était à l'époque en projet de réalisation.

Dans cette optique, une simulation d'écoulement de l'Oued Fès pour le tronçon en amont du pont Saâdyine a été effectuée pour savoir si le pont (dalot triple ouverture) est capable d'acheminer le débit de pointe lors des averses de période de retour décennale. Le résultat montre qu'après raccordement des eaux pluviales, l'ouvrage ne sera pas capable d'acheminer le débit de pointe et rendrait sa zone amont (en cours d'aménagement) plus vulnérable à des débordements durant la période pluvieuse.

De point de vue écoulement, l'extension vers l'Ouest peut être considérée comme erreur vu que cette zone ouest présente des altitudes inférieures à celles des zones en aval. A cette époque (les années 1990 et 2000), le raccordement des collecteurs d'assainissement de cette zone avec le réseau existant était impossible (dénivelé de 9 mètres) ce qui explique le recours vers le relevage. Les décideurs ont privilégié le relevage que l'implantation d'un collecteur de délestage permettant de récupérer cette dénivelée en aval. Avec l'extension, le débit est devenu encore plus important, chose qui a imposé l'extension de cette station par l'ajout des vises d'Archimède et des pompes. Les dysfonctionnements constatés, après extension, mettent la zone amont (notamment le collecteur Massira-Dokkarat) en situation de blocage d'écoulement.

Le suivi du sous-bassin versant Boufekrane durant l'année 2017, montre que le collecteur drainant cette zone enregistre plusieurs débordements dus aux blocages menés par les agriculteurs riverains afin d'irriguer leurs parcelles durant les mois d'été et à l'insuffisance hydraulique du collecteur ayant un diamètre de 600 mm. Ce collecteur a sept points d'intersection avec l'Oued Boufekrane en amont de Bab Jdid Rcif. Tout blocage d'écoulement engendre un débordement des eaux usées qui rejoignent l'Oued Jawahir (Oued Fès aval) provoquant le dégagement d'odeurs nauséabondes (le risque de contamination à ce point est donc important).

Les débordements du collecteur drainant le quartier industriel Sâada Ain Nokbi présentent une véritable nuisance pour le milieu naturel tenant compte de la nature de l'effluent riche en chrome. Il faut donc réhabiliter ce collecteur pour améliorer ses conditions d'écoulement et multiplier le nombre d'interventions de collecte de ces effluents afin qu'ils subissent le traitement adéquat à la station de déchromatation Dokkarat.

Les déversoirs d'orage implantés dans différents points du réseau d'assainissement de la ville de Fès servent à soulager l'aval en laminant le débit de pointe par le délestage vers les Oueds traversant la ville. Aucune preuve de contamination n'a été entretenue jusqu'à présent sauf que la notion de charge polluante doit être prise en compte, une recherche plus approfondie dans ce sens est essentielle pour conclure s'ils ont un effet sur le milieu récepteur.

L'étude du comportement du réseau d'assainissement aval est basée sur le calcul des débits de pointe en affectant le coefficient de ruissellement à l'horizon 2032 et son application sur différents tronçons du réseau d'assainissement existant. Le résultat obtenu montre une insuffisance hydraulique variant entre 18.21% et 94.48%, ce qui répond à la question posée au début de la recherche. Il s'avère que le réseau d'assainissement ne sera pas capable d'acheminer les débits de pointe lors des averses de période de retour décennale.

Les solutions proposées pour cette problématique adoptent des plans d'action pour chaque type d'anomalie, comme la mise en place des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales qui permet de laminer les débits de pointe en amont et de restituer ces débits sous forme d'un débit minimal sans affecter l'écoulement normal en aval. La zone de route Meknès a fait l'objet d'une étude de laminage du débit de pointe, prévoyant la mise en place dans les futurs aménagements de la ville de façon à éviter les risques de débordements.

L'état des espaces verts de la ville de Fès, devenus de plus en plus rares, demande une intervention rapide pour les remettre à niveau. La réutilisation des eaux pluviales pour l'arrosage de ces espaces valorise cette ressource (eau pluviale) et minimise le débit des eaux pluviales en aval. La surface adéquate de l'impluvium pour garantir le volume d'arrosage demandé peut être atteinte à partir des surfaces des voies publiques et des places imperméabilisées. Cependant reste difficile d'instaurer actuellement ce système vu son estimation financière élevée.

De point de vue quantitatif, le débit des eaux épurées issues de la station d'épuration de la ville de Fès peut satisfaire les besoins en eau d'irrigation des champs agricoles périurbains adjacents à la station. La comparaison des paramètres évalués avec les normes fixées par le recueil du Ministère délégué auprès du Ministère de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement chargé de l'eau (2015) se montre favorable pour la réutilisation de ces eaux. Le système d'irrigation localisée (goutte à goutte) est recommandé dans cette zone vu qu'il préconise la réalisation d'une station de filtration par parcelle (subventionnée par l'état dans le cadre du fond de développement agricole -FDA-).

La décision finale ne peut être prise qu'après la réalisation d'analyses chimiques et bactériologiques approfondies. Afin de préserver la santé publique, chaque décision doit être basée sur le maximum des garanties possibles.

Le risque de débordement des eaux usées dans le sous-bassin versant Boufekrane peut être éliminé par la réhabilitation et le déplacement du collecteur. En effet la réhabilitation permet d'augmenter sa capacité d'évacuation en adoptant une canalisation de 800 mm au lieu de 600 mm de diamètre alors que le déplacement permet d'éviter le contact direct (points d'intersections) du collecteur avec l'Oued Boufekrane (éviter les points d'intersections).

Le raccordement gravitaire du collecteur Massira-Dokkarat avec l'intercepteur aval sur une longueur de 2900 m permet d'éliminer la station de relevage et rendre l'écoulement plus fluide lors de la pointe.

La fragmentation des rejets de la ville de Fès permettra la séparation des débits issus des deux sous-bassins versants Massira-Dokkarat et Wifaq, dont les rejets faisant appel à la mise en place d'une station d'épuration (Boues activées). Le dimensionnement de cette station était basé essentiellement sur les paramètres chimiques et hydrauliques. Reste à choisir le site de cette station qui dépend de plusieurs facteurs (l'espace foncier, le coût et l'investissement).

La notion de l'agriculture périurbaine doit être soumise comme sujet de recherche plus approfondie afin de savoir à quel point l'extension urbaine a payé ses frais, en intégrant le côté socio-économique des agriculteurs et leur devenir.

Les solutions proposées visent essentiellement la protection de l'environnement et la pérennisation de la durée de vie des ouvrages d'assainissement. Leur concrétisation ne peut se faire que par l'adoption d'une approche participative réunissant tous les intervenants des secteurs de l'urbanisme, de l'eau et de l'environnement de la ville.

Bibliographie

ABHS., (2012) – Etude du plan directeur de la collecte des eaux pluviales au niveau du bassin du Sebou, p30.

ABHS., (2015) – Données de pluviométrie de la station DRH-Fès, (X : 535400 ; Y : 384800).

ABHS., (2007) - Evaluation des ressources en eaux souterraines – Note de synthèse, 108p.

ABHS., (2007) - Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou. Note de Synthèse, Fès, 120p.

AFNOR, Normes Marocaines., (2003) – Fiche technique des ouvrages assainissement, document N° 2005218 / E / MII.

Agence de l'eau Rhin-Meuse (AFEM)., (2007) – Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse : Fiche 07 : le lagunage naturel, 1-3p.

Agence de l'eau Rhin-Meuse (AFEM)., (2007) – Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse : Fiche 08 : le lagunage aéré, 1-2p.

Agence de l'eau Rhin-Meuse (AFEM)., (2007) – Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse : Fiche 05 : Boues activées, 2-3p.

Agence urbaine et sauvegarde Fès (AUSF)., (2008) – données urbanistique de la ville de Fès et sa périphérie.

Agence urbaine et sauvegarde Fès (AUSF)., (2014) – Rapport de diagnostic des espaces verts de la ville.

Agreste., (2002) – 44% des exploitations dans l'urbain ou le périurbain, Primeur, N° 117, 4p.

Aguejdad. R, Doukari. O, Houet. T, Avner. P, Viguié. V., (2016) – Etalement urbain et géoprospective : apports et limites des modèles de spatialisation : Application aux modèles SLEUTH, LCM et NEDUM-2D, Cybergeo : revue européenne de géographie, document N°782.

Ahmamou. M., (1987) - Etude sédimentologique des calcaires lacustres Saïssiens (Plioquaternaire du bassin de Fès - Meknès (Maroc). Thèse, Marseille, 166 p.

Alami. T., (2012) – Aménagement urbain de Casablanca – Anfa : Etude du réseau d'assainissement des eaux pluviales des eaux pluviales, IAV Hassan II, Rabat, 94p.

Amarti Riffi. S., (2013) – Gérer le réseau d'assainissement de la ville de Fès : collecter, traiter, valoriser, revue HTE n° 155, 29p.

Asraou. I., (2013) – Procédés de traitement des eaux usées à la station d'épuration-Fès, Faculté des sciences et techniques Fès.

Bacchialoni. M., (2001) – Quelle agriculture pour les espaces périurbains ? L'exemple de la Côte-de- Beaupré au Québec. Labyrinthe, n9.

Bailly. A, Huriot J-M.., (1999) – Villes et croissance : théories, modèles, perspectives. Anthropos, Economica, Paris.

Beaudry. J.P., (1984) – Traitement des eaux, Edition le Griffon d'Aigle Inc, 231p.

Bennasr. A., (2003) – Etalement urbain de Sfax, revue Tunisienne de Géographie, 3 p.

Boily. M., (2012) – L'agriculture périurbaine et urbaine au Québec : état de situation et perspectives, Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec.

Bouadoud. A, Bensaber. I, Assabar N., (2013) - Utilisation du SIG pour la cartographie urbaine (cas de la ville de Fès), Faculté des sciences et techniques Fès.

Boucher. I., (2009) – D'agriculture urbaine à urbanisme agricole : une participation au développement durable, une contribution à la production alimentaire. Document de veille, ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire.

Boukir. H., (1995) - Croissance urbaine et problème de l'eau dans la Médina de Fès, les conséquences sanitaires. Contribution à l'analyse de la relation population – environnement en milieu urbain, 108 p.

Boumir. K., (1990) - Paléoenvironnements de dépôt et transformations post-sédimentaires de sables fauves du bassin du Saïs (Maroc). Thèse Univ. Nancy I, 176p.

Boutfirass. M., (2011) – Techniques de récolte des eaux pluviales : leur utilisation et leur potentiel au Maroc, Agence de bassin hydraulique de Souss Massa Darâa Agadir.

Breque. J., (1979) – Le Maghreb entre les deux guerres.

Brigitte. P., (1994) – L'agriculture périurbaine : analyse d'une marginalité, Bulletin de l'Association de géographes français.

Bryant. C, Marios. C., (1998) – Franges et agricultures périurbaines dans la région de Montréal : Visages et défis d'une métropole, Presses de l'Université de Montréal, 159-170p.

Calderat. F., (1982) – Les mutations des modes d'urbanisation à Fès, thèse de 3ème cycle. Paris I, 149 p.

Candau. J., (2002) – Temporal calibration sensitivity of the SLEUTH urban growth model", Master's thesis, Department of Geography, University of California, Santa Barbara, CA

Chahine. G., (2011) – L'autre agriculture urbaine en zone métropolitaine : une recherche action sur les opportunités de mise en valeur et développement de l'agriculture périurbaine montréalaise. VertigO, vol. 11, n° 1.

Charrière. A., (1984) - Evolution néogène de bassins continentaux et marins dans le Moyen Atlas central (Maroc). Bull. Soc. Géol. France, 7, t. XXVI, n°6. p. 1127-1136.

Clarke. K, Gaydos. L., (1998) – Long term urban growth prediction using a cellular automaton model and GIS : Applications in San Francisco and Washington/Baltimore, International Journal of Geographical Information Science, vol. 12, No. 7, 699–714p.

Comité économique et social européen., (2016) – l'avenir du programme urbain de l'union Européenne. Communauté urbaine du grand Toulouse., (2009) – Guide de gestion des eaux de pluie et de ruissellement.

Couscous. A, Baali. A, Elibrahimi. A, El kamel. T., (2015) – Increase of the runoff coefficient, hydrological simulation and risks of flooding in the Oued fez upstream (fez, morocco), IJETCR, Volume 3, Issue 4, July-August-2015, Page No. 62-73.

Dacharry. M., (1984) – Spécificité de l'hydrologie urbaine (Specificity of urbanhydrology). Bulletin de l'Association de géographes français, 61(500), 99-109p.

Degrémont. M., (1978) – Mémento technique de l'eau : 8ème édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1200p.

Degrémont. M., (1989) – Mémento technique de l'eau : 1, 9ème Edition technique et documentation Lavoisier, 592p.

Detier. J., (1970) – 60 ans d'urbanisme au Maroc : l'évolution des idées des dictorines et des stratégies d'intervention de 1910 à 1975. Université de Princeton.

Dietzel. C, Clarke. K., (2007) – Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model, Transactions in GIS, vol. 11, No. 1, 29–45p.

Dunne. Th, Leopold. L.B., (1978) – Water in environmental planning, Freeman and, San Fransisco.

Ecole Mohammedia des ingénieurs (EMI)., (2008) – Dimensionnement des stations d'épuration. Rapport technique.

El Arabi. H., (1987) - Etude stratigraphique et sédimentologique du lias aux confins du Causse moyen-atlasique et du Moyen-Atlas plissé Maroc. Thèse de 3ème cycle, Toulouse. 199p.

El Jihad. M-D., (2005) - Croissance urbaine et problèmes d'assainissement liquide et pluvial dans le bassin du Srou (Maroc central), Sècheresse, vol. 16, N° 1, Janvier-Février-Mars, 2005 p3.

El Ouali Lalami. A., (2011) - pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc : typologie, origine et conséquences, Larhyss journal, N° 09, pp. 55-72.

Epaulard. E., (1981) - Description de l'Afrique, Leon l'africain Maisonneuve, Paris, vol 1. 181p.

Escallier. R., (1981) – Citadins et espace urbain au Maroc. Fascicule de recherche N°8-9, université de Tours e de Poitiers, 10 p.

FAO., (1999) – Comité de l'agriculture, agriculture urbaine et périurbaine, Rome, Italie.

Fejjal. A., (1994) – Fès : héritages et dynamiques urbaines actuelles. Tome II. Université de Tours. 435 p.

Foucault. M., (1969) - L'archéologie du savoir. Deuxième partie : L'hydraulique médiévale de Fès et de sa région, chapitre. I : Fès : le lieu et les hommes. Gallimard, Paris, 1969, p. 18.

Gaillard. H., (1905) - Une ville de l'islam : Fès. Groupe Teknika., Groupe Gauthier, Biancamano, Bolduc., (2004) – Rapport final de l'étude sectorielle sur la gestion de l'urbanisation (ville de Sherbooke).

Groupement de Bureaux d'Etudes BRLI-GERSAR/ADI., (2013) - les études du Plan Directeur d'Assainissement de la ville d'Oujda.

Groupement URAM (2017) - Etude du schéma directeur d'aménagement du grand Fès : phase I. Analyse territorial et enjeux de développement.

Hakem. A., (2006) - Synthèse technique les systèmes économes en eau, ENGREEF

Hamdani. N., (2015) - Monographie des Ressources en Eau de la Région de Fès-Meknès, Faculté des sciences et techniques Fès.

Hoddé. R, Rossi. Y., (2001/2002) - les conséquences du protectorat français à Fès, Maroc. Répartition des logements européens par la population marocaine après l'indépendance (1956).

Jantz. C, Goetz. S., (2005) - Analysis of scale dependencies in an urban land-use change model", International Journal of Geographical Information Science, vol. 19, No. 2, 217– 241p.

Jelidi. C., (2007) - La fabrication d'une nouvelle ville sous le protectorat français au Maroc (1912-1956) : Fès-Nouvelle. Université de Tours, 462 - 469 p.

Julien. W, Abdelali. T., (2009) - Requalification du centre-ville de Lure. INSA de Strasbourg, 6p.

Khaissidi. C., (2013) - Elaboration de la carte de risque global de l'oued Fès en périmètre urbain de la ville de Fès, Faculté des sciences et techniques Fès.

Le Tourneau. R., (1950) - Fès avant le protectorat, 233p.

Le Tourneau. R., (1965) - La vie quotidienne à Fès en 1900.

Marrast. J, Vois. A., (1960) - l'œuvre d'H. Prost urbanisme et architecture.

MEEDDAT (Ministère de l'écologie de l'énergie du développement durable et de l'aménagement du territoire)., (2009) - Le ruissellement urbain et les inondations soudaines : connaissance, prévention, prévision et alerte.

Meylan. P, Favre. A-C, Musy. A., (2008) - Hydrologie fréquentielle : une science prédictive, Lausanne, PPUR, coll, Science et ingénierie de l'environnement, 174p.

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (MAPM)., (2013) - Etude d'impact de l'urbanisation sur les terres agricoles et l'élaboration d'un plan d'action pour la protection des terres agricoles autour des centres urbains et ruraux.

Ministère de l'Aménagement au Maroc., (1952) - L'urbanisme au Maroc, Rapport du ministère de l'aménagement au Maroc.

Ministère de l'Environnement du Québec., (1989) - Directives Réseaux d'égout Normes et exigences, 15 p.

Ministère de l'Equipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer – France (METLTM), (2003) – Fascicule N°70 : Ouvrages de recueil, de restitution et de stockage des eaux pluviales. Bulletin officiel-France, Novembre 2003.

Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau., (2015) - Recueil des textes juridiques relatifs aux ressources en eau au Maroc (2015), p 325.

Ministère du Plan., (1973) - Plan de développement économique et social, 1973-1977.

Mohamed. Z., (2014) - Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de Méghibra, département des sciences et technologie, université d'ELOUED Algérie, 33p.

Mouhir. L., (2011) - Traitement des eaux usées par procédés des boues activées. Laboratoire de génie de l'eau et de l'environnement, Faculté des sciences et techniques. Mohammedia.

NOVEC ingénieurs conseils., (2013) - Phase 1 : Etat des lieux des terres agricoles autour des centres ruraux et urbains et dynamique de l'urbanisation, 64p.

Ouarhache. D., (1987) - Etude géologique dans le Paléozoïque et le Trias de la bordure NW du causse moyen-atlasique (S et SW de Fès, Maroc). Thèse de 3ème cycle, Toulouse, 130 p.

Pearson. H., (2005) - Microbiology of waste stabilisation ponds, Pond Traitement Technology, London : IWA Publishing, 14-48p.

Pinceau. M., (1991) - rapport justificatif du schéma directeur de l'urbanisme de Fès (SDAU).

RADEEF., (2017) - Rapport de division exploitation assainissement.

Régie autonome de distribution de l'eau et électricité de Marrakech (RADEEMA) (2011) - Guide promoteur.

République et Canton de Genève., (2005) - Gestion quantitative des eaux pluviales : version 1.1.

Reynard. E., Lasri. M., Werren. G., Obda. K., Amya. M., Taous. A., (2011) - Carte des phénomènes d'inondation des bassins de Fès et Beni Mellal. Projet, Lausanne, Fès. p8.

Rouquette. L., (2017) - L'agriculture urbaine en Europe : Notes d'analyse, pour la solidarité « Europeanthink& do tank » 7-10p.

Sainteny. G., (2008) - L'étalement urbain, Direction des Etudes économiques et de l'Evaluation environnementale (MEDAD), Responsabilité & environnement N°49.

Sevrin-reyssac. J, De la noûe. J, proulx. D., (1995) - Le recyclage du lisier de porc par lagunage, Edition technique et documentation Lavoisier, 118p.

Souabi. S., (2010) - Conception des filières de traitement, Laboratoire de génie de l'eau et de l'environnement, Faculté des sciences et techniques Mohammedia.

Soussan. C., (2015) - Reconnaissance de l'agriculture urbaine et périurbaine dans les métropoles méditerranéennes. Études de cas : Marseille, Barcelone, Tunis, thèse de recherche, HAL (Archives ouverts).

Taltasse. P., (1950) - Recherches géologiques et hydrologiques dans le bassin lacustre de Fez-Meknes. Etat. Paris.

Taltasse. P., (1953) - Recherches géologiques et hydrogéologiques dans le bassin lacustre de Fès - Meknès. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 115. 300p.

Tharaud. J., (1930) - Fès ou les bourgeois de l'Islam. Ed. Plan-Paris.

Triantakonstantis. D, Mountrakis. G., (2012) - Urban Growth Prediction: A Review of Computational Models and Human Perceptions", Journal of Geographic Information System, vol. 4, 555–587p.

Université Nice-Sophia Antipolis., (2018) - Les enjeux territoriaux de la côte d'Azur.

Valiron. F., (1983) - La réutilisation des eaux usées, Edition technique et documentation, Lavoisier, 207p.

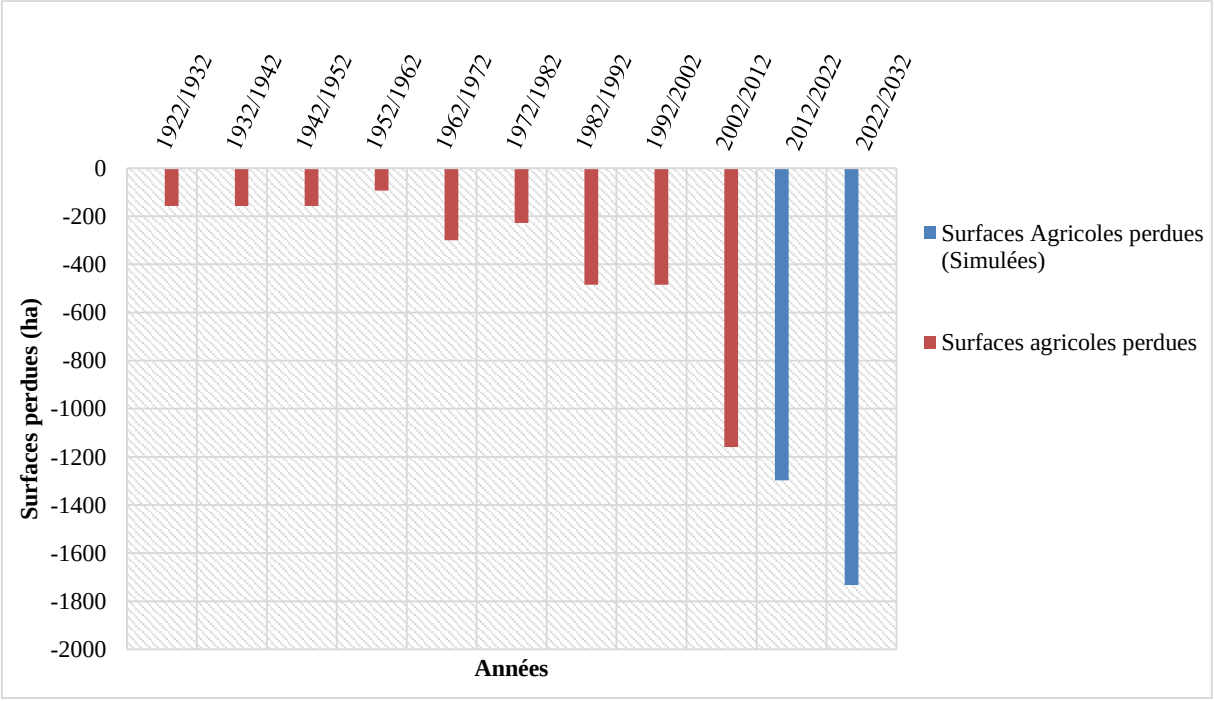
Annexes

Annexe I

Annexe I.1. : Impact de reconversion des zones villas en Immeubles R+4

	Surface approximative	Débit des eaux pluviales (l/min)	Débit des eaux usées (l/min)	Débit total (l/min)	Rapport du débit par unité de surface
Villa	600	311.09	2.8125	313.90	0.52
Immeuble R+4	600	581.76	45.00	626.77	1.04

Annexe I.2: Surfaces agricoles potentielles perdues entre 1922 et 2032



Annexe II

Annexe II.1: Vérification du diamètre proposé pour le sous-bassin versant Boufekran

Sous-bassin versant	Collecteur		
BOUFEKRANE	**Collecteur BOUFEKRANE**	Débit de pointe (m3/s)	1.96
		Ks	0.6
		Pente (I)	0.017
		$\sqrt{I}$	0.1304
		diamètre théorique (m)	0.876
		Diamètre commercialisé (mm)	800
		Débit à pleine section	1.15
		Rapport des débits	1.70
		Vitesse réelle (m/s)	3.89
		Vérification autocurage Vr < 4.5 m/s	**assuré**

Annexe II.2 : Estimation financière (déviation et réhabilitation Boufekrane)

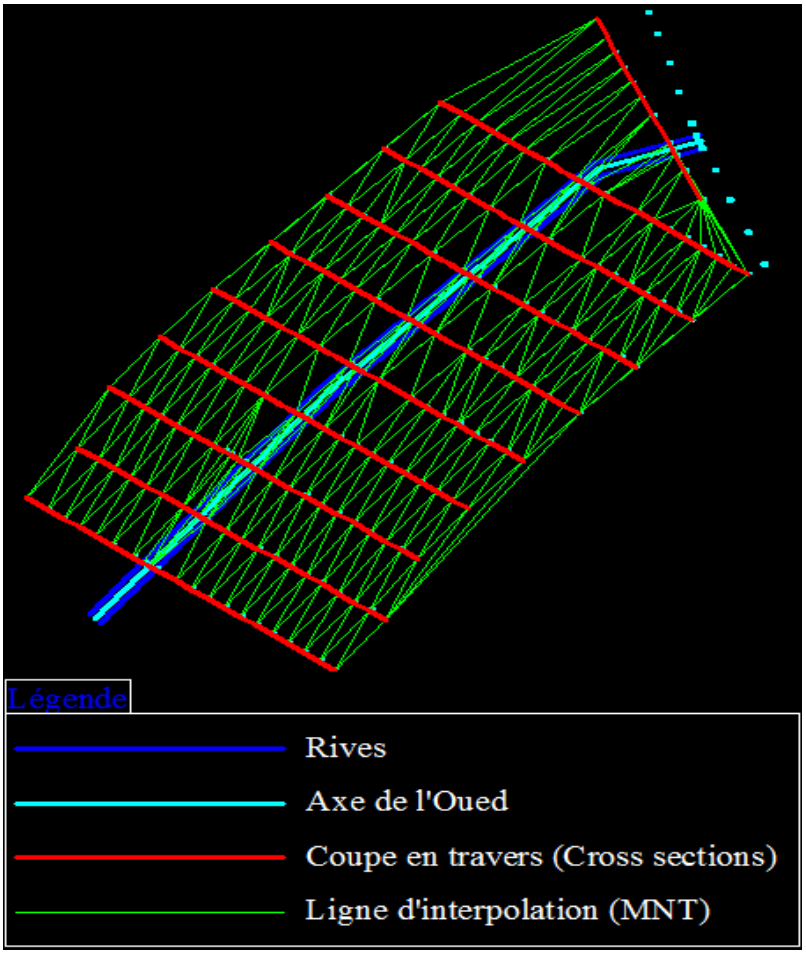
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
1	Terrassement en toute nature du terrain (y compris l'évacuation des déblais, la protection du tranché et le blindage des fouilles)	m^3	16032	60.00	961 920.00
2	Fourniture et mise en place de matériaux d'apport (tout venant de carrière)	mL	1000	100.00	100 000.00
3	Pose de conduite en PEHD DN800	mL	3340	800.00	2 672 000.00
4	Construction des ouvrages annexes	U	30	5 500.00	165 000.00
5	Pose des tampons ouverture 850x850	U	30	1 100.00	33 000.00
	TOTAL H.T				**3 931 920.00**
	TOTAL T.V.A (20%)				**786 384.00**
	TOTAL T.T.C				**4 718 304.00**

Annexe III

Annexe III.1 : Estimation financière (raccordement gravitaire du collecteur Massira-Dokkarat)

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
1	Terrassement en toute nature du terrain	m3	13500	70.00	945 000.00
2	Fonçage pour pose de conduite	mL	1000	4 000.00	4 000 000.00
3	Pose de conduite en CAO	mL	2900	1 100.00	3 190 000.00
4	Fourniture et mise en place de matériaux d'apport extérieurs au chantier (tout venant de carrière)	m3	13500	100.00	1 350 000.00
5	Construction des ouvrages annexes	U	30	15 000.00	450 000.00
6	Pose des tampons ouverture 850x850	U	30	1 000.00	30 000.00
	TOTAL H.T				**9 965 000.00**
	TOTAL T.V.A (20%)				**1 993 000.00**
	TOTAL T.T.C				**11 958 000.00**

Annexe III.2. Levé et interpolation des altitudes Oued Fès (prise Autocad-Covadis)



Annexe IV

Annexe IV.1 : Diamètres proposés pour améliorer les conditions d'écoulement lors de la pointe

	Collecteur	Diamètre adopté (mm)	Diamètre recommandé théorique (m)	Diamètre recommandé commercialisé (mm)
BAB SIFFER	BAB SIFFER	600	0.777	800
	BAB SIFFER	1000	1.299	1200
	BAB SIFFER	1000	1.610	1400
MAS-DOK	MAS-DOK	400	0.691	600
	MAS-DOK	1000	1.439	1200
	MAS-DOK	1000	1.518	1400
	MAS-DOK	1000	1.696	1600
	MAS-DOK	1200	1.775	1600
MIYET	Miyet G	500	1.086	1000
	Miyet D	500	1.157	1000
	Miyet	600	1.638	1400
	Miyet	500	0.828	800
My Abdellah	My Abdellah	600	1.187	1000
	My Abdellah	800	1.380	1200
	My Abdellah	1400	2.223	2000
	My Abdellah	1400	2.364	2000
NORD	Coll Hypodrome	600	1.149	1000
	NORD	1600	2.529	2000
SIDI BRAHIM	COLL S-BRAHIM	600	0.845	1400
	COLL S-BRAHIM	1027	1.396	1800
	COLL S-BRAHIM	1392	1.805	1800
	COLL S-BRAHIM	1392	1.813	1800
BOUFEKRANE	COLL BOUFEKRANE	600	0.876	800
VILLA	COLL BEN ABD ALLAH	400	0.558	800
	COLL BEN ABD ALLAH	600	0.817	1000
	COLL VILLAS	1027	1.408	1800
SUD	COL,SUD	600	0.837	1200
	COL,SUD	600	0.852	1400
WEST	COL WEST	500	0.712	1200
	COL WEST	1000	1.411	2200
	COL WEST	1027	1.382	1600
	COL WEST	1027	1.575	3200
	COL WEST	1392	1.805	1800
	COL,HIMER I	500	0.676	800
	COL,HIMER I	800	1.131	1800
	COL,HIMER II	500	0.749	2800
	COL,HIMER II	1027	1.486	3000
WIFAQ	COL,WIFAQ	800	1.029	1000
	COL,WIFAQ	1000	1.352	1600
	COL,WIFAQ	1027	1.348	1400
	COL,WIFAQ	1027	1.382	1600
	COL,WIFAQ	800	1.143	2000

Annexe V

Annexe V.I : Calcul du volume du bassin de rétention (laminage du débit de pointe)

Coefficient de ruissellement moyen	Superficie (S) en (m²)	Temps de concentration (T)	Débit de fuite (q) En (l/min)	Volume du bassin de rétention (m3)
0.8	100000.0	326.03	29.04	
Diamètre de sortie (mm)	Pente de la conduite de Sortie	K Manning	Qps de sortie	**5 431.202**
400	0.008	100	484	

$$V = a \times C \times S \times T^{(1-b)} \times (q \times T)$$

$$T = a \times C \times S \times \left[\frac{(1-b)}{q}\right]^{\frac{1}{b}}$$

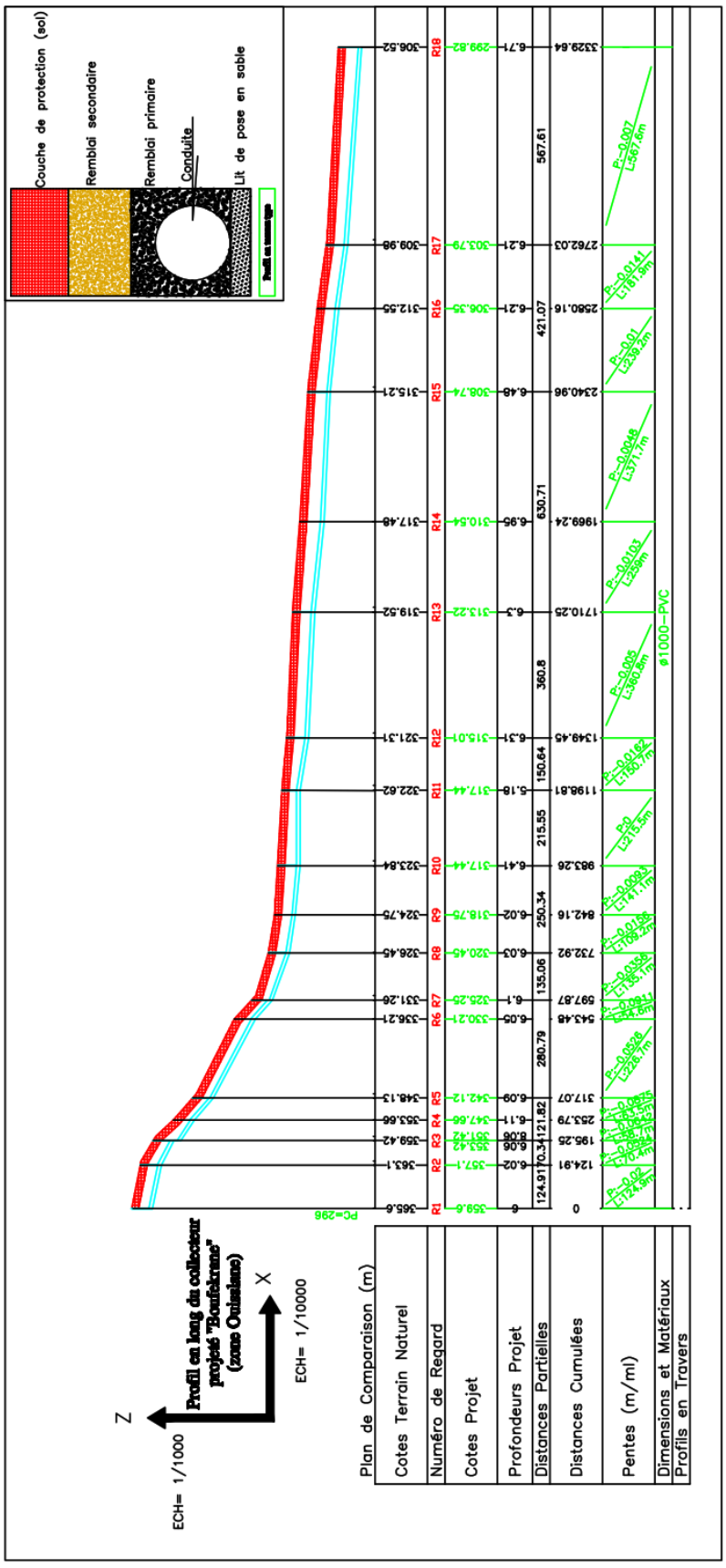
Annexe V.II : Estimation financière du bassin de rétention des eaux pluviales

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
1	Terrassement en toute nature du terrain	m3	6100	10.00	**61 000.00**
2	Béton dosé à 350 kg/m^3	m3	362	600.00	**217 200.00**
3	Armature pour béton	kg	10000	22.00	**220 000.00**
4	Pose d'orifice de sortie	mL	20	400.00	**8 000.00**
5	Pose des tampons ouverture 850x850	U	4	1 100.00	**4 400.00**
	TOTAL H.T				**510 600.00**
	TOTAL T.V.A (20%)				**102 120.00**
	TOTAL T.T.C				**612 720.00**

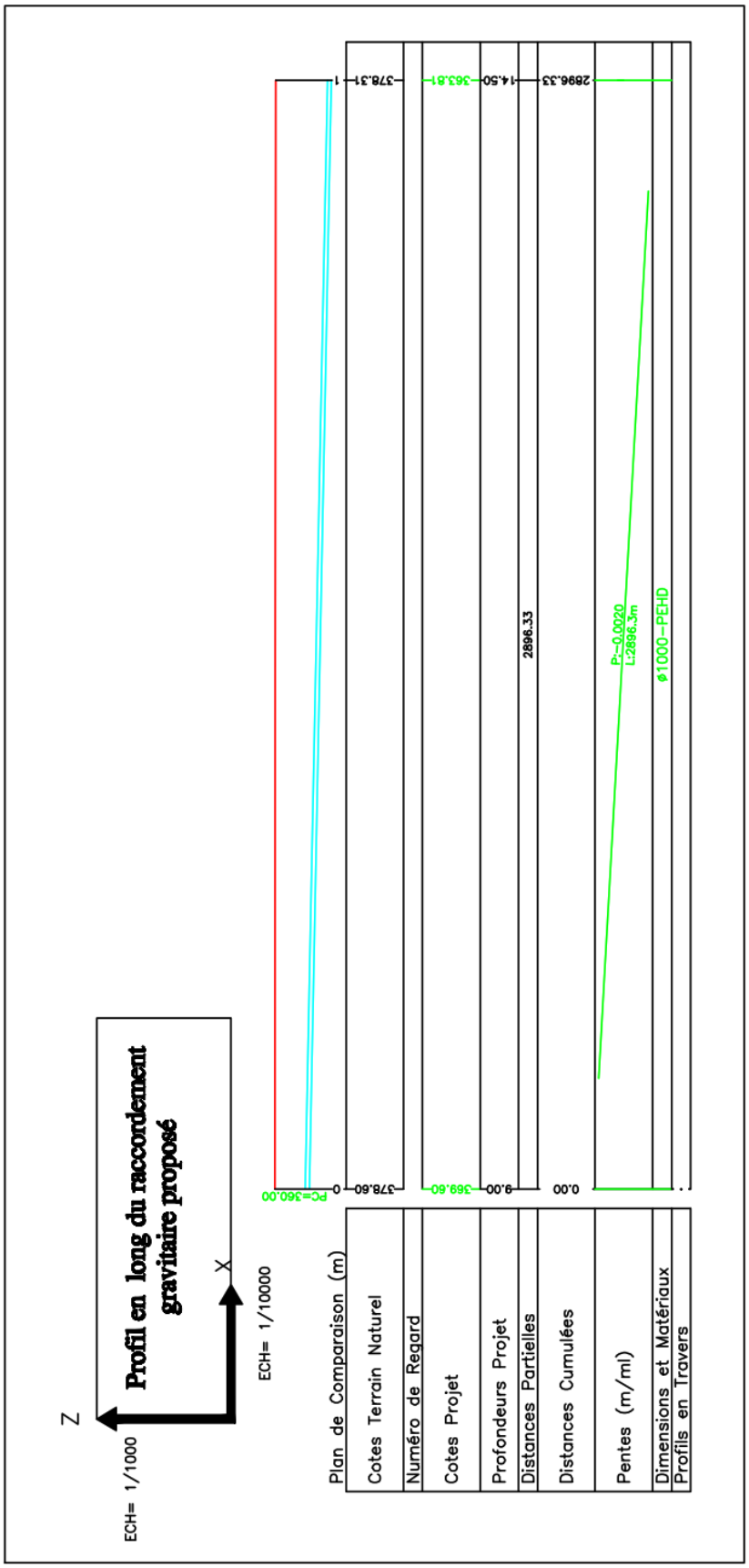
Annexe VI

Annexe VI.1 : Coupes et sections du Bassin de rétention des eaux pluviales

Annexe VI.2 : Profil en long du collecteur Boufekrane



Annexe VI.3 : Profil en long du collecteur de délestage (Massira-Dokkarat)



Annexe VII

Annexe VII.1 : Données de base de dimensionnement de la STEP (site 2)

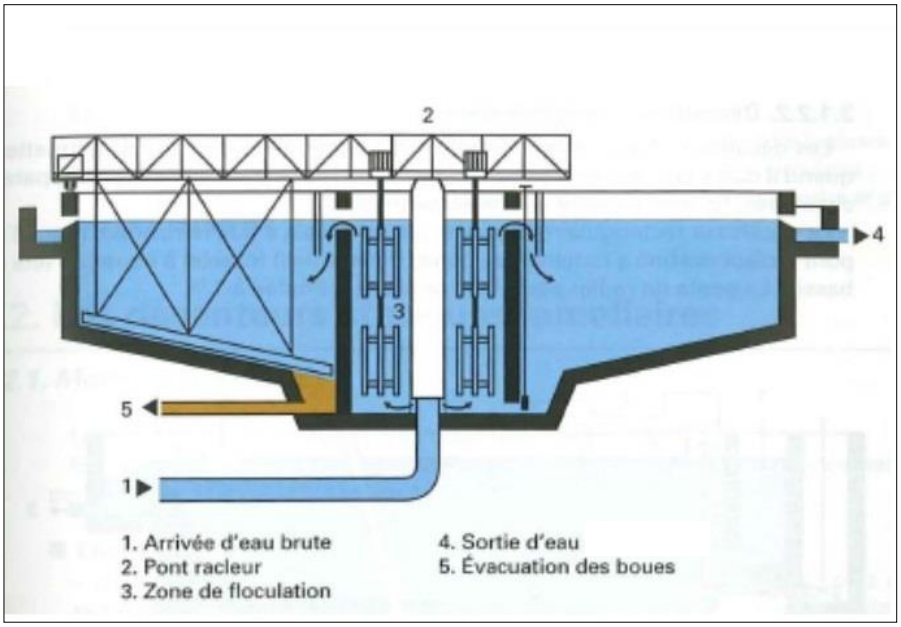
Données de base	Q (m3/s)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	Biodégradabilité
	0.9588	**370**	**821**	**550**	**2.22**
Charge polluante	DBO_5 (Kg/j)	DCO (Kg/j)	MES (Kg/j)		
	30650.91	**68011.903**	**68011.90**		

Annexe VII.2 : Dimensions normalisées du canal parshall dessableur

DIMENSIONS en mm et (pieds et pouces)

W	A	2/3A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	X	Y
25 ± 0,4 1" ±1/64"	363 1' 2-9/32"	242 9-17/32 "	356 1' 2"	93 3-21/32"	168 6-19/32"	152 à 229 6" à 9"	76 3"	203 8"	206 8-1/8"	19 3/4"		29 1-1/8 "			8 5/16"	13 1/2"
51 ± 0,4 2"±1/64"	414 1'4-5/16"	109 10-7/8	406 1' 4"	135 5-5/16"	214 8-13/32"	152 à 254 6" à 10"	114 4-1/2"	254 10"	257 10-1/8"	22 7/8"		43 1-11/16 "			16 5/8"	25 1"
76 ± 0,4 3"±1/64"	467 1'6-3/8"	311 1' 1/4"	457 1' 6"	178 7"	259 10-3/16"	304,8 à 457 1' à 1-1/2	152 6"	305 1'	309 1' 5/32"	25 1"		57 2-1/4 "			25 1"	38 1-1/2'
152 ± 0,8 6"±1/32"	621 2' 7/16"	414 1' 4-5/16"	610 2'	394 1' 3-1/2"	397 1' 3-5/8"	610 2'	305 1'	610 2'	----	76 3"	305 1'	114 4-1/2 "	902 2' 11-1/2"	406 1' 4"	51 2"	76 3"
229 ± 0,8 9"±1/32"	880 2' 10-5/8"	587 1' 11-1/8"	864 2' 10"	381 1' 3"	575 1' 10-5/8"	762 2' 6"	305 1'	457 1' 6"	----	76 3"	305 1'	114 4-1/2 "	1080 3' 6-1/2"	406 1' 4"	51 2"	76 3"
305 ± 0,8 12"±1/32"	1372 4' 6"	914 3 '	1343 4' 4-7/8"	610 2'	845 2' 9-1/4"	914 3 '	610 2'	914 3 '	----	76 3"	381 1' 3"	229 9"	1492 4' 10-3/4"	508 1' 8"	51 2"	76 3"
457 ± 0,8 18"±1/32"	1448 4' 9"	965 3' 2"	1419 4' 7-7/8"	762 2' 6"	1026 3' 4-3/8"	914 3 '	610 2'	914 3 '	----	76 3"	381 1' 3"	229 9"	1676 5' 6"	508 1' 8"	51 2"	76 3"
610 ± 0,8 2'±1/32"	1524 5'	1016 3' 4"	1495 4' 10-7/8"	914 3 '	1207 3' 11-1/2"	914 3 '	610 2'	914 3 '	----	76 3"	381 1' 3"	229 9"	1854 6' 1"	508 1' 8"	51 2"	76 3"

Annexe VII.3 : Illustration clarificateur (décantation secondaire)



Annexe VIII

Reportage photographique

Débordement collecteur Hoceima Atlas



Avenue Moulay Rachid (route Sefrou)



Vérification d'écoulement/échantillonnage effectuée entre 23/06/2014 et 30/07/2014





Ecoulement superficiel des eaux usées (27/06/2014)



Cas de vandalisme d'un tampon de regard de visite (24/07/2014)



Tapis extrait d'un regard (Médina 05/2014)



Tronc d'arbre extrait d'un ovoïde (05/2014)

