

Université Cadi Ayyad  
Faculté des Sciences et Techniques  
Marrakech



Département des Sciences de la Terre

## Mémoire de Stage de Fin d'Etudes

*Master Sciences et Techniques*  
*Eau et Environnement*



### **Caractérisation des différents aspects de dégradation du réseau d'assainissement à Essaouira « Maroc » : analyse des contraintes naturelles et anthropiques imposées au réseau**

Par :

**Meryem JAFFAR**

Sous la direction de :  
**L. DAOUDI**

Soutenu le 28 Septembre 2012 devant la commission d'examen composée de :  
**N. KHAMLI**  
**D. CHAFIKI**  
**A. ELMIMOUNI**

**2011/2012**

# Dédicace

*Je dédie ce travail*

*A*

*Mon très cher père et ma très chère mère*

*En témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation ainsi que ma formation*

*A*

*Mes chers frères et surtout mon frère Khalid, et à ma chère sœur*

*Pour leur affection, compréhension et patience*

*A*

*Tous mes amis avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur*

*A*

*Tous mes collègues de la promotion 2010/2012*

*A*

*Tous ceux qui ont une relation de proche ou de loin avec la réalisation du présent rapport*

# Remerciement

*En préambule à ce mémoire, je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Je tiens à exprimer mes meilleures gratitudes et respect à mon encadrant **Mr. Lahcen DAOUDI**, pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa générosité tout au long de l'élaboration de ce travail.*

*J'adresse également mes remerciements, à tous mes enseignants, pour leur encouragement et leurs esprits coopératifs et professionnels.*

*Je remercie très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineur.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à tous les consultants rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à mes questions avec gentillesse.*

*J'adresse ma gratitude à Melle. Fatima Kannouch pour son aide, son accueil, son hospitalité et sa générosité.*

*Enfin, je tiens à présenter mes vifs remerciements à mes parents, ma famille et à mes amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.*

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**AEP** : Alimentation en Eau Potable

**KFW** : Kreditanstalt für Wiederaufbau (institution de droit public allemande)

**ONEP** : Office National de l'Eau Potable

**OREDD** : Observatoire Régional de l'Environnement et du Développement Durable

**PNA** : Programme National d'Assainissement

**SAEMOG** : Société d'Aménagement d'Essaouira-Mogador

**STEP** : Station d'épuration des Eaux usées

## TABLE DES MATIERES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUME.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCTION.....</b>   | <b>3</b>  |
| OBJECTIF DU TRAVAIL .....  | 5         |
| DEMARCHE DU TRAVAIL .....  | 5         |
| <b>CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE DE LA SITUATION<br/>ACTUELLE DE LA VILLE D'ESSAOUIRA : .....</b> | <b>6</b>  |
| <b>1) SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE :.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2) CADRE SOCIO-ÉCONOMIQUE : .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2) ALIMENTATION EN EAU POTABLE ET ASSAINISSEMENT :.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>3) CADRE GÉOLOGIQUE ET STRUCTURAL :.....</b>  | <b>11</b> |
| 3.1) CADRE GÉOLOGIQUE :.....   | 11        |
| 3.2) CADRE STRUCTURAL:.....  | 15        |
| <b>4) CADRE GÉOMORPHOLOGIQUE: .....</b>  | <b>17</b> |
| 4.1) TOPOGRAPHIE :.....  | 17        |
| 4.2) LE SYSTÈME DUNAIRE ET PLAGE CÔTIÈRE :.....  | 19        |
| <b>5) CADRE CLIMATIQUE .....</b>   | <b>20</b> |
| 5.1) LES PRÉCIPITATIONS : .....  | 20        |
| 5.2) LES TEMPÉRATURES : .....  | 22        |
| 5.3) CLASSIFICATION BIOCLIMATIQUE : .....  | 25        |
| 5.4) HYGROMÉTRIE : .....   | 26        |
| 5.5) LE VENT .....   | 27        |
| <b>6) CADRE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....</b>   | <b>31</b> |
| 6.1) CADRE HYDROLOGIQUE .....  | 31        |
| 6.2) CADRE HYDROGÉOLOGIQUE.....  | 32        |
| <b>7) VÉGÉTATION NATURELLE ET SOLS.....</b>  | <b>34</b> |
| 7.1) VÉGÉTATION NATURELLE.....   | 34        |
| 7.2) LES SOLS.....   | 35        |
| <b>8) LA DYNAMIQUE MARINE DE LA RÉGION D'ESSAOUIRA.....</b>  | <b>36</b> |
| 8.1) LA MARÉE DANS LE LITTORAL D'ESSAOUIRA .....   | 36        |
| 8.2) LA HOULE À ESSAOUIRA .....  | 37        |
| 8.3) TEMPÊTES ET PHÉNOMÈNE EXTRÊMES.....   | 37        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CHAPITRE II : DEVELOPPEMENT URBAIN D'ESSAOUIRA ET EVOLUTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT .....</b> | <b>38</b> |
| <b>A. DEVELOPPEMENT URBAIN.....</b>   | <b>38</b> |
| 1) LA PERIODE ANCIENNE :.....   | 38        |
| 2) LA PERIODE MODERNE.....  | 38        |
| 2.1) LA FONDATION DE LA VILLE ET SON EXPANSION .....  | 38        |
| 2.2) LE PROTECTORAT ET L'INDEPENDANCE : .....   | 41        |
| 3) LA PERIODE ENTRE L'INDEPENDANCE ET L'ACTUEL .....  | 43        |
| 4) L'EVOLUTION DEMOGRAPHIQUE A ESSAOUIRA .....  | 46        |
| <b>B. HISTORIQUE DE L'ASSAINISSEMENT DANS LA VILLE D'ESSAOUIRA .....</b>                            | <b>48</b> |
| 1) GENERALITE SUR L'ASSAINISSEMENT LIQUIDE :.....   | 48        |
| 1.1) DEFINITION .....   | 48        |
| 1.2) TYPES DE SYSTEME D'ASSAINISSEMENT, LEURS AVANTAGE ET INCONVENIENTS.....                        | 48        |
| 1.3) DESCRIPTION ET ROLE DE QUELQUE OUVRAGE DU RESEAU .....   | 51        |
| 2) LA SITUATION DE L'ASSAINISSEMENT DURANT LA PERIODE DU PROTECTORAT :.....                         | 52        |
| 3) LA SITUATION DE L'ASSAINISSEMENT AU COURS DES ANNEES QUATRE-VINGTS DIX : .....                   | 54        |
| 4) PRISE EN CHARGE DE L'ONEP ET TRAVAUX REALISES : .....  | 55        |
| 5) ETAT ACTUEL DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT A ESSAOUIRA.....  | 58        |
| 5.1) CANALISATION DES EAUX PLUVIALES : .....  | 59        |
| 5.2) CANALISATION DES EAUX USEES .....  | 59        |
| 5.3) LES STATIONS DE POMPAGES .....   | 60        |
| 5.4) STATION D'EPURATION DES EAUX USEES : .....   | 61        |
| 6) PROJET FUTURE .....  | 64        |
| <b>CHAPITRE III : CONTRAINTES NATURELLES IMPOSEES AU RESEAU D'ASSAINISSEMENT A ESSAOUIRA.....</b>   | <b>66</b> |
| 1) LA FAIBLE TOPOGRAPHIE : .....  | 66        |
| 2) PROXIMITE DE LA MER ET EFFET DE LA MAREE :.....  | 70        |
| 3) IRREGULARITE DES PRECIPITATIONS ET CRUES DE L'OUED KSOB  | 74        |
| 4) L'ENSABLEMENT : .....  | 78        |
| 5) L'ACTION EOLIENNE :.....   | 83        |
| 5.1) ENSABLEMENT DE LA STATION D'EPURATION DES EAUX USEES :....                                     | 84        |

|   |   |            |
|---|---|------------|
| 5.2)  | L'ENSABLEMENT DES AXES ROUTIERS ET LES RUELLES : .....  | 86         |
| 5.3)  | PROBLEMES DES ODEURS DE LA STEP : .....   | 89         |
| <b>6)</b>   | <b>LA FRAGILITE DU SOL : .....</b>  | <b>90</b>  |
| <b>7)</b>   | <b>LA FAIBLE PROFONDEUR DE LA NAPPE .....</b>   | <b>94</b>  |
| <b>CHAPITRE IV: CONTRAINTES ANTHROPIQUES IMPOSEES AU RESEAU D'ASSAINISSEMENT D'ESSAOUIRA .....</b>                              |   | <b>96</b>  |
| <b>1)</b>   | <b>CONTRAINTES TECHNIQUES : .....</b>   | <b>96</b>  |
| <b>2)</b>   | <b>CONTRAINTES LIEES A L'ETAT DES VOIRIES : .....</b>   | <b>98</b>  |
| <b>3)</b>   | <b>CONTRAINTES LIEES A LA PLANIFICATION URBAINE : .....</b>   | <b>100</b> |
| <b>4)</b>   | <b>CONTRAINTES LIEES AU DEVELOPPEMENT DEMOGRAPHIQUE ET TOURISME : .....</b>                               | <b>100</b> |
| 4.1)  | LES CONSEQUENCES DE L'EVOLUTION DEMOGRAPHIQUES SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT : .....                     | 100        |
| 4.2)  | LE SECTEUR DU TOURISME ET SON INFLUENCE SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT : .....                            | 101        |
| <b>5)</b>   | <b>CONTRAINTES FINANCIERES : .....</b>  | <b>104</b> |
| <b>6)</b>   | <b>CONTRAINTES INFLUENÇANT SUR L'AVANCEMENT DES TRAVAUX : 106</b>   |            |
| 6.1)  | CONTRAINTES LIEES A L'INTERACTION ENTRE LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT ET LES INFRASTRUCTURES .....           | 106        |
| 6.2)  | CONTRAINTES LIEES A L'INTERACTION ENTRE LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT ET LES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUE..... | 107        |
| 6.3)  | AUTRES CONTRAINTES RESENTIES SUR LE TERRAIN : .....   | 108        |
| <b>CHAPITRE V : SOLUTIONS ENVISAGEES POUR LES DIFFERENTS PROBLEMES DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE D'ESSAOUIRA .....</b> |   | <b>109</b> |
| <b>1)</b>   | <b>SOLUTIONS ENVISAGEES POUR LES PROBLEMES DES INONDATIONS : .....</b>                                    | <b>109</b> |
| 1.1)  | LA GESTION DES EAUX PLUVIALES ET LES CRUES D'OUED KSOB :.   | 110        |
| 1.2)  | LA GESTION DE L'ACTION DES MAREES SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT .....                                    | 113        |
| <b>2)</b>   | <b>SOLUTIONS ENVISAGEES POUR LES PROBLEMES DE L'ENSABLEMENT : .....</b>                                   | <b>114</b> |
| <b>3)</b>   | <b>SOLUTIONS POUR LES PROBLEMES ENGENDRES PAR LES UNITES DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT .....</b>             | <b>119</b> |
| 3.1)  | MESURES D'ATTENUATION DES IMPACTS ENGENDRES PAR LA STATION D'EPURATION : .....                            | 119        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.2) MESURES D'ATTENUATION DES IMPACTS ENGENDRES PAR LES STATIONS DE POMPAGE : ..... | 119        |
| <b>CONCLUSION.....</b>   | <b>121</b> |

## LISTES DES FIGURES

### **Chapitre I : Présentation générale de la situation actuelle de la ville d'Essaouira :**

|  |    |
|--|----|
| Figure I.1: Situation de la région de Marrakech-Tensift-El Haouz (source : Préfecture d'Essaouira) .....   | 6  |
| Figure I.2: Découpage administratif de la province d'Essaouira (source : Agence urbaine d'Essaouira).....  | 7  |
| Figure I.3: Les différents quartiers de la ville d'Essaouira.....  | 8  |
| Figure I.4: L'emplacement des systèmes d'alimentation en eau potable de la ville d'Essaouira. ....   | 11 |
| Figure I.5: Contexte géologique du bassin synclinal d'Essaouira (D'après Bahir et al., 2000).....  | 13 |
| Figure I.6: les affleurements locaux de la région d'Essaouira (Source : <a href="http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/17/15/76/ANNEX/Carte3.GIF">http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/17/15/76/ANNEX/Carte3.GIF</a> )..... | 15 |
| Figure I.7 : Structures plissées et principaux accidents profonds du bassin synclinal d'Essaouira (D'après Bahir et al., 2000).....  | 16 |
| Figure I.8 : Carte des altitudes (D'après Florence, 2007).....   | 18 |
| Figure I.9 : Les principales formes marines quaternaires (D'après Simone, 2000).....   | 19 |
| Figure I.10: les précipitations mensuelles pour la période 1961-2007 (source des données : OREDD région Marrakech-Tensift-El Haouz).....   | 21 |
| Figure I.11 : les précipitations annuelles pour la période 1961-2007(source des données : OREDD région Marrakech-Tensift-El Haouz).....  | 22 |
| Figure I.12 : les températures mensuelles pour la période 1961-2007 (source des données : OREDD région Marrakech-Tensift-El Haouz).....  | 23 |
| Figure I.13 : Evolution des températures maximales, minimales et moyennes à Essaouira sur la période 1971-2007(source des données : OREDD région Marrakech-Tensift-El Haouz).....  | 24 |
| Figure I.14 : Position d'Essaouira dans les étages bioclimatiques d'Emberger.....  | 25 |
| Figure I.15 : Hygrométrie mensuelle (D'après des données de la station météorologique-port d'Essaouira).....   | 26 |
| Figure I.16 : les roses de vents à Essaouira ( d'après Gentile,1997).....  | 29 |
| Figure I.17 : Vitesses moyennes mensuelles des vents(d'après Gentile ,1997).....   | 30 |

Figure I.18: Carte Hydrographique du bassin versant Ksob (d'après Elmimouni et al.,2010).....32

Figure I.19 : Courbe de marée de la ville d'Essaouira (source : <http://membres.multimania.fr/jamasig/doc/Projets/Hydrographie/hydro.pdf>).....36

## **Chapitre II : Développement urbain d'Essaouira et évolution du réseau d'assainissement**

Figure II.1 : Plan de la ville réalisé par Théodore Cornut (Source : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Theodore\\_Cornut\\_Essaouira\\_1767.jpg](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Theodore_Cornut_Essaouira_1767.jpg))..... 39

Figure II.2 : Schéma historique d'Essaouira basé sur le plan de 1895-1896 (D'après De Meulder et Loeckx , 2004).....40

Figure II.3 : schéma de l'extension coloniale depuis 1912 à 1956 (D'après De Meulder et Loeckx , 2004).....42

Figure II.4 : Schéma du développement de la ville en 196 (D'après De Meulder et Loeckx , 2004).....43

Figure II.5: schéma montrant l'extension de la ville selon les années (D'après De Meulder et Loeckx , 2004 ; modifiée).....44

Figure II.6 : la position géographique de la ville d'Al Ghazoua et Douar Laarab.....45

Figure II.7 : Emplacement des réservoirs de chasse dans la Médina lors de la période du protectorat (D'après données de Jaouani (2009)).....53

Figure II.8: Emplacement des émissaires d'évacuation des eaux usées et eaux pluviales pendant les années quatre-vingts (D'après l'ONEP , communication orale).....55

Figure II.9 : Schéma montrant les différents ouvrages du réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira.....60

Figure II.10 : Schéma de la Station d'épuration des eaux usées de la ville d'Essaouira.....62

Figure II.11 : Schéma du canal d'évacuation des eaux traitées dans la mer.....64

## **Chapitre III : Contraintes naturelles imposées au réseau d'assainissement à Essaouira**

Figure III.1 : La topographie de la ville d'Essaouira (basée sur des données de la carte de « Mogador », 1/10000 .....67

Figure III.2 ; schéma montrant les différents axes souffrant de problème de l'évacuation des eaux pluviales.....69

Figure III.3 : les points noirs sensibles aux inondations, suite aux remontées marines.....74

|   |    |
|---|----|
| Figure III.4 : zone affectée par les crues d'Oued Ksob.....   | 78 |
| Figure III.5 : zones d'ensablement du réseau des eaux pluviales.....  | 80 |
| Figure III.6 : Axes du réseau fréquemment engorgés suite à l'ensablement.....                                       | 82 |
| Figure III.7 : Axes routiers avec des trottoirs dégradés.....   | 87 |
| Figure III.8: Problèmes du réseau d'assainissement causés par l'effet de l'ensablement et de l'action éolienne..... | 88 |
| Figure III.9: Schéma type d'une tranchée.....   | 91 |

#### **Chapitre IV: Contraintes anthropiques imposées au réseau d'assainissement d'Essaouira**

|  |     |
|--|-----|
| Figure IV.1 : réseau d'assainissement souffrant de cassure suite aux charges des véhicules.....  | 99  |
| Figure IV.2: Etablissements touristiques réalisés durant la période 1989-2006 (source : données de la Municipalité d'Essaouira).....   | 102 |
| Figure IV.3: le nombre des arrivées des touristes à la ville d'Essaouira pour la période (2000-2006) (source : <a href="http://www.fmdt.ma/download/Sts/Als/2006/Tinterne00-06.pdf">www.fmdt.ma/download/Sts/Als/2006/Tinterne00-06.pdf</a> )..... | 103 |

#### **Chapitre V: solutions envisagées pour les différents problèmes du réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira**

|  |     |
|--|-----|
| Figure V.1 : Schéma d'une chaussée à structure réservoir.....  | 112 |
| Figure V.1 : Fonctionnement d'un poste de crue en fonction des périodes (Source : <a href="http://www.agglo-compiegne.fr/Lutte-contre-les-Crues.aspx">http://www.agglo-compiegne.fr/Lutte-contre-les-Crues.aspx</a> )..... | 114 |

## **LISTE DES PHOTOS**

### **Chapitre II : Développement urbain d'Essaouira et évolution du réseau d'assainissement**

|   |    |
|---|----|
| Photo II.1 : Accès à la ville d'Essaouira par des caravanes à travers les dunes.....                          | 41 |
| Photo II.2 : Anciennes photos de la Médina d'Essaouira montrant l'absence des écoulements des eaux usées..... | 52 |
| Photo II.3: Station Mogador et jardins filtrant.....  | 65 |

### **Chapitre III : Contraintes naturelles imposées au réseau d'assainissement à Essaouira**

|  |    |
|--|----|
| Photo III.1 : tempêtes dans la ville d'Essaouira .....   | 71 |
| Photo III.2: Emissaire d'évacuation des eaux pluviales.....  | 72 |
| Photo III.3 : Inondations à Essaouira dues à la remontée de l'eau marine dans les canaux des eaux pluviales..... | 73 |
| Photo.III.4 : Débris végétaux accumulés sur la plage d'Essaouira le lendemain de la crue de novembre 2005.....   | 76 |
| Photo III.5 : les dégâts des crues d'Oued Ksob.....  | 77 |
| Photo III.6: Canal colmaté avec des dépôts noircis par la présence de la matière organique.....                  | 81 |
| Photo III.7 : débordement des eaux usées suite à l'ensablement et colmatage des canaux.....                      | 82 |
| Photo III.8: Emplacement initial de la Station d'épuration entre les dunes.....                                  | 85 |
| Photo III.9 : Site de la Station d'épuration après le début de travaux.....                                      | 85 |
| Ph.III.10 : Quartiers menacé par l'ensablement.....  | 86 |
| Photo III.11 : Les différentes étapes du remblayage d'une tranchée.....  | 92 |
| Photo III.12 : Mise en place d'un système de blindage.....   | 93 |
| Photo III.13 : Problème de la nappe qui affleure lors des travaux en chantier.....                               | 95 |

### **Chapitre IV: Contraintes anthropiques imposées au réseau d'assainissement d'Essaouira**

|   |     |
|---|-----|
| Photo IV.1 : regards ouvert fermé seulement par des branchages.....                     | 98  |
| Photo IV.2 : Difficulté de déplacement des grands engins dans les ruelles étroites..... | 107 |

Photo IV.3: Fermeture des boutiques lors des travaux.....107

## **Chapitre V: solutions envisagées pour les différents problèmes du réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira**

Photo V.1 : la mise en place d'une chaussée à structure réservoir.....112

Photo V.2 : Vues de quelques différentes zones de la ceinture verte.....117

Photo IV.3 : Zones pas encore aménagées.....118

## LISTE DES TABLEAUX

### **Chapitre I : Présentation générale de la situation actuelle de la ville d'Essaouira :**

|  |    |
|--|----|
| Tableau I.1 : les moyennes mensuelles de la température à Essaouira (D'après Allam et Houmimyd, 1990, in Elmimouni, 2009)..... | 23 |
| Tableau I.2 : vitesse moyenne des vents en km/h (D'après Weisrock ,1980, in Simone , 2000).....                                | 27 |
| Tableau I.3 : Les jours calmes et venteux à Essaouira (1958-67)(D'après Weisrock ,1980, in Simone ,2000).....                  | 28 |
| Tableau I.4 : Bilan hydraulique de la nappe plioquaternaire de la bande côtière (Phénixa ,2011).....                           | 34 |

### **Chapitre II : Développement urbain d'Essaouira et évolution du réseau d'assainissement**

|  |    |
|--|----|
| Tableau II.1 : Evolution de la population d'Essaouira (Jaouani , 2009).....  | 46 |
| Tableau II.2 : Evolution de la population selon les quartiers (source : Commissariat Régionale au Plan de Marrakech 2009)..... | 47 |
| Tableau II.3 : Avantages et inconvénients des systèmes d'assainissement.....   | 50 |
| Tableau II.4: les différents lots du projet d'assainissement liquide réalisé par l'ONEP dans la ville d'Essaouira.....         | 57 |
| Tableau II.5 : Coûts des différents ouvrages ou travaux réalisés par l'ONEP(2007).....   | 58 |
| Tableau II.6 : Description des stations de pompages du réseau d'assainissement à Essaouira (d'après l'ONEP).....               | 61 |

### **Chapitre III : Contraintes naturelles imposées au réseau d'assainissement à Essaouira**

|  |    |
|--|----|
| Tableau III.1 : Vitesse moyenne des vents en m/s( D'après des données de Weisrock , 1980 in Simone ,2000)..... | 83 |
|--|----|

### **Chapitre IV: Contraintes anthropiques imposées au réseau d'assainissement d'Essaouira**

|   |    |
|---|----|
| Tableau IV.1 : la longueur des canalisations du réseau d'assainissement selon leur diamètre (source : données de l'ONEP)..... | 97 |
|---|----|

|   |     |
|---|-----|
| Tableau. IV.2 : La consommation de l'eau (en m <sup>3</sup> ) selon les secteurs au niveau de la ville d'Essaouira (source : ONEP, communication orale) .....   | 101 |
| Tableau IV.3 : les différents projets et investissements dans le domaine d'assainissement pendant la période 1983-2006 (source : Municipalité d'Essaouira)..... | 104 |
| Tableau IV.4 : le coût total des travaux de curage des canaux d'assainissement réalisé par l'ONEP (2009).....   | 105 |
| Tableau IV.5 : le coût de fonctionnement des stations de pompage pour l'année 2009 (source : ONEP, communication orale).....                                    | 105 |

## **Chapitre V: solutions envisagées pour les différents problèmes du réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira**

|   |     |
|---|-----|
| Tableau V.1 : les différentes opérations de Curage effectuées (source : données de l'ONEP)..... | 115 |
|---|-----|

### **Conclusion**

|  |     |
|--|-----|
| Tableau 1 : les différents problèmes rencontrés concernant le réseau d'assainissement liquide dans les quartiers et les avenues de la ville d'Essaouira..... | 122 |
| Tableau 2 : les types de contraintes imposées au réseau au réseau d'assainissement selon les saisons.....  | 123 |

## RESUME

La ville d'Essaouira est parmi les villes côtières marocaines qui souffrent de nombreux problèmes en matière d'assainissement liquide. Plusieurs contraintes, naturelles et anthropiques, sont imposées au réseau des eaux usées et aussi à celui des eaux pluviales. L'extension de la ville est considérée comme le premier facteur qui a déclenché l'apparition des problèmes au niveau du réseau d'assainissement. Cette extension a été au dépend des milieux dunaires et lagunaires fragiles, ce qui a introduit la mobilité des sables vers l'intérieur de la ville en bénéficiant de l'intensité de l'action éolienne qui caractérise la région d'Essaouira. Ce sable est parmi les premières causes de l'engorgement des canalisations du réseau d'assainissement. La faible topographie de la ville et les faibles altitudes par rapport au niveau de la mer ont contribué à un problème très dangereux, c'est l'intrusion des eaux marines au sein des émissaires d'évacuation des eaux pluviales dont les altitudes sont parfois inférieures au niveau des marées. Ce problème se manifeste par une série d'inondations que subit la ville avec chaque intempérie.

Les facteurs anthropiques sont aussi indispensables de l'intensité des problèmes dont le domaine d'assainissement souffre. Comme la ville d'Essaouira est une ville touristique, cela implique une grande consommation des ressources en eaux et par la suite on aura des importants volumes des eaux usées dont l'écoulement et l'évacuation vers la station d'épuration semblent difficile. La vétusté du réseau dans certaines zones de la ville notamment « La Médina » et le manque d'entretien et l'absence des solutions radicales, tous ces facteurs amplifient la gravité de l'intensité des problèmes du réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira.

**Mots clés :** Essaouira - assainissement liquide - extension – topographie- sable - engorgement – inondations – vétusté - entretien

## ABSTRACT

Essaouira is one of the Moroccan coastal cities that suffer from many problems in sewerage. Several constraints, both natural and anthropogenic, are imposed on wastewater network and also to that of rainwater. The extension of the city is considered the main factor that triggered the emergence of problems in the sewer system. This extension has been at the expense of fragile dunes and lagoon, which introduced the mobility of the sand to the inside

of the city benefiting from the strength of the wind action that characterizes the Essaouira region. This sand is among the leading causes of blockage in the sewer channels. The low topography of the city and low altitudes compared to sea level contributed to a very dangerous problem is the intrusion of marine waters within the outfalls of stormwater whose altitudes are sometimes below the level of the tides. This problem manifests itself by a series of floods experienced by the city with every storm.

Anthropogenic factors contribute also to the intensity of the problems that the field sanitation suffers. As the city of Essaouira is a tourist town, this implies a large consumption of water resources and subsequently we will have a large volumes of wastewater whose the flow and discharge, to the Wastewater purification station, seem difficult. The age of the sewerage system in some areas of the city include "The Medina" and the lack of maintenance and no radical solutions, all these factors amplify the severity of the current problems of the sewerage in Essaouira.

**Key words:** Essaouira - sewerage - extension – topography - sand - blockage – flood – antiquated - maintenance

## **INTRODUCTION**

La majorité des zones côtières constituent des espaces complexes et vulnérables ; elles se caractérisent par des aspects naturels bien particuliers, notamment la faible topographie et les faibles altitudes par rapport au niveau marin. Par ailleurs, les nappes phréatiques peu profondes peuvent avoir des contacts directe avec les eaux marines entraînant ainsi la salinisation des eaux souterraines. Plusieurs villes côtières sont construites sur des sols vulnérables de faible cohésion suite à la géologie et la morphologie des zones littorales.

Pour ces différentes raisons, de nombreuses villes côtières connaissent d'énormes problèmes de gestion des eaux usées et pluviales, en termes d'assainissement liquide. Ces problèmes se traduisent par des inondations, des débordements de l'eau marine au niveau des villes par le biais des canalisations d'assainissement et des difficultés de drainage et d'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales. Il ne faut pas oublier non plus qu'un bon nombre de facteurs anthropiques contribuent au mauvais fonctionnement du réseau d'assainissement. Le facteur anthropique, le plus influençant sur l'état de l'assainissement liquide est l'accroissement rapide de la population provoquant des mutations territoriales de grande ampleur qui sont à l'origine de la dégradation de l'environnement.

Le secteur de l'eau et de l'assainissement doit s'adapter au phénomène de croissance urbaine. Sous l'effet de ce phénomène souvent difficile à gérer, les villes côtières connaissent de très rapides transformations que les services publics ont parfois du mal à suivre. Une croissance urbaine trop rapide peut aboutir à une crise qui, à son tour, risque d'entraîner une crise de l'eau aux multiples conséquences.

Au Maroc, la poussée démographique et la mobilité croissante des populations durant le XXe siècle ont eu pour conséquence l'extension des villes déjà existantes et l'apparition d'autres un peu partout dans le pays. Des villes où il est aisé de remarquer qu'il n'y a pas de correspondance entre la croissance urbaine et le développement des équipements de toutes sortes et notamment l'assainissement liquide et pluvial. Cette infrastructure ne peut plus couvrir les besoins suite à l'évolution urbaine, d'où la nécessité de poser des nouvelles installations et réhabilitations du réseau.

En effet, dans le cadre des nouvelles orientations du gouvernement marocain visant la réhabilitation du réseau d'assainissement, et afin de renforcer ces actions et de les associer à

un soutien financier effectif et durable de l'Etat, un Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA) a été élaboré en 2005. Ce programme va permettre de réaliser ces deux objectifs principaux à l'horizon 2020 :

- Atteindre un niveau de raccordement global au réseau d'assainissement de 80 % en milieu urbain ;
- Rabattre la pollution engendrée par les eaux usées urbaines de 60 % au moins, à travers la mise en place de 260 stations de traitement des eaux usées.

Parmi les villes marocaines qui souffrent de problèmes au niveau de son réseau d'assainissement la ville d'Essaouira occupe une place de taille. Cette ville, qui se caractérise par sa situation géographique, avec sa façade atlantique et ses alizés, son passé chargé d'histoire et son architecture, est une ville authentique, particulière certes, mais à l'équilibre fragile. Suite à cette fragilité, les problèmes d'assainissement liquide à Essaouira se posent avec une très grande acuité. En raison de son important passé coloniale, Essaouira fait parti des premières villes Marocaines à être dotées d'un réseau d'assainissement. Cependant, le développement des infrastructures n'a pas suivi celui de l'urbanisation croissante et souvent mal maîtrisée. Les problèmes d'assainissement se traduisent par des inondations et des difficultés d'évacuation vu que la capacité du réseau est devenue insuffisante, face à l'augmentation des débits provoquée par la forte croissante consommation en eau.

Dans la ville d'Essaouira plus particulièrement, les aspects de ce dysfonctionnement sont divers. La plupart des problèmes d'assainissement sont dus aux facteurs naturels, suivis d'une accusation de la planification de la ville qui n'a pas pris en considération les contraintes naturelles de la ville et les problèmes d'entretien et de maintenance.

## OBJECTIF DU TRAVAIL

L'étude que nous avons réalisée a pour but d'analyser les principales causes de dysfonctionnement du réseau d'assainissement au niveau de la ville d'Essaouira, quelles soient d'origine naturelle ou anthropique, en mettant le point sur la relation entre l'état du réseau d'assainissement et le développement urbain de la ville.

## DEMARCHE DU TRAVAIL

L'approche retenue pour atteindre cet objectif été de collecter des données, d'après plusieurs établissements administratifs notamment l'Office National de l'Eau Potable et la Municipalité d'Essaouira, afin d'avoir une idée sur les zones qui sont affectées par les problèmes du réseau d'assainissement.

On réalisé aussi un fond à l'aide du logiciel « Map info », en se basant sur une image prise de Google Terrain . Sur ce fond on a pu projeter les différentes zones, ou bien axes du réseau d'assainissement qui souffre de problèmes soit d'engorgement ou bien d'inondation ou de cassures. D'après ces figures on a pu déterminer des conclusions concernant les relations entre le milieu naturel et les problèmes d'assainissement et par la suite on a pu déterminer une la relation entre l'extension de la ville d'Essaouira et les différents dysfonctionnements de son réseau d'assainissement.

Ainsi, le schéma général de ce mémoire comprend cinq chapitres : Le premier chapitre présente les caractéristiques générales du milieu naturel autour de la ville d'Essaouira. Le deuxième chapitre est consacré aux différentes étapes de l'évolution de la ville d'Essaouira et de son réseau d'assainissement et à la description de la situation actuelle de l'assainissement liquide à Essaouira. Le troisième et le quatrième chapitre seront consacrés respectivement à la description et à l'analyse de contraintes naturelles et anthropiques imposées au réseau d'assainissement. Enfin dans le dernier chapitre seront présentés des solutions et recommandations pour améliorer la qualité de l'assainissement à Essaouira.

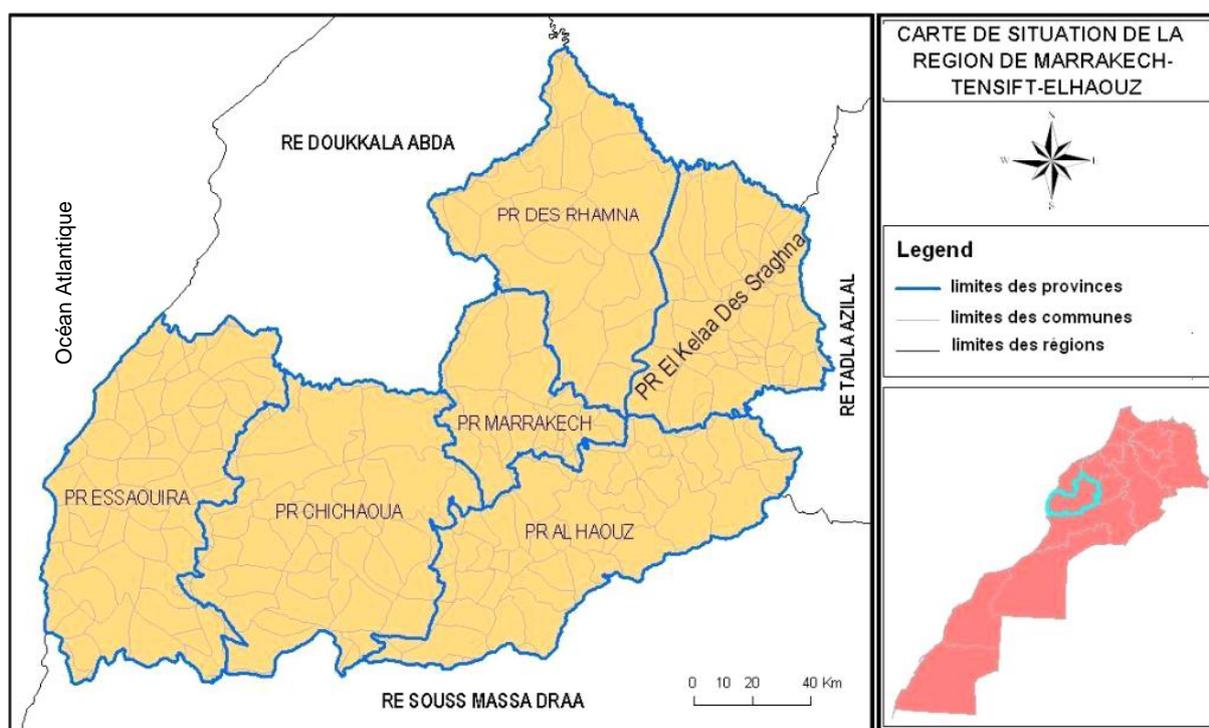
## CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE DE LA SITUATION ACTUELLE DE LA VILLE D'ESSAOUIRA :

### 1) SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE :

La ville d'Essaouira est le chef lieu de la province du même nom qui fait partie de la région de Marrakech-Tensift-Al Haouz. (Fig.I.1)

Cette province, dont les coordonnées Géographiques sont les suivantes 31°30'47''N-9°48'11''W, est limitée :

- Au Nord par la province de Safi,
- A l'Est par la province de Chichaoua,
- Au Sud par la province d'Agadir et la province de Taroudant,
- A l'Ouest par l'océan atlantique.



*Figure I.1 : Situation de la région de Marrakech-Tensift-El Haouz (source : Préfecture d'Essaouira)*

La province d'Essaouira, qui s'étend sur une superficie de 6335 km<sup>2</sup>, a été découpée, en 1992, en 52 communes rurales et 5 municipalités. L'ensemble est réparti sur deux cercles : Essaouira et Tamanar (Fig.I.2). La commune urbaine d'Essaouira est limitée par les communes rurales de Sidi Kaouki au Sud et Ounagha à l'Ouest et elle représente une importante agglomération de 70000 habitants. (Elmimouni , 2009)

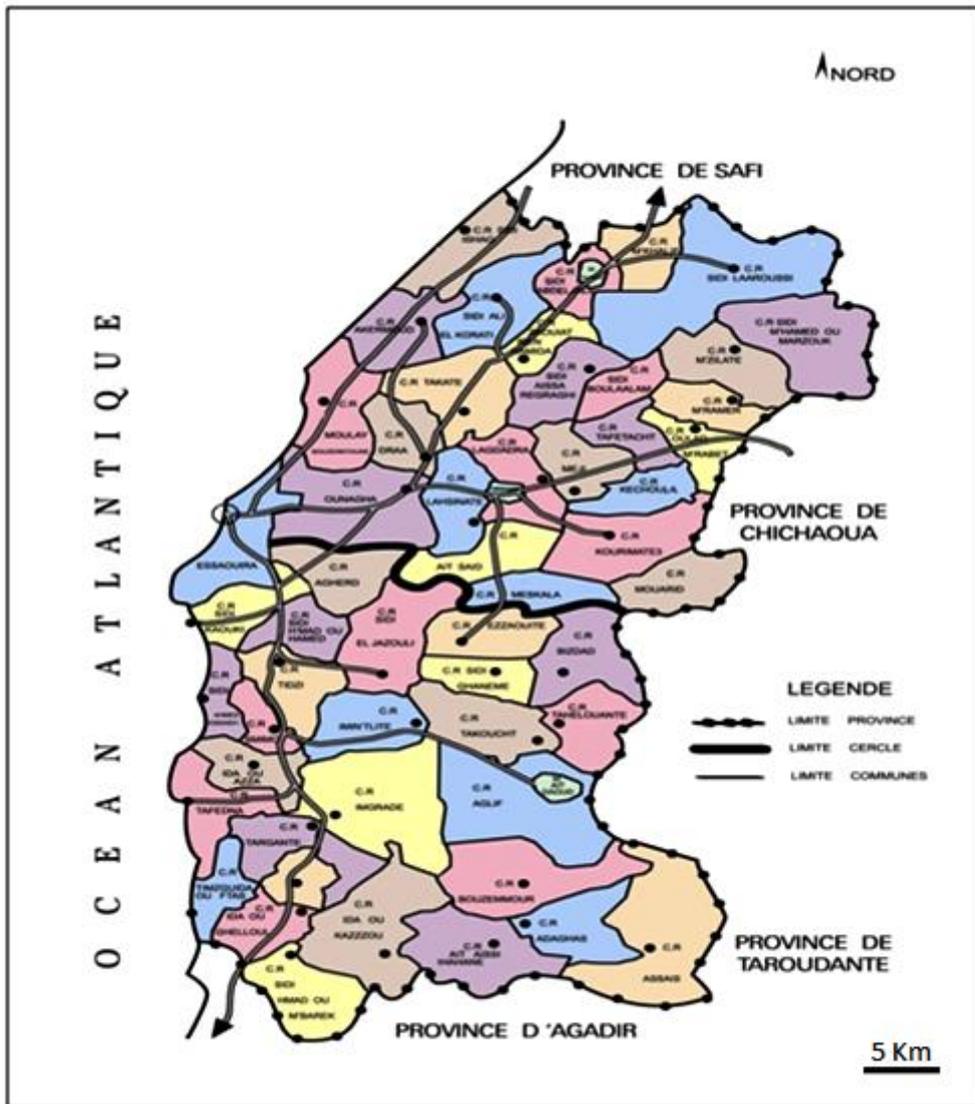


Figure I.2: Découpage administratif de la province d'Essaouira en 2010 (source : Agence urbaine d'Essaouira)

Le littoral d'Essaouira, qui se situe sur le versant occidental du Haut Atlas, s'étend sur environ 34 km entre le cap Hadid au Nord et le cap Sim au Sud. Cette zone littorale est largement ouverte sur l'Océan Atlantique, avec une forme rectiligne ayant une direction générale NNE-SSW.

La figure I.3, qu'on a réalisé, montre les principaux quartiers de la ville d'Essaouira :

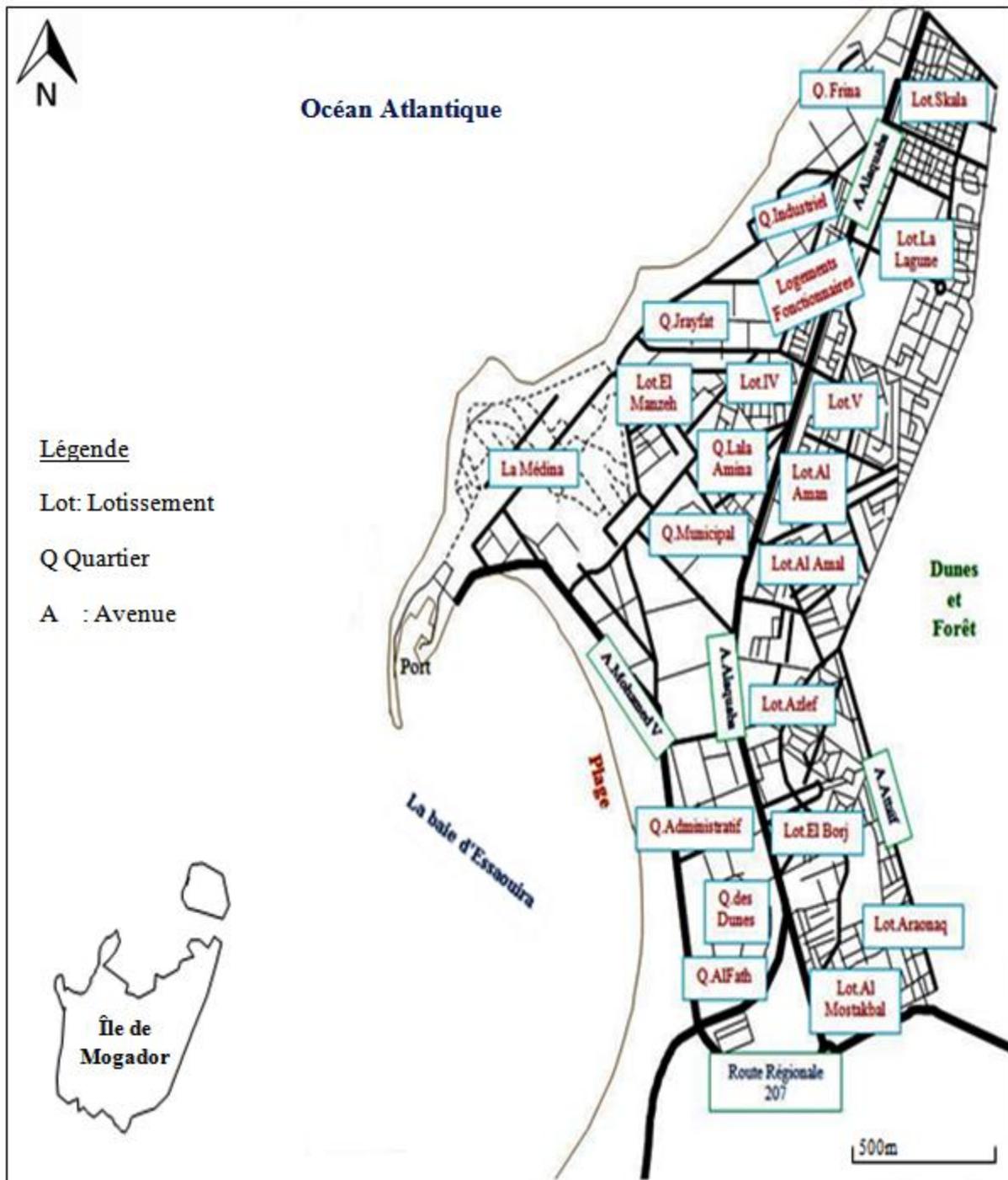


Figure I.3 : Les différents quartiers de la ville d'Essaouira

## 2) CADRE SOCIO-ÉCONOMIQUE :

Au niveau de la ville d'Essaouira, la population s'active essentiellement dans les domaines suivants : commerce, artisanat et tourisme. Cette population s'organise en plusieurs associations opérant dans différents domaines (social, économique, culturel,...)

La médina constitue le pôle principal d'activités commerciales et artisanales de la ville d'Essaouira, en plus du tourisme.

### **Artisanat :**

Le secteur de l'artisanat avec près de 12783 artisans, occupe une place importante dans l'économie de la province et offre à ses visiteurs une panoplie de produits artisanaux.

En 2008, le montant des exportations des produits artisanaux s'est élevé à 1.905.085,00 DH. ([http://www.crimarrakech.ma/def.asp?codelangue=23&id\\_info=1503&rub1=1141](http://www.crimarrakech.ma/def.asp?codelangue=23&id_info=1503&rub1=1141))

Ce secteur regroupe un grand nombre de métiers et d'activités économiques réalisées à une petite échelle mais dont la main d'œuvre est intensive.

En effet, l'artisanat comprend des activités très différentes :

- Œuvres d'art ;
- Métiers traditionnels (textile, bois, métaux, poterie, etc.) ;
- Travaux élaborés à domicile en milieu rural ou urbain.

### **Tourisme :**

Grâce à ses atouts naturels, historiques et culturels, la province d'Essaouira est devenue une destination touristique de grande qualité. Son île de Mogador, son ancienne médina enclavée dans les remparts et classée au patrimoine de l'UNESCO en 2001, son célèbre port datant du 18ème siècle, ses immenses plages sableuses propices aux sports nautiques, son patrimoine forestier riche en faune et en flore offrant des opportunités de chasse et de randonnées, ses monuments historiques tels que les remparts, les Skallas, le musée de sidi Mohamed Ben Abdellah, autant de potentialités qui attirent de plus en plus d'investisseurs étrangers. La province est aussi un lieu de rencontre culturel, folklorique et religieux, tous les ans, la ville d'Essaouira accueille le festival de la musique Gnaoua offrant une ambiance aux rythmes d'une fusion musicale appelant à la paix, la tolérance et au respect du droit à la diversité.

La capacité d'hébergement à Essaouira est de 2486 chambres contenant 4500 lits répartis entre les hôtels classés et non classés ; résidences touristiques, pensions et auberges. Cette infrastructure va être renforcée par la réalisation de la station de Mogador inscrite dans le cadre du plan Azur. Cette station s'étendra sur une superficie globale 580 ha et comprendra une capacité totale de 10.600 lits. Le montant d'investissement de ce projet d'envergure s'élève à 427 millions d'euros.

([http://www.crimarrakech.ma/def.asp?codelangue=23&id\\_info=1503&rub1=1141](http://www.crimarrakech.ma/def.asp?codelangue=23&id_info=1503&rub1=1141))

### **Pêche :**

Avec 152 km de façade maritime, huit sites de pêche artisanale, la province d'Essaouira dispose de potentialités de pêche importantes qui favorisent le développement des industries de transformation et de conserverie. En 2008, les quantités des captures en poisson industriel et en poisson de marré ont atteint respectivement 3 968 300,5 Kg et 4 041 502,2 Kg. ([http://www.crimarrakech.ma/def.asp?codelangue=23&id\\_info=1503&rub1=1141](http://www.crimarrakech.ma/def.asp?codelangue=23&id_info=1503&rub1=1141))

### **Industrie :**

Le secteur d'industrie compte actuellement plus que 47 établissements dont la quasi-totalité est localisée au niveau du quartier industriel qui s'étend sur une superficie de 42 ha. Le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la municipalité d'Essaouira a réalisé une nouvelle zone industrielle à l'extérieur de la ville et plus précisément au niveau de Douar Laarab.

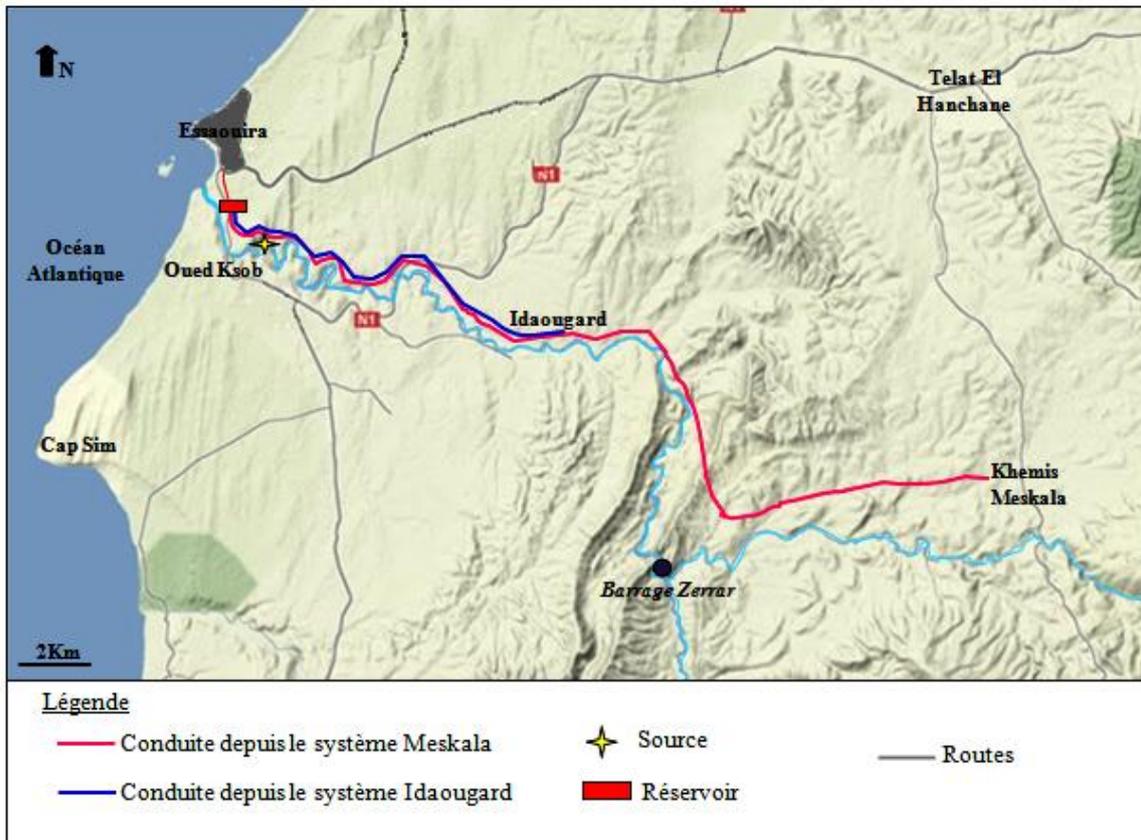
## **2) ALIMENTATION EN EAU POTABLE ET ASSAINISSEMENT :**

D'après une étude de renforcement de l'AEP de la ville d'Essaouira réalisée par l'ONEP, l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Essaouira est assuré actuellement à partir de quatre systèmes (voir Fig. I.4) :

- Système Oued Ksob : constitué d'un système adducteur à partir de la source Ksob et de 2 puits situés sur les berges de l'oued Ksob. Le débit total équipé de ce système s'élève à 40 l/s.
- Système Idaougourd : constitué d'un système adducteur à partir d'un ensemble de 3 puits et 2 forages. Son débit équipé arrive à 144 l/s.
- Système Sidi Yacine : constitué d'un système adducteur à partir de 2 puits ; l'un des deux puits a été abandonné suite à une crue de l'oued Ksob qui a engendré son inondation, et l'autre puits est en arrêt en 2001.
- Système Meskala : constitué d'un système adducteur à partir de 3 forages. le débit équipé du système s'élève à 120 l/s.

Les eaux de ces ressources sont accumulées au niveau d'un réservoir de stockage dont la capacité est de l'ordre de 10000 m<sup>3</sup>. Ce réservoir est semi enterré et il est constitué de deux cuves de 5000 m<sup>3</sup> chacune.

D'après ces données, on a réalisé la figure suivante (Fig.1.4) , sur un fond pris de Google terrain.



*Figure I.4 : l'emplacement des systèmes d'alimentation en eau potable de la ville d'Essaouira*

En ce qui concerne l'assainissement liquide, la ville d'Essaouira est dotée d'un réseau d'assainissement gravitaire et unitaire dans sa majeure partie. Actuellement le taux de couverture de ce réseau est de 100%. Néanmoins ce réseau souffre de plusieurs dysfonctionnements à cause de sa vétusté notamment les bouchages et débouchement fréquents.

### **3) CADRE GÉOLOGIQUE ET STRUCTURAL :**

#### **3.1) CADRE GÉOLOGIQUE :**

Du point de vue géologique, le littoral d'Essaouira appartient à deux domaines :

- Le Bassin de Chichaoua-Essaouira dont 69% se trouve dans la province. Il appartient au domaine Mésétien et il est d'obédience atlantique. Ce bassin qui a pris naissance au cours du Trias forme un vaste synclinorium délimité par la colline de Mouissate et l'oued Tensift au Nord, par la bordure occidentale du Haouz de Marrakech à l'Est, par le Haut Atlas Occidental au Sud et par l'Océan Atlantique à l'Ouest (Elmimouni , 2009).

- Le Haut Atlas Occidental représenté par le bassin versant de l'Oued Ksob et ses deux affluents l'Igrounzar et le Zelten. Ce domaine correspond au flanc nord du Haut Atlas Occidental ; il est caractérisé par l'existence de collines modelées par un réseau hydrographique d'une petite densité. Sa superficie totale est de 2775 km<sup>2</sup> dont 81% est occupée par la Province d'Essaouira, et le reste par la Wilaya de Marrakech (Elmimouni , 2009) .

En effet, l'ouverture du bassin atlantique constitue un élément fondamental de la litho-structure régionale.

Les faciès lithologiques qui caractérisent le secteur Nord de l'Atlas atlantique s'étendent chronologiquement de la fin du Primaire à aujourd'hui. (Fig.I.5)

#### ✓ **Les affleurements Permo-triasiques :**

Ils correspondent à un paléo-rift préfigurant l'ouverture de l'Océan atlantique, et sont caractérisés par des formations d'argiles rouges salifères et gypsifères, des coulées basaltiques, des grès, des pélites et des conglomérats Leur orientation est d'ailleurs parallèle au littoral, suivant une direction majeure hercynienne ou "mésétienne ".

La série formée par ces dépôts est puissante (entre 2500 et 6000 m) sous les contraintes tectoniques, elle affleure par des plis diapir (diapirs de Taïtoust et de l'oued Tidzi). (Simone, 2000)

#### ✓ **La couverture sédimentaire secondaire et tertiaire :**

##### Le Jurassique

Il est composé de grès, marnes, calcaires et dolomies (Simone, 2000), et affleure essentiellement dans quatre secteurs du Sud au Nord :

- à l'Ouest du couloir d'Argana ;
- sur l'anticlinal Jbel Amsitten ;
- sur les anticlinaux de la zone nord-atlasique Jbels Hadid et Kourati
- dans la région du moyen Tensift

##### Le Crétacé

D'après Ambroggi (1963) in Simone (2000), le Crétacé couvre les deux tiers de la superficie de l'Atlas atlantique. Trois cycles de sédimentation ont été relevés :

- le Crétacé inférieur est marqué de dépôts franchement marins à qui passent latéralement à l'Est à un faciès de type lagunaire.
- le Crétacé moyen correspond à un maximum transgressif. Il est individualisé par l'alternance de marnes et de calcaires.
- le Crétacé supérieur est constitué de calcaires dolomitiques et lumachelles pour un tiers et de marnes jaunes pour deux tiers.

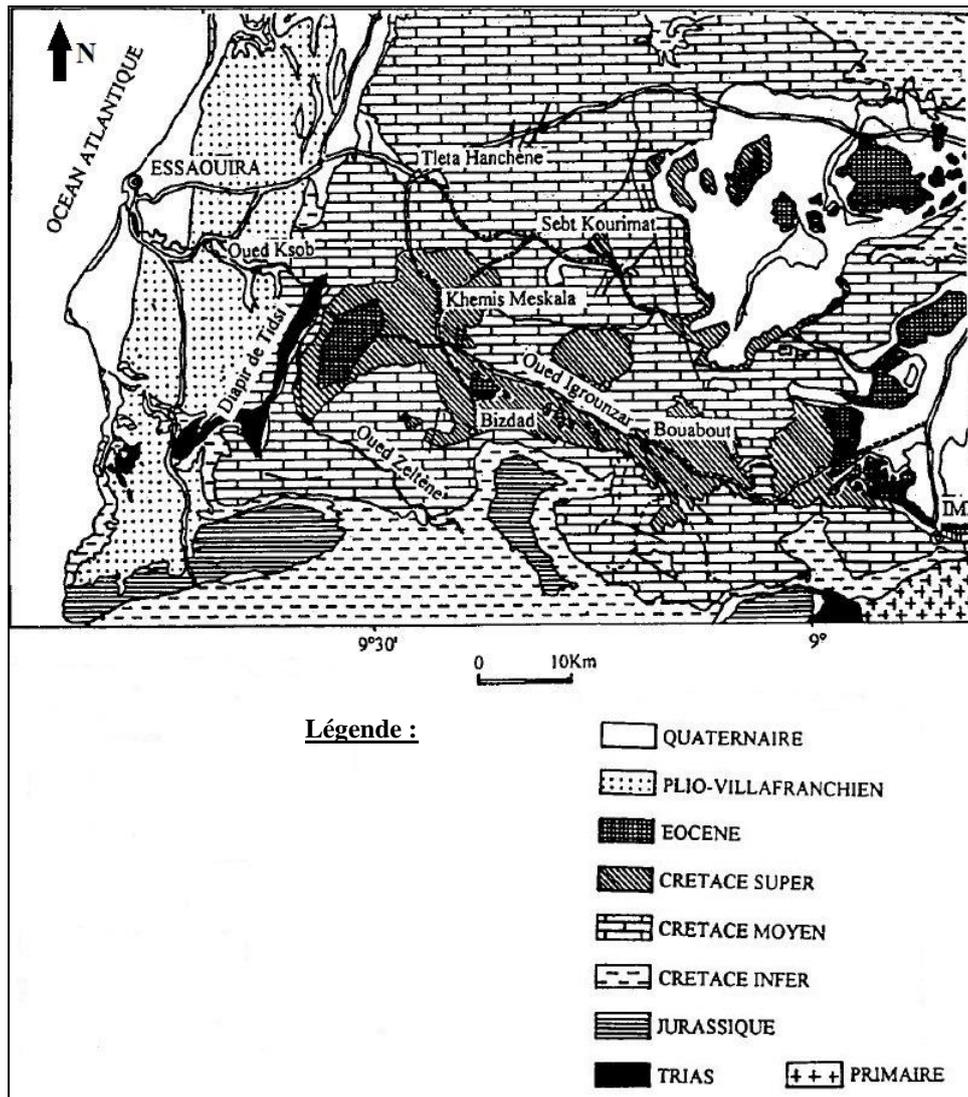


Figure I.5 : Contexte géologique du bassin synclinal d'Essaouira (D'après Bahir et al., 2000)

## L'Eocène

D'après Simone (2000), cet âge est très peu étendu dans la région et s'identifie par deux formations majeures :

- A l'Eocène inférieur, une sédimentation phosphatée et sableuse domine ;
- A l'Eocène supérieur, le relais s'effectue par une sédimentation calcaire.

### ✓ **Les Formations plio-pléistocènes marines et fluviatiles**

Elles correspondent à des phases multiples de transgression et régression formant des terrasses étagées dont les falaises mortes sont parallèles au rivage actuel. (Simone,2000)

La plus remarquable et la plus développée de ces formations est le Moghrébien. C'est un étage inclus dans le Pliocène, il affleure largement d'Ouest en Est sur une bande méridienne large de 10 à 40 km. Les caractéristiques topographique du Moghrébien correspond à un talus externe occidental (falaise morte de 100 à 200 m), une plate forme qui se relève vers l'Est, et un talus interne oriental (supérieur à 100 m en général).

Le Moghrébien a été considéré comme un Pliocène régressif ou comme la première transgression quaternaire équivalent au Villafranchien.(Fig.I.6)

Au Pléistocène, les cycles de transgression marine se reproduisent et sont conjugués à l'activité tectonique commencée au Pliocène qui se poursuit aujourd'hui encore.( Simone, 2000) .

Dans les vallées des oueds (oued Ksob et oued Tidzi), les niveaux alluviaux sont retrouvés encaissés dans des niveaux marins très bien conservés comme le Maarifien et l'Ouljien. Le premier serait contemporain de l'interglaciaire Günz-Mindel. Il vient s'étagé au pied de la grande falaise morte moghrébienne et il se caractérise par une lumachelle concassée très consolidée associée à des graviers de roche siliceuse. L'Ouljien correspond à la transgression tyrrhénienne (Weisrock, 1987, in Simone 2000), il est constitué de graviers cristallins arrondis, de pétrographie variée, cimentés par des sables biodétritiques.

Les dépôts continentaux pléistocènes marquent le paysage surtout au Soltanien contemporain du Würm européen. Cette séquence est très nettement visible sur la rive droite et partiellement sur la rive gauche de l'oued Ksob. Le faciès débute par un conglomérat

fluviale à galets bien roulés et assez gros consolidés par une matrice sableuse. Ce terme est surmonté d'une accumulation calcaire consolidée aux éléments détritiques très fins (limons roses).

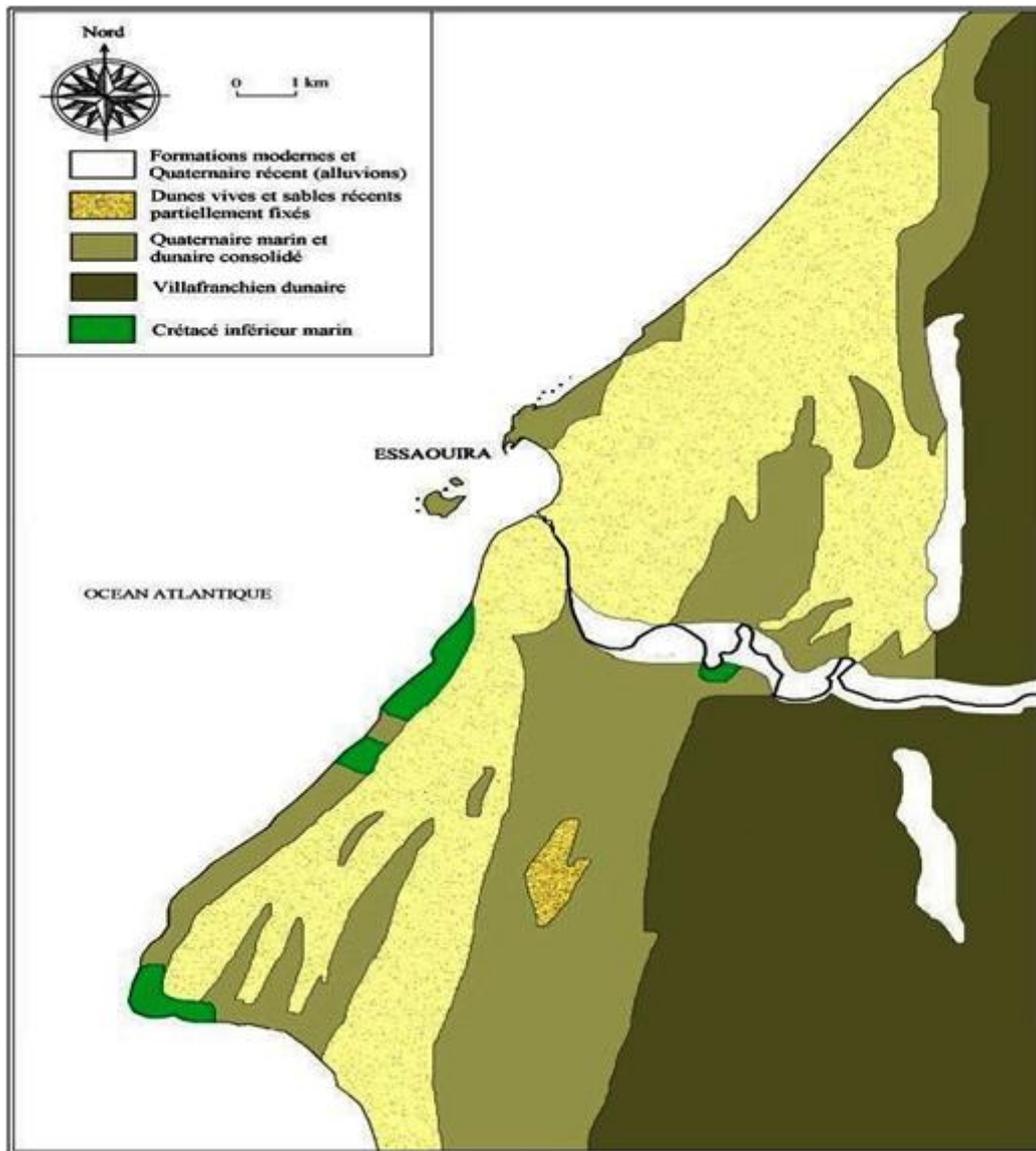


Figure I.6: les affleurements locaux de la région d'Essaoira

(Source : <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/17/15/76/ANNEX/Carte3.GIF> )

### 3.2) CADRE STRUCTURAL:

De point de vue structural, le bassin d'Essaoira fait partie du sillon nord-atlasique défini par Ambroggi (1963) in Bahir et al.(2000) comme étant une zone de plissements modérés. La structure du bassin est représentée par une succession d'anticlinaux et de synclinaux qui ont résulté de la combinaison des effets de la tectonique atlasique et du

diapirisme. L'ensemble du bassin est fragmenté par d'importants accidents qui se prolongent sous la couverture et qui sont hérités de la phase tectonique hercynienne. (Bahir et al. , 2000). (Fig.I.7)

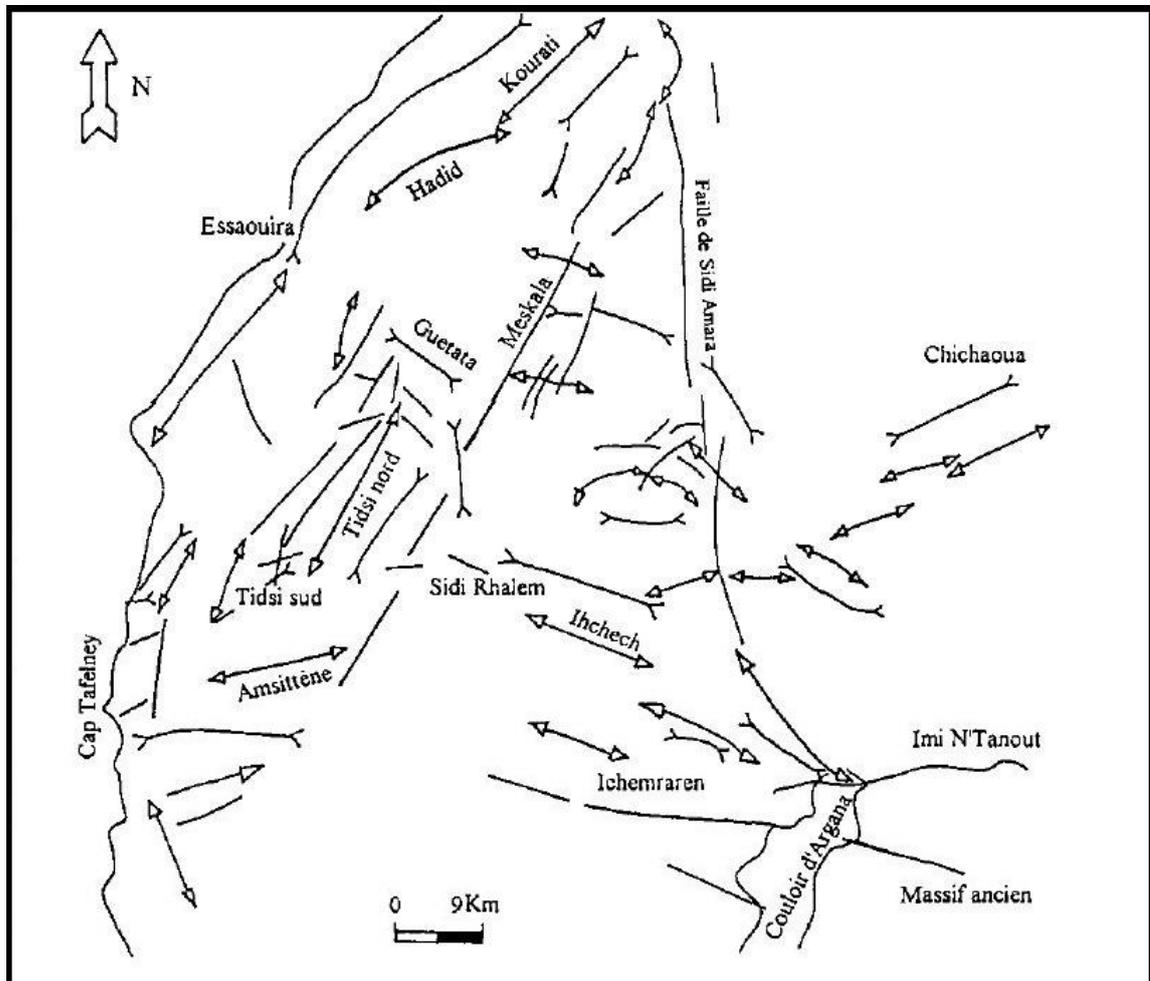


Figure I.7 : Structures plissées et principaux accidents profonds du bassin synclinal d'Essaouira (D'après Bahir et al., 2000)

D'après Phénixa (2011), Le bassin d'Essaouira-Chichaoua forme, entre les deux anticlinaux du Jbel Amsittène au Sud et du Jbel Hadid au Nord, une vaste zone synclinale ouverte sur l'Océan, et affectée d'ondulations et d'accidents qui permettent d'y distinguer les subdivisions suivantes :

- La cuvette synclinale de Bouabout, correspondant au cours de l'oued Igrounzar ;
- La crête anticlinale complexe des ouled Bou Sbaa séparant le synclinal de Bouabout au Sud du Synclinal de Korimat au Nord ;
- La cuvette synclinale de Korimat-Bled Hart, où les couches demeurent subhorizontales et sont à peine affectées d'un très léger pendage vers le Sud ;

- La cuvette synclinale d'Essaouira qui est traversée par l'oued Ksob ;
- L'accident diapirique de Permo-Trias salifère de l'oued Tidsi qui sépare les cuvettes synclinales de Bouabout et d'Essaouira.

La ville d'Essaouira est située au dessus de la cuvette synclinale d'Essaouira.

#### **4) CADRE GÉOMORPHOLOGIQUE:**

Les formes du relief sont façonnées par un jeu subtil entre les divers processus morphodynamiques. La disposition topographique et les formations géologiques sont principalement liées à l'histoire océanique s'inscrivant dans le paysage à une échelle relativement petite sur le plan spatial et très longue sur le plan temporel qui dépasse largement le Quaternaire.

Mais le transport éolien et le ruissellement jouent un rôle important. Ils agissent sur un secteur plus restreint (limité au domaine littoral pour le premier) et à une échelle temporelle plus courte, limitée au Quaternaire où la tectonique a joué un rôle plus modeste. (Simone, 2000)

##### **4.1) TOPOGRAPHIE :**

Dans un géosystème semi-aride et à fortiori dunaire, la topographie constitue donc un facteur primordial qui oriente l'évolution des formes du relief.

Au Nord d'Essaouira, le littoral est grossièrement rectiligne et orienté NNE-SSW. Il forme un cap sur lequel est bâtie la ville avant de subir, au Sud de celle-ci, une incurvation qui donne la baie longue de cinq kilomètres. (Simone,2000)

La région n'est pas très élevée dans l'ensemble, notamment les proches environs d'Essaouira. Et si A.Weisrock (1980), in Simone (2000), rattache cette partie à l'Atlas atlantique, c'est plus pour des raisons tectoniques que pour une altitude élevée .En effet, une série de bas plateaux étagés forment le relief et il faut s'enfoncer 25 km vers l'intérieur pour dépasser 300m seulement.

Ces bas plateaux dont l'altitude varie entre 0 et 300 m sont orientés parallèlement au littoral suivant une direction méridienne. (Fig.I.8)

D'Ouest en Est, le schéma topographique local est constitué de la succession suivante (Fig.I.9) :

- D'une étroite plaine littorale constituée parfois d'une Oulja (plaine marécageuse), à l'Est et au Nord d'Essaouira
- D'un talus dit aussi talus Ouljien
- D'une série de plateaux dont le plateau Moghrébien, qui se relève de 100 à 250 m vers l'Est, qui est le mieux conservé
- D'un second talus nettement marqué correspond au talus Moghrébien.

Entre le talus Ouljien et le plateau Moghrébien, des replats s'intercalent avec leur talus correspondant. Ce qui donne une coupe en escalier montant vers l'Est. Mais ils ne sont que rarement bien conservés, en raison de l'érosion hydrique et éolienne. (Phénixa, 2011)

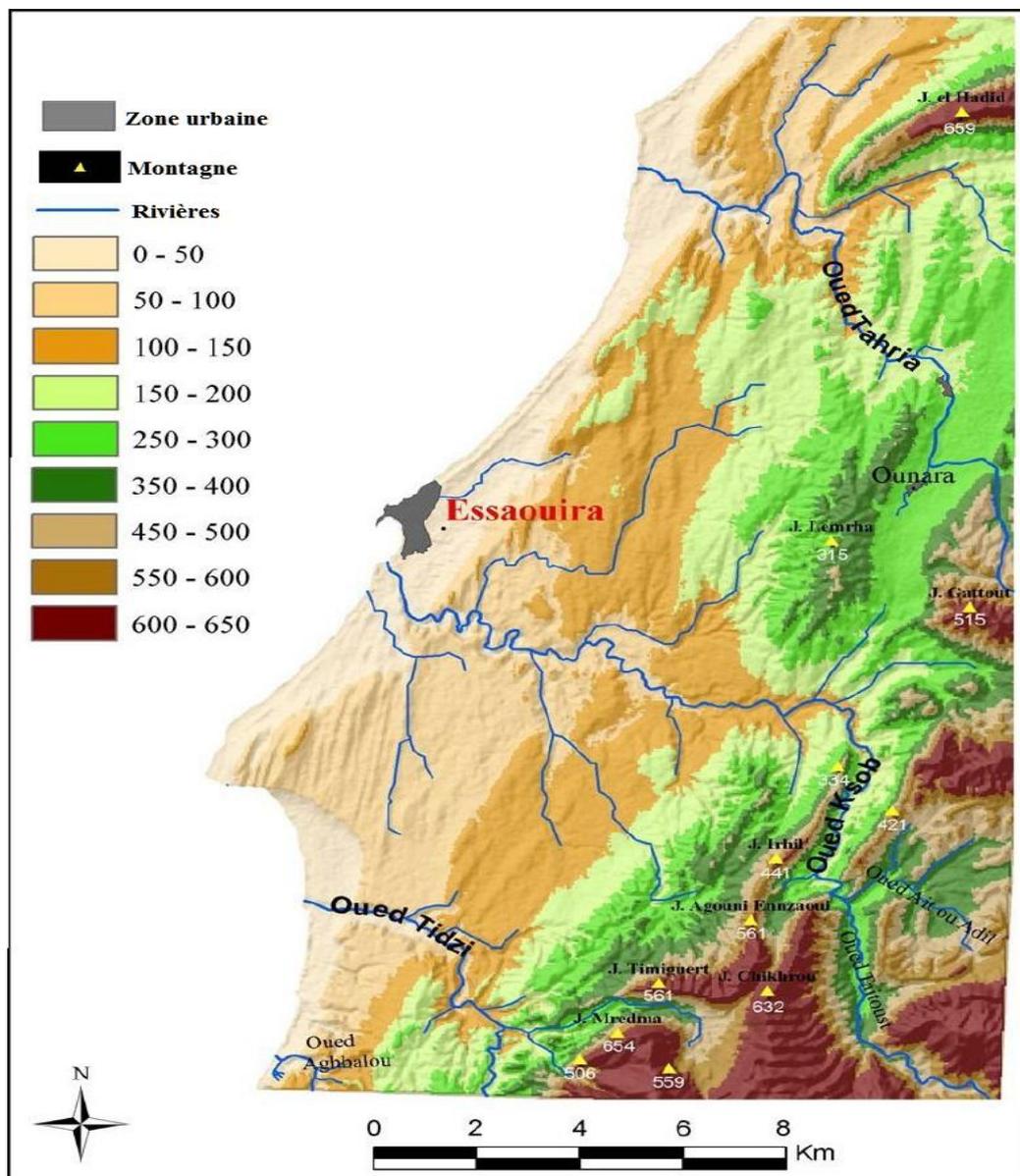


Figure I.8 : Carte des altitudes (D'après Florence, 200

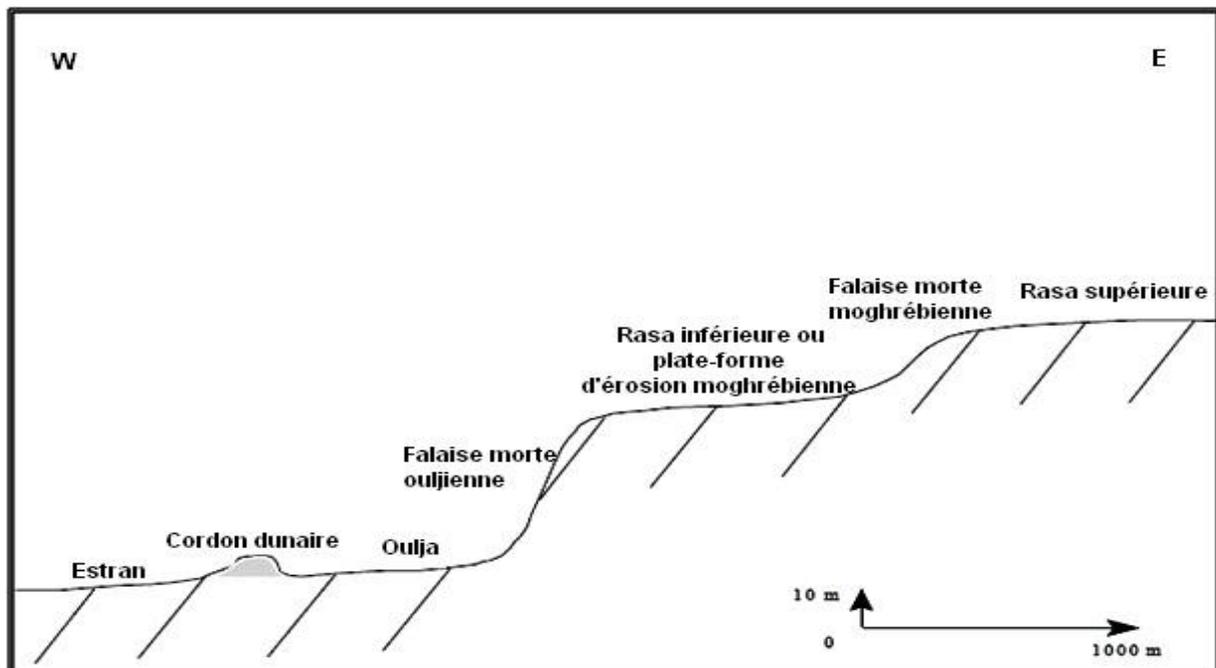


Figure I.9 : Les principales formes marines quaternaires (D'après Simone, 2000)

#### 4.2) LE SYSTÈME DUNAIRE ET PLAGE CÔTIÈRE :

D'après Florence (2007) , ce système forme une bande de 200 à 6000 m de largeur. Les dépôts éoliens appartenant à cette unité ont été formés depuis le Plio-Pléistocène jusqu'à l'actuel par l'effet combinés du climat et de l'action marine.

On peut distinguer entre deux types de formations :

- des dunes longitudinales fixes et consolidées (système dunaire fossile)
- des dépôts récents de barkhanes mobiles et de sable littoral (système dunaire actuel)

Ces formations sont constituées de sables qui appartiennent à deux origines ; une origine marine et l'autre continentale (sédiments fluviaux). (Florence ,2007)

##### **Dunes longitudinales fixes :**

Ce système s'étend jusqu'à 6km de la côte autour du Cap Sim jusqu'à la partie Est de la ville d'Essaouira. Le relief est caractérisé par un niveau topographique faible et ondulé. Il est représenté par une succession de dunes longitudinales, dont l'alignement est presque orienté NNE-SSW à la suite de la direction des vents dominants, au niveau de Cap Sim. Ces formations sont couvertes par la végétation.

Ces dunes ont une hauteur de 10 m et une largeur de 50m et sont espacées d'environ 100 m, l'espace interdunaire est presque plat (Florence ,2007). Au niveau des zones de dépression le vent contribue à la formation des barkhanes.

Les processus morphologiques prédominants sont liés à l'action du vent.

#### **Barkhanes mobiles :**

Elles sont localisées entre les dunes fixes et la plage et présentent une forme de croissant. Le relief est composé de 60% de dunes barkhanoïdes nues et de 40% de dépôts sableux couverts par la végétation.

L'érosion éolienne joue un rôle primordiale dans les processus morphologiques, cela se manifeste clairement par les accumulations de sable autour des obstacles végétaux en formant ainsi des Nebkas.

#### **Plage :**

Les sédiments qui sont modifiés et triés par l'action des vagues constituent un grand relief qui caractérise presque tout le littoral. Il ne disparaît qu'au niveau de petites zones le long de la côte d'Essaouira où les formations des calcarénites sont en contact direct avec l'océan. Les dépôts de la plage sont formés par des sables fins, jaunes à brunâtres, bien triés.

## **5) CADRE CLIMATIQUE**

La zone d'étude bénéficie d'un climat diversifié et exceptionnel en raison de sa situation géographique qui est entre le désert et l'océan Atlantique. Alors le climat qui domine a toutes les caractéristiques climatiques de l'Atlantique nord-africain ; chaud, humide et avec des températures moyennement élevées (Florence, 2007).

### **5.1) LES PRÉCIPITATIONS :**

L'irrégularité interannuelle des précipitations fait osciller le total annuel pluviométrique d'Essaouira entre 266mm et 295mm. Ces précipitations se répartissent sur environ 40 jours, découpant l'année en deux saisons distinctes (Gentile, 1997)

- La saison sèche débute en Mai avec un déclin rapide des précipitations, Juillet et août ne reçoivent presque aucune goutte d'eau, c'est la sécheresse la plus totale. Ce blocage des précipitations correspond au maximum de puissance de l'upwelling. C'est donc la

période la plus venteuse de l'année. la période sèche correspond à celle de l'alizé. il faut attendre septembre pour un retour des pluies et octobre pour rentrer dans la saison humide.

- La saison des pluies dure d'Octobre à Avril, avec un maximum mensuel oscillant entre Décembre et Novembre. Cette tendance, au maximum placé en Novembre ou Décembre, se vérifie pour toutes les stations côtières soumises à l'alizé qui renforce l'upwelling qui bloque les précipitations, il est logique de penser que la période humide correspond à une accalmie des vents. (Gentile ,1997)

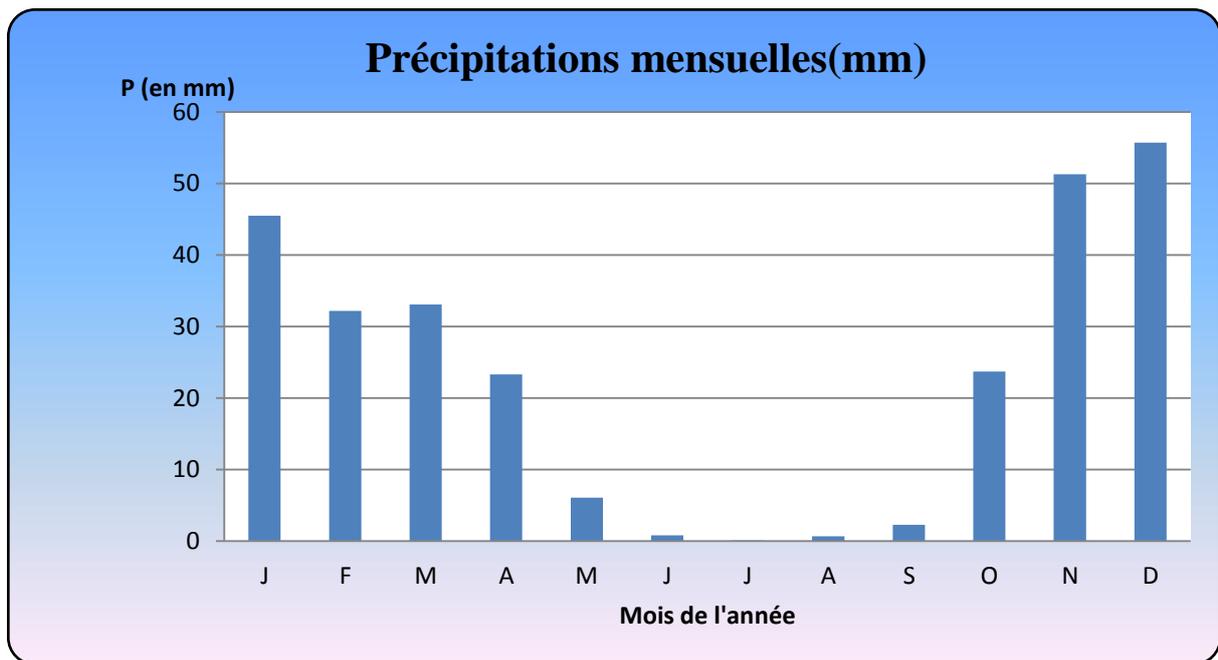


Figure I.10: les précipitations mensuelles pour la période 1961-2007 (source des données : OREDD région Marrakech-Tensift-El Haouz)

La figure I.10 montre qu'on a deux périodes qui sont bien distinctes ; la période humide et la période sèche qui sont décrites auparavant.

La répartition interannuelle connaît, elle aussi des variations notables. Des périodes pluriannuelles humides et arides ont été observées comme le montre la figure I.11.

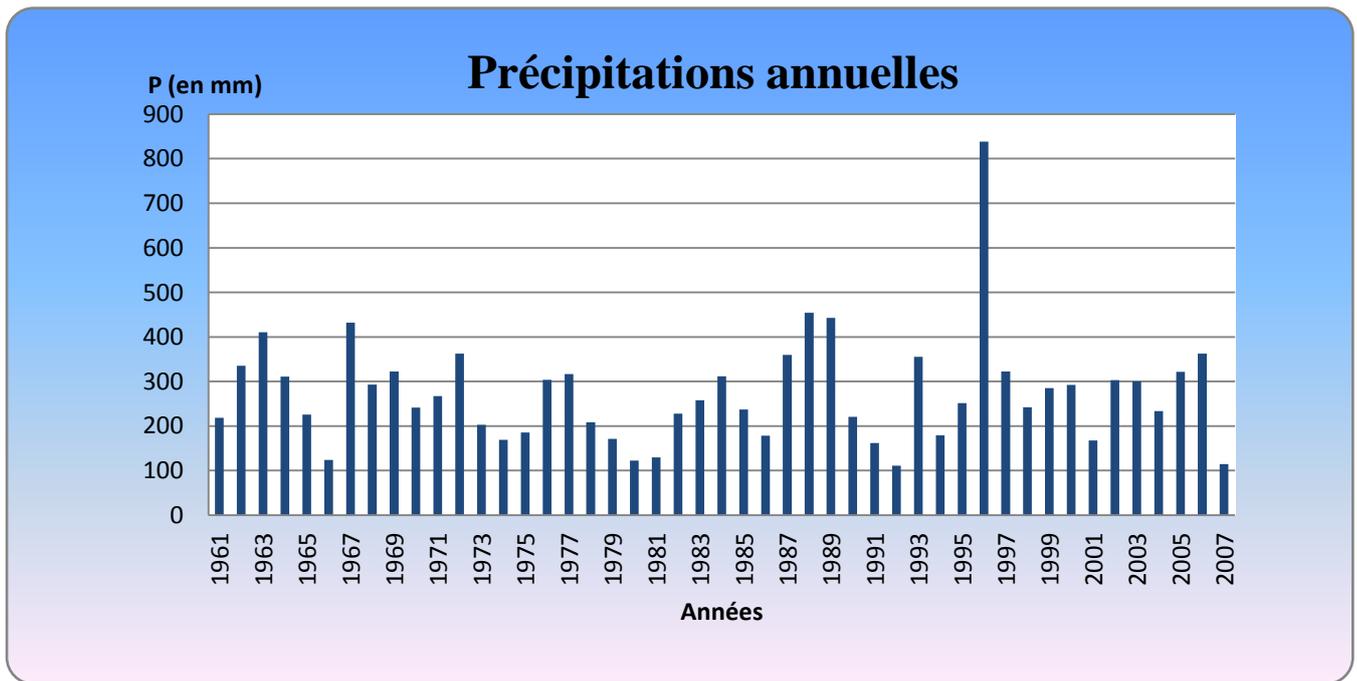


Figure I.11 : les précipitations annuelles pour la période 1961-2007 (source des données : OREDD région Marrakech-Tensift-El Haouz)

## 5.2) LES TEMPÉRATURES :

Influencées par la proximité de l’Océan Atlantique, les températures de la région d’Essaouira sont considérablement adoucies par l’effet du phénomène de l’upwelling et du courant des Iles Canaries.

Les mois de juillet, août et septembre enregistrent les températures moyennes les plus élevées au cours de l’année. Les températures les plus faibles sont enregistrées au cours du mois de janvier. (Fig.I.12) (Elmimouni, 2009)

Selon les températures moyennes mensuelles à Essaouira, deux saisons thermiques peuvent être distinguée: *une première période* comprise entre les mois de Novembre et Mai où les températures sont au dessous de la moyenne annuelle qui de l’ordre de 17,4°C ; *une deuxième* période du mois de Juin à Octobre dont la température est toujours au dessus de la moyenne annuelle

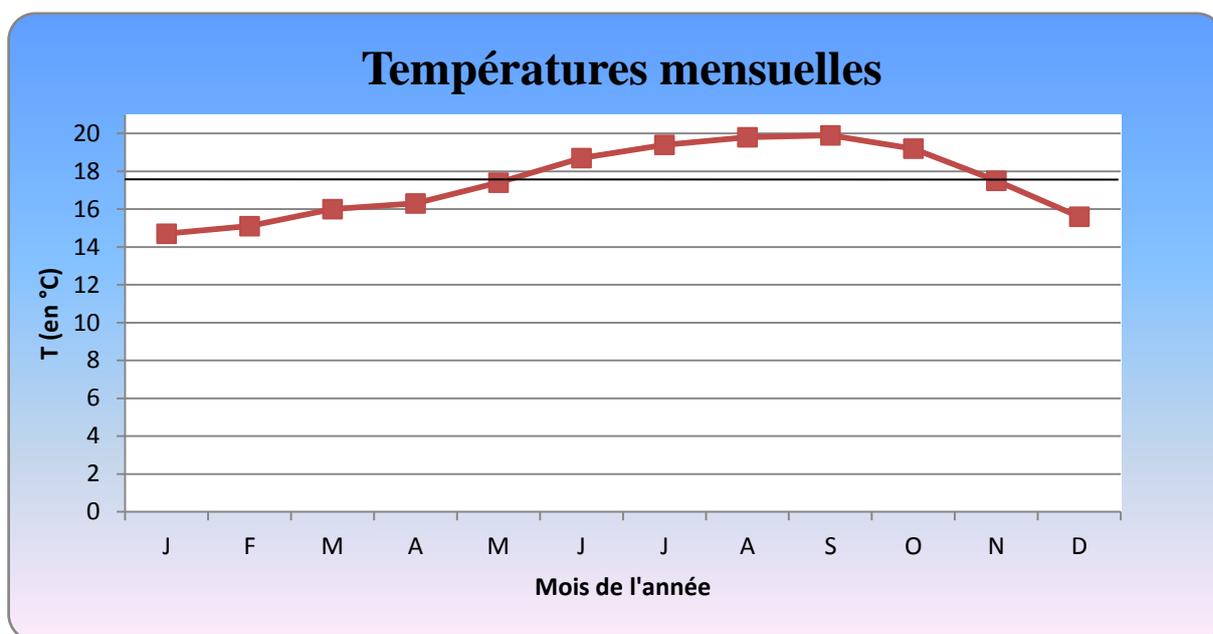


Figure I.12 : les températures mensuelles pour la période 1961-2007 (source des données : OREDD région Marrakech-Tensift-El Haouz)

| Origine   | METRO 1952  |      |      | M.A.R.A.    |      |      | F.ZYADI 1986 |      |      |
|-----------|-------------|------|------|-------------|------|------|--------------|------|------|
|           | 1925 à 1945 |      |      | 1933 à 1963 |      |      | 1952 à 1975  |      |      |
| Paramètre | M           | m    | T    | M           | m    | T    | M            | m    | T    |
| Janvier   | 18          | 9.5  | 13.8 | 18.5        | 9.7  | 14.1 | 18.2         | 11.1 | 14.7 |
| Février   | 18          | 10.4 | 14.2 | 18.8        | 10.3 | 14.6 | 18.4         | 11.7 | 15.1 |
| Mars      | 19          | 11.7 | 15.4 | 19.6        | 11.8 | 15.7 | 18.6         | 12.9 | 15.8 |
| Avril     | 19.6        | 13.1 | 16.4 | 20          | 13.2 | 16.6 | 18.6         | 13.5 | 16.1 |
| Mai       | 20          | 14.1 | 17.1 | 20.4        | 14.6 | 17.5 | 19           | 15.5 | 17.3 |
| Juin      | 20.9        | 15.8 | 18.4 | 21.2        | 16.1 | 18.6 | 18.9         | 16.5 | 17.8 |
| Juillet   | 21.8        | 16.6 | 19.2 | 21.7        | 16.8 | 19.2 | 19.5         | 17.4 | 18.5 |
| Août      | 22.2        | 16.8 | 19.5 | 22.1        | 16.9 | 19.5 | 19.7         | 17.3 | 18.5 |
| Septembre | 22.3        | 16.8 | 19.6 | 22.2        | 16.6 | 19.4 | 20.7         | 17.1 | 18.9 |
| Octobre   | 21.7        | 15.4 | 18.6 | 21.9        | 15.5 | 18.7 | 21           | 15.7 | 18.4 |
| Novembre  | 20.2        | 18.9 | 16.6 | 20.7        | 13.2 | 17   | 18.5         | 14.1 | 16.3 |
| Décembre  | 18.6        | 10.7 | 14.7 | 19.1        | 10.8 | 15   | 18.2         | 10.9 | 14.5 |
| moyenne   | 20          | 13   | 17   | 20.5        | 13.8 | 17.2 | 19.1         | 14.5 | 16.8 |

Tableau I.1 : les moyennes mensuelles de la température à Essaouira (D'après Allam et Houmimyd, 1990, in Elmimouni, 2009)(M: Moyenne Maxima du mois le plus chaud m : Les températures minima du mois le plus froid T : température moyenne)

La moyenne maximale du mois le plus chaud (M) ne dépasse pas 22,3°C ; elle est enregistrée au mois d'août suivi par le mois de septembre avec 22,2°C, et le mois de juillet avec 21,8°C (Tab.I.1). Les températures minima du mois le plus froid (m) enregistré à l'intérieur des terres peuvent atteindre 0° C. Le site de la ville d'Essaouira quant à lui a permis de bénéficier des influences des eaux océaniques qui adoucissent la température pour que les moyennes minima du mois le plus froid s'élève à 9,5°C. L'amplitude thermique (variations entre les températures minima et les températures maxima) est en moyenne de 12 ,8 °C sur le littoral d'Essaouira, où les températures sont remarquablement adoucies grâce à la présence d'une couche d'eaux superficielle froide. (Elmimouni ,2009)

En ce qui concerne les températures annuelles soit maximales ou minimales, on a des données qui sont fournies par la direction météorologique nationale et qui couvrent une période de 47 ans de 1961 à 2007 (Fig.I.13)

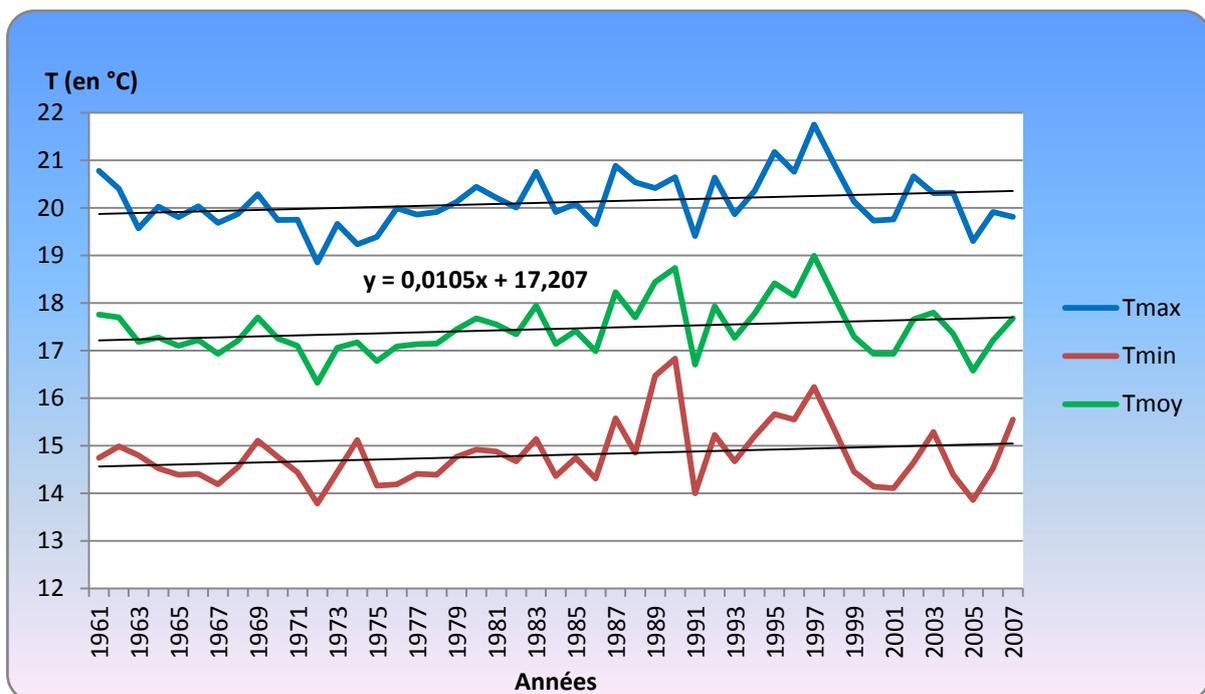


Figure I.13 : Evolution des températures maximales, minimales et moyennes à Essaouira sur la période 1971-2007(source des données : OREDD région Marrakech-Tensift-El Haouz.)

La figure montre une variabilité interannuelle des températures que ce soit les températures maximales, minimales ou moyennes. Ceci confirme le caractère irrégulier de ce paramètre. Ainsi les droites de tendance de ces températures montrent une augmentation avec une pente régulière de 1961 à 2007.

### 5.3) CLASSIFICATION BIOCLIMATIQUE :

Le diagramme d'Emberger permet de délimiter les étages bioclimatiques et de placer une station dans l'un des étages d'Emberger (humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien).

Le quotient pluviométrique s'écrit :  $Q = 2000 P / (M^2 - m^2)$

P : Précipitations moyennes annuelles en mm

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degré Kelvin ( $^{\circ}\text{C}+273$ )

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degré Kelvin

D'après la formule du quotient pluviométrique, on remarque que ce dernier croît avec les hauteurs des précipitations, mais décroît avec les amplitudes thermiques, c'est-à-dire avec les différences entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid.

La valeur de ce quotient est de 52,4 pour Essaouira, on peut donc placer la ville sur le diagramme d'Emberger comme le montre la figure I.14 :

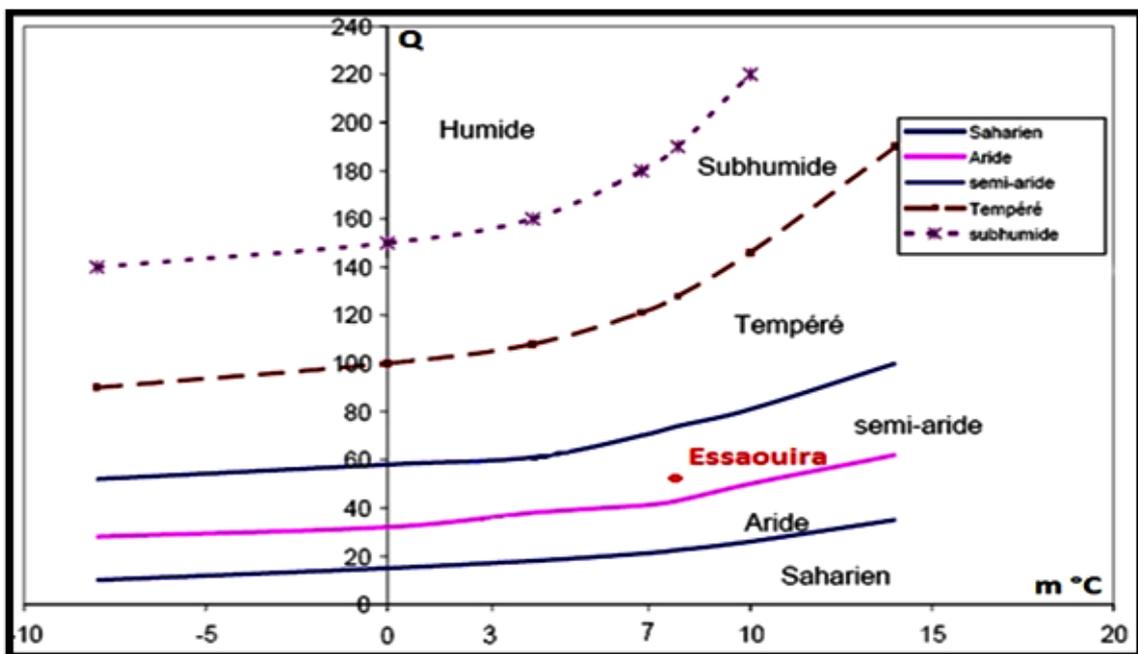


Figure I.14 : Position d'Essaouira dans les étages bioclimatiques d'Emberger

La ville d'Essaouira se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride.

#### 5.4) HYGROMÉTRIE :

L'upwelling bloque toute précipitation. Cette humidité ne pouvant précipiter, reste dans l'atmosphère, d'où les forts taux d'hygrométrie relevés (Gentile, 1997)

Pour la ville d'Essaouira, l'humidité est élevée toute l'année, restant toujours supérieure à 75% malgré les variations saisonnières. De Juin à Octobre, c'est la période la plus humide avec des taux dépassant les 85% . Le mois de Juillet est le plus humide avec 91% en moyenne. Cette période est également la plus venteuse, il y'a alors une accentuation de l'upwelling d'où un blocage des précipitations (Gentile ,1997).

De Novembre à Mai, l'hygrométrie fluctue autour de 76-85%. On note que le mois de Décembre est le mois humide avec un taux qui arrive à 76%. (Fig.I.15).

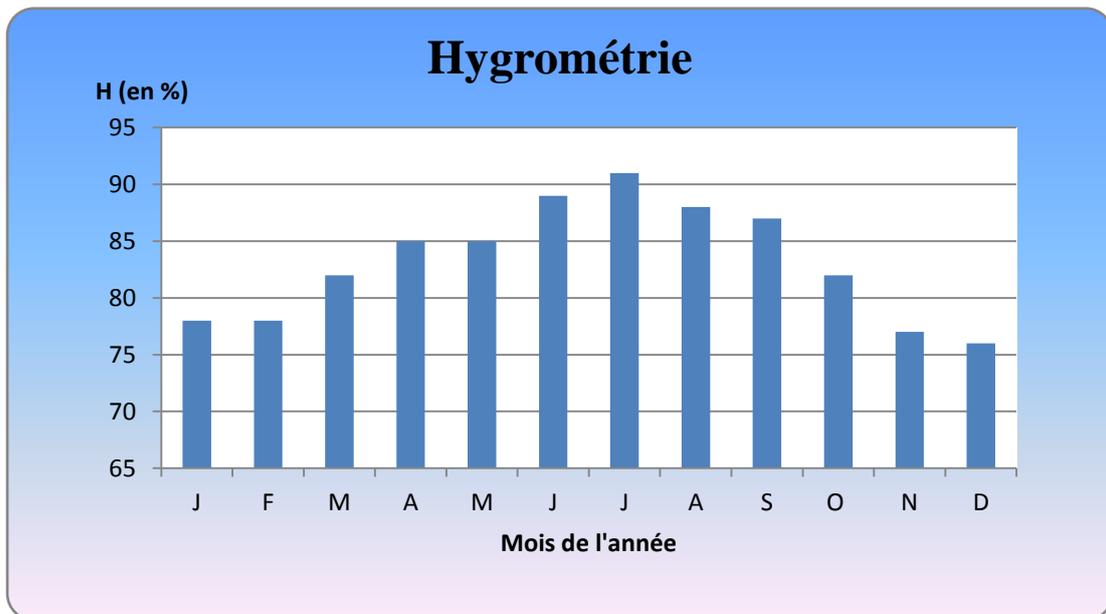


Figure I.15 : Hygrométrie mensuelle (D'après des données de la station météorologique-port d'Essaouira)

Dans les villes avoisinantes, ces moyennes sont moins élevées ; ils ne dépassent pas 71,3% à Agadir, 54% à Marrakech et 78,8% à Casablanca. Ceci est particulièrement dû aux influences océaniques entretenues par les brumes marines (Elmimouni, 2009)

Au cours de la journée, le régime hygrométrique moyen à Essaouira est marqué par une forte humidité la matinée (85,2%). A midi, ce régime diminue jusqu'à 81% ; c'est à cette heure qu'on enregistre les plus faibles moyennes journalières d'hygrométrie, pour remonter jusqu'au 84,6% à 18h le soir ( Hander , 1993, in Elmimouni , 2009).

## 5.5) LE VENT

Depuis l'antiquité, la région d'Essaouira est considérée comme étant la ville la plus venteuse du Maroc. Les découvertes archéologiques de la région d'Essaouira ont toujours mis en évidence une dynamique sableuse active associée aux vents. Cette situation climatique est principalement due à l'anticyclone des Açores ; la position géographique de la ville d'Essaouira l'a classée parmi les régions où les alizés sont puissants et humides.

Cependant, d'autres facteurs tels que la morphologie de la côte et la topographie du littoral amplifient l'action du vent. En effet, la topographie locale joue un rôle très important dans le renforcement de la vitesse du vent dans la région d'Essaouira. La situation de la ville à basse altitude (5 m d'altitude) ainsi que la prolongation des dunes consolidées et les dunes fixés, qui datent du Quaternaire, parallèlement à la ligne de rivage tout le long du littoral d'Essaouira, permettent la création d'un couloir de vent. Ce couloir se rétrécit du Nord vers le Sud ; alors que la falaise morte est à 1 km de la mer dans la région de Jbel Chicht (20 km au nord de la ville d'Essaouira), le pied de la falaise morte n'est plus qu'à 100 m de la ligne de rivage au niveau de la ville. Cette situation topographique joue un rôle remarquable dans la canalisation du vent du nord vers le sud et dans le renforcement de sa vitesse.(Elmimouni,2009)

Par ailleurs, sur le plan régional, la présence de Jbel Hadid et Jbel Ouamsitten avec des directions SE-SW et ENE-WSW fait que ces deux montagnes jouent le même rôle que les conditions locales qui se résument dans le renforcement et la canalisation des vents de la région (Hander ,1988,in Elmimouni, 2009)

### Vitesse et fréquence des vents :

| <b>Stations</b>  | <b>Hiver</b> | <b>Printemps</b> | <b>Été</b>  | <b>Automne</b> |
|------------------|--------------|------------------|-------------|----------------|
| <b>Safi</b>      | <b>10,8</b>  | <b>18,0</b>      | <b>18,7</b> | <b>15,1</b>    |
| <b>Essaouira</b> | <b>15,5</b>  | <b>19,8</b>      | <b>20,1</b> | <b>13,7</b>    |
| <b>Agadir</b>    | <b>8,6</b>   | <b>12,2</b>      | <b>8,6</b>  | <b>9,4</b>     |

*Tableau I.2 : vitesse moyenne des vents en km/h (D'après Weisrock ,1980, in Simone , 2000)*

Les vitesses moyennes les plus élevées se produisent au Printemps et en Été avec des valeurs respectives de 19,8 et 20,1 km/h (Tab.I.2), et les fréquences les plus élevées se

distribuent de Mars à Septembre dans un intervalle de 60 à 92,3 % de jours venteux (Tab.I.3). L'alizé du secteur NNE est le vent dominant la plus grande partie de l'année avec une fréquence et une vitesse plus élevées au printemps, en été et en début d'automne. (Simone, 2000)

|           | <i>Nombre de jours Calmes sur 10 ans</i> |                | <i>%</i> | <i>% de jours venteux</i> |
|-----------|--|----------------|----------|---------------------------|
|           |  | <i>moyenne</i> |          |                           |
| Janvier   | 183                                      | 18,3/31        | 59       | 41 %                      |
| Février   | 139                                      | 13,9/28        | 49,5     | 50,5                      |
| Mars      | 99                                       | 9,9/31         | 32       | <b>68</b>                 |
| Avril     | 62                                       | 6,2/30         | 20,6     | <b>79,4</b>               |
| Mai       | 89                                       | 8,8/31         | 28,8     | <b>71,2</b>               |
| Juin      | 86                                       | 8,6/30         | 28,6     | <b>71,4</b>               |
| Juillet   | 32                                       | 3,2/31         | 9,7      | <b>92,3</b>               |
| Août      | 52                                       | 5,2/31         | 15,9     | <b>84,1</b>               |
| Septembre | 121                                      | 12,1/30        | 40       | <b>60</b>                 |
| Octobre   | 146                                      | 14,6/31        | 47       | 53                        |
| Novembre  | 171                                      | 17,1/30        | 56       | 44                        |
| Décembre  | 144                                      | 14,4/31        | 46,5     | 53,5                      |
| Année     |  | 142,4/365      | 38       | <b>62</b>                 |

Tableau I.3 : Les jours calmes et venteux à Essaouira (1958-67) (D'après Weisrock, 1980, in Simone 2000)

La fréquence et l'intensité de ces vents peuvent être visualisées par des roses de vent (fig.1.16)

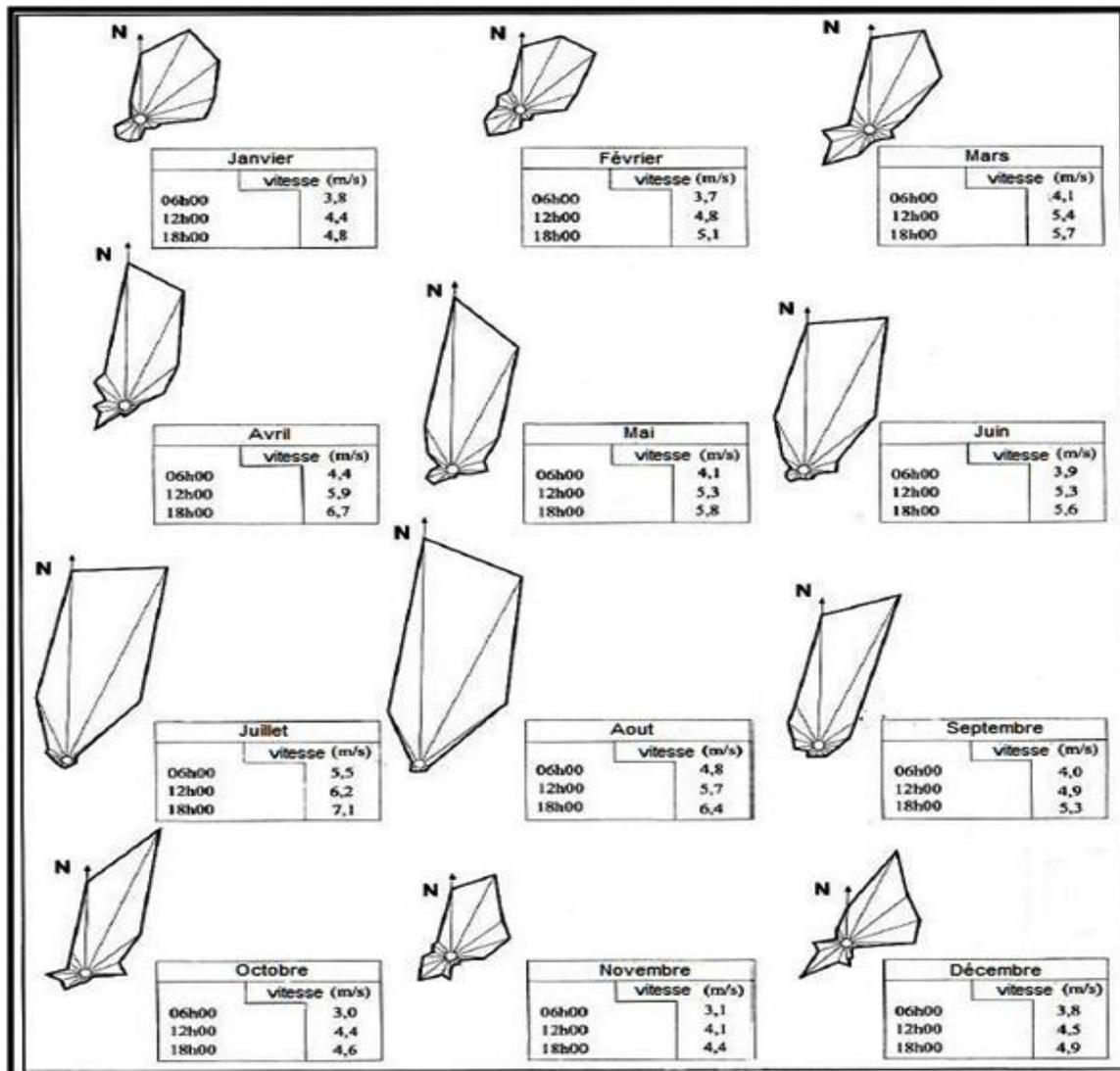


Figure I.16 : les roses de vents à Essaouira (d'après Gentile, 1997)

D'après Elmimouni (2009) , les variations de l'intensité du vent au cours de l'année, dans la région d'Essaouira permettent de mettre en évidence une saison calme et une saison venteuse avec des saisons de transition :

- La saison calme (hiver) comprend les mois de Décembre, Janvier et Février. Suite à la remontée de l'anticyclone des Açores vers le nord, la fréquence et l'intensité du vent sont remarquablement faibles. C'est en cette saison que les vitesses les plus faibles de l'année sont enregistrées.
- La saison des vents (été) correspond à la descente de l'anticyclone des Açores vers le sud, ce qui explique la progression de la fréquence et de l'intensité des

vents pendant cette période de l'année. Les directions du vent les plus dominantes en été sont NNE (48%) et NE (30%). Les vitesses enregistrées durant cette saison sont toujours supérieures à  $4\text{m.s}^{-1}$  et peuvent parfois dépasser les  $12\text{m.s}^{-1}$ . Les vitesses de 8 à  $12\text{m.s}^{-1}$  représentent 35% des mesures enregistrées, alors que les vitesses comprises entre 4 et  $8\text{m.s}^{-1}$  constituent 43%.

Deux saisons de transition (automne et printemps) séparent la saison calme (hiver) et la saison venteuse (été). Elles sont caractérisées par des vitesses du vent assez importantes surtout en automne, notamment le mois de Septembre, où la vitesse et l'intensité du vent sont toujours élevées.

#### ✚ Les variations journalières des vents :

Les relevés effectués à 6h du matin, midi et 18h ( Fig.I.17) révèlent des vents gagnant en puissance tout au long de la journée, et ce, quelle que soit la saison. Cette accélération se fait surtout entre 6h et 12h, l'après midi qu'un gain modéré (en général 50% de celui du matin).

Le proche passage et la montée en latitude de l'Anticyclone (d'Avril à Juin) se traduit par une accélération journalière des vents qui est la plus marquée (gain jusqu'à  $2,3\text{m/s}$  en Avril entre 6 et 18h). A partir d'août et jusqu'en Octobre, l'accélération quotidienne se fait plus modeste (entre  $1,6$  et  $1\text{m/s}$ ). (Gentile , 1997)

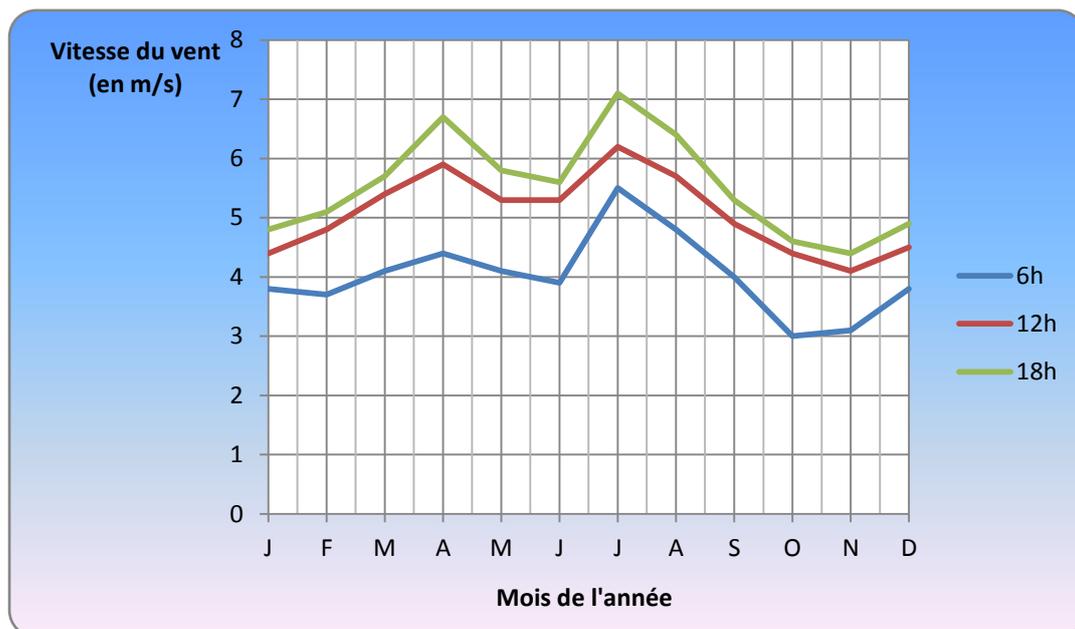


Figure I.17 : Vitesses moyennes mensuelles des vents (D'après Gentile, 1997)

❖ *Remarque :*

En dehors des grands flux alizéens, des vents de secteur ouest, sud-ouest et sud ont été relevés. Ce ne sont que de légères brises de mer, et flux locaux au caractère saisonnier. Il s'agit principalement d'un vent pluvieux lié au flux perturbé de Sud-Ouest, s'installant lorsque l'anticyclone s'affaiblit, et permettant le passage de coulées d'air polaire d'altitude, jusqu'à ces régions méridionales. La situation est similaire en Septembre avec un flux perturbé de Nord-Ouest, retrouvant une direction Ouest en Octobre.

Ainsi, tout comme l'alizé, les flux perturbés suivent le déplacement saisonnier de l'anticyclone des Açores. Relativisons toutefois leur action : ces flux pluvieux restent secondaires. Ils sont toujours balayés par le puissant alizé, garantissant ainsi un « beau temps » sur Essaouira (Gentile,1997)

## **6) CADRE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE**

### **6.1) CADRE HYDROLOGIQUE**

En ce qui concerne les eaux de surface, le plus important oued de la région est « oued ksob ». Cet oued résulte de la confluence de deux oueds Igrounzar et Zelten. Son bassin versant, dont la surface est de l'ordre de 1480 km<sup>2</sup>, est marqué par un réseau hydrographique très dense, sauf dans la région de Khemis Meskala et dans la zone synclinal d'Essaouira (partie aval) où il devient plus lâche (Fig.1.18) (Elmimouni , 2009)

Le débit moyen d'oued Ksob est estimé à 1,44 m<sup>3</sup>/s (au poste Zerrar). Les variations saisonnières sont très marquées. Ainsi, le débit du mois le plus sec est de 1,4 % du débit moyen. Les écoulements sont concentrés surtout entre Décembre et Mars, avec 67 % des apports totaux. L'embouchure de l'Oued Ksob est située au Sud de la ville d'Essaouira et présente à ce titre des risques potentiels d'inondation (RESING ,1996)

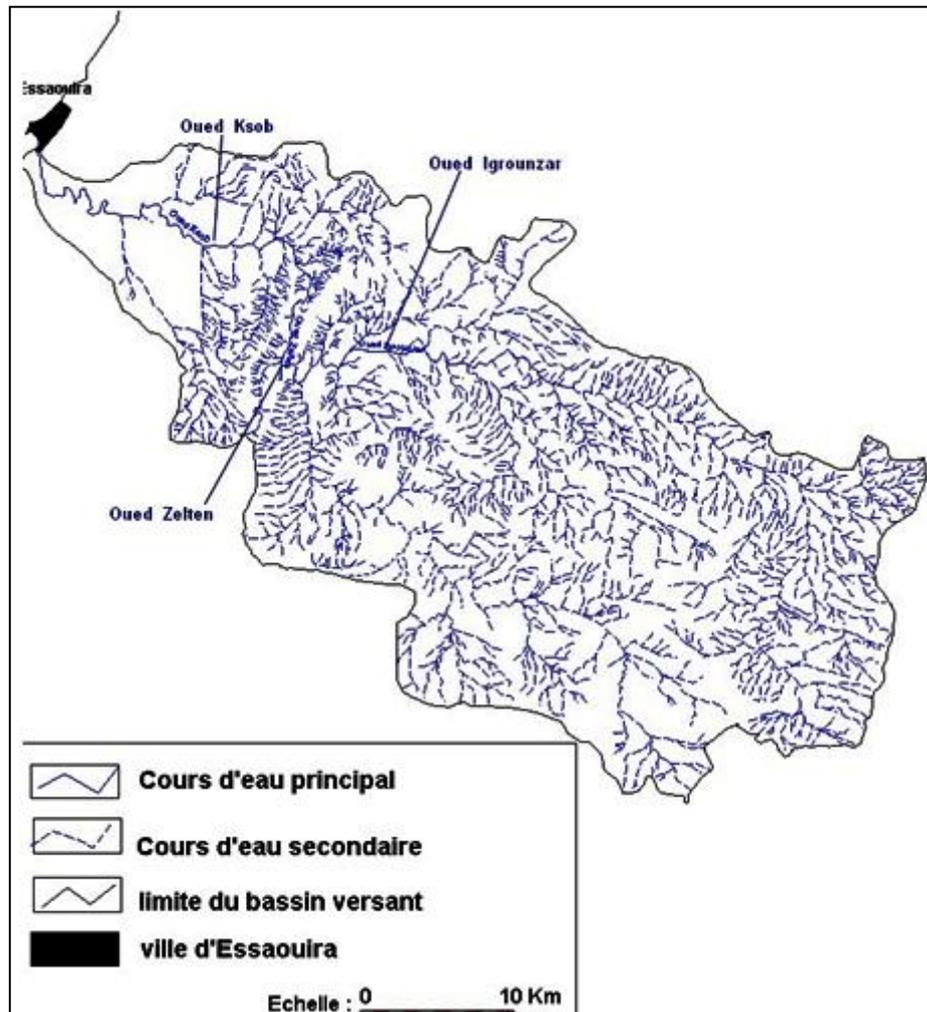


Figure I.18: Carte Hydrographique du bassin versant Ksob  
(D'après Elmimouni et al., 2010)

## 6.2) CADRE HYDROGÉOLOGIQUE

### 6.2.1) Formation aquifère et géométrie

La ville d'Essaouira est située au dessus de l'aquifère plioquaternaire développé au niveau de la bande côtière. Cet aquifère allongé suivant une direction Nord Est-Sud Ouest, atteint le plateau d'Akermoud au Nord de l'oued Ksob. Vers la limite orientale de cet aquifère, s'étend l'aquifère crétacé du Meskala-Korimat.

L'aquifère de la bande côtière est constitué de grès dunaires et calcaires coquillés plioquaternaire, il s'étend sur une bande dont la largeur est de 20 km et la longueur est 40 km.

Ce réservoir n'est productif que lorsqu'il est en position perchée, reposant sur des formations marneuses imperméables. L'épaisseur saturée de cet aquifère varie entre 10 et 60m. (Phénixa, 2011)

### **6.2.2) Paramètre hydrodynamiques et écoulement de la nappe**

Les valeurs de transmissivité de l'aquifère varient dans un intervalle de valeurs allant de  $10^{-5}$  à  $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Les débits ne dépassent pas 10 l/s.

La nappe phréatique a un écoulement qui s'effectue vers l'océan Atlantique. Son mode de circulation est libre.

### **6.2.3) Profondeur du plan d'eau souterraine**

La topographie de la ville d'Essaouira étant plate, avec des dénivelés très faibles (inférieurs à 3 m) et à proximité immédiate de la mer, le niveau de la nappe est le même que celui de la mer ou très légèrement supérieur.

La profondeur du plan d'eau souterraine fluctue dans un intervalle de valeur allant de 2 à 5m. La Kasbah, étant légèrement plus haute en certains endroits, doit montrer une profondeur de nappe un peu plus supérieure.

La profondeur du plan d'eau mesurée à partir d'un puits implanté dans la médina (près de la rue Sidi Abdesmih) est de l'ordre de 3,7m avec un niveau piézométrique (0,4 m NGM) très stable quelque soit l'heure de la marée, ce qui témoigne d'un niveau potentiel imposé par la mer (Phénixa ,2011).

### **6.2.4) Bilan de la nappe :**

L'actif du bilan de la nappe phréatique de la bande littorale est représenté essentiellement par :

- Infiltration pluviale directe ;
- Apports le long des oueds dont oued Ksob ;
- Retour des eaux d'irrigation ;
- Abouchement latéraux (dont ceux liés à l'aquifère Crétacé de Meskala-Korimat).

Pour cette même nappe, le passif du bilan moyen est représenté par les termes suivants :

- Prélèvement pour l'alimentation en eau potable.
- Prélèvement pour l'irrigation
- Sorties latérales.

|                               | Entrée (Mm <sup>3</sup> ) | Sortie (Mm <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Infiltration pluviale directe | 15                        |                           |
| Apport des oueds              | 13                        |                           |
| Retour des eaux d'irrigation  | 1                         |                           |
| Abouchements latéraux         | 25,9                      |                           |
| Prélèvement pour l'AEP        |                           | 8                         |
| Prélèvement pour l'irrigation |                           | 46                        |
| Sorties latérales             |                           | 30,6                      |
| Total                         | 54                        | 84 ,4                     |
| Bilan                         | -30 Mm <sup>3</sup>       |                           |

*Tableau I.4 : Bilan hydraulique de la nappe plioquaternaire de la bande côtière*

*(Phénixa ,2011)*

Le tableau I.4 ci-dessus montre que Le bilan de la nappe phréatique plioquaternaire de la bande côtière est négatif, témoignant d'une surexploitation des eaux souterraines.

## 7) VÉGÉTATION NATURELLE ET SOLS

### 7.1) VÉGÉTATION NATURELLE

La région d'Essaouira comprend 2 étages bioclimatiques, à savoir :

- l'étage bioclimatique méditerranéen-aride
- l'étage bioclimatique méditerranéen-semi-aride

- ***Etage de végétation méditerranéen-aride***

L'étage de végétation méditerranéen-aride occupe la grande partie de la province d'Essaouira. Cet étage est le résultat d'un climat à faible pluviométrie (environ 250 mm par an) combiné à des températures élevées et, par conséquent, une forte évaporation. Etant donné ces caractéristiques climatiques, la vie végétale dans cet étage n'est pas facile. Cependant, malgré ces conditions, on remarque l'apparition d'une forêt claire et d'un tapis herbacé quasi continu pendant les années de pluviométrie normale.

Dans la province d'Essaouira, cet étage est représenté par l'arganier (*Argania spinosa*). La forêt d'arganier, étant donné son exploitation économique, présente un niveau de dégradation élevé. C'est pourquoi, il est pratiquement impossible de rencontrer actuellement une forêt à l'état climax. (RESING, 1996)

- ***Etage de végétation semi-aride***

La deuxième zone phytoclimatique importante en superficie est constituée par l'étage de végétation semi-aride. Le climat qui caractérise cet étage de végétation est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle > 350 mm et des températures moyennes maximales moins élevées.

Dans la province d'Essaouira, cet étage entoure l'étage aride au Nord et au Sud. Il apparaît également sous forme de tâches au milieu du domaine aride, en occupant les points élevés ainsi que la frange côtière autour d'Essaouira où il est représenté par le thuya de barbarie (*tetraclium articulata*), en particulier dans une vaste zone au Sud de la ville d'Essaouira.

Bien que la distribution du thuya soit très importante, son espace écologique a été l'objet d'une forte pression anthropique. Cette espèce présente un degré de dégradation élevée là où elle persiste encore, en raison des coupes abusives dont elle fait l'objet.

Dans les zones où le climat devient plus aride et continental, le thuya est remplacé par le genévrier rouge (*Juniperus phonicea*). Dans les environs d'Essaouira, on trouve une tache de genévrier rouge qui se développe plus librement dans les sols sableux plus favorables aux environs de la ville d'Essaouira.

Le genévrier rouge présente une distribution géographique potentielle plus vaste que l'actuelle. Les forêts de genévrier ont été détruites sur de grandes étendues pour se procurer du bois pour les toitures des maisons de l'ancienne médina de la ville (toitures encore visibles dans les maisons et ruelles de la médina). (RESING, 1996)

## 7.2) LES SOLS

La classe des sols développés sur la quasi-totalité de la ville d'Essaouira ainsi que son hinterland est représentée par des sols humifères carbonatés, de couleur très foncée et rouge ; sols fortement érodés, sablo-pierreux, à croûte contenant un horizon calcaire silicaté durci ; et terres rouges sableuses développés sur roches sédimentaires calcaires (du Crétacé et du Jurassique) et calcaire sableux tertiaire (types des sols de la bande littorale de l'Atlantique) (Phénixa, 2011).

Tous ces sols sont fréquemment régénérés et occupés par des cultures, mais aussi fréquemment, portant encore une végétation composée essentiellement de Pistacia Lentiscus et Argania Spinosa.

L'examen géotechnique détaillé de la médina d'Essaouira (Phénixa, 2011) a montré que cette ville est bâtie sur un rocher calcaire tendre et sur des sables de décomposition de celui-ci, associé à du sable dunaire. Une partie des constructions est bâtie sur des remblais issus des matériaux précédents des anciennes constructions. La présence d'argile est exclue sur le site de la ville.

## 8) LA DYNAMIQUE MARINE DE LA RÉGION D'ESSAOUIRA

### 8.1) LA MARÉE DANS LE LITTORAL D'ESSAOUIRA

Sur le littoral d'Essaouira, le marnage maximal observé dépasse rarement le seuil de 4m (Fig.17); ce qui classe notre zone d'étude parmi les plages mésotidales. La région connaît une marée semi-diurne où il y a deux pleines mers et deux basses mers d'importances sensiblement égales par jour. C'est le type de marée prépondérant sur les côtes Atlantiques. Cette marée est un des facteurs les plus importants dans le système hydro-sédimentaire du littoral d'Essaouira, qui influence directement ou indirectement la morphogénèse de la plage.(Elmimouni ,2009)

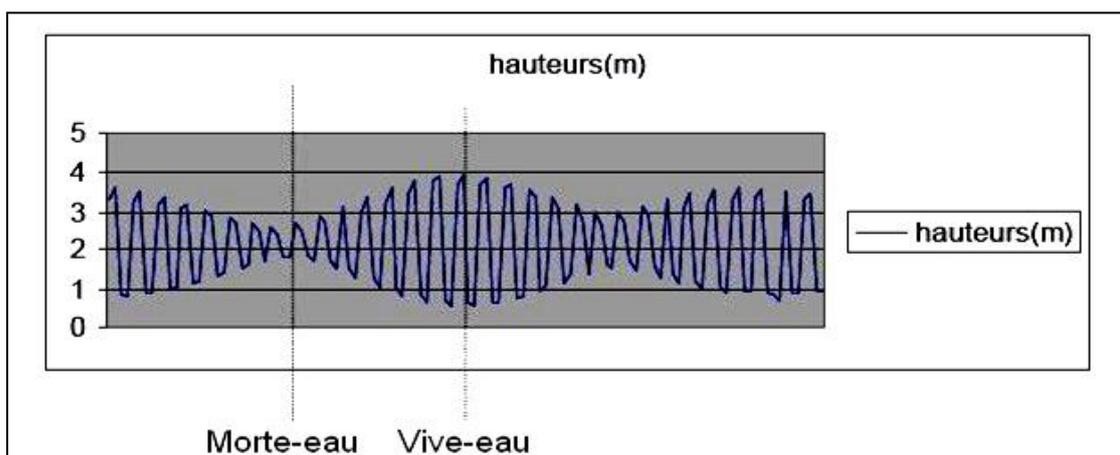


Figure I.19 : Courbe de marée de la ville d'Essaouira (source : <http://membres.multimania.fr/jamasig/doc/Projets/Hydrographie/hydro.pdf> )

## 8.2) LA HOULE À ESSAOUIRA

Comme sur toute la côte occidentale africaine, la houle est quasi-permanente à Essaouira. Les fréquences de houle sont caractérisées par une prédominance pour les puissances faibles à modérées, soit des hauteurs comprises entre 0,5 et 3m. On les rencontre plus de 150 jours/an, mais il y'a des distinctions saisonnières selon leur puissances (Gentile, 1997)

En été, lorsque les alizés se déclenchent, la houle est fréquemment faible de l'ordre de 0,5 à 1,5m pour une durée de 19 jours/mois. En hiver, par contre, la tendance est aux houles modérées (1,5 à 3m) mais moins fréquentes (Gentile ,1997)

La fréquence moyenne à 1,5m est de 177 jours/an, pour une direction de nord-ouest dominante. La hauteur des vagues y raisonnables, du fait de la rareté des jours de tempêtes (Gentile, 1997).

## 8.3) TEMPÊTES ET PHÉNOMÈNE EXTRÊMES

A Essaouira, Le niveau marin, pendant une tempête, peut dépasser les quatre mètres. Cette surélévation est le résultat d'une conjonction en une forte tempête (la houle , une marée ordinaire de vives eaux (marnage voisin de 3 m) et de basses pressions atmosphériques qui peuvent relever le niveau de la mer jusqu'à 0,50 m).

Il faut noter que les régions côtières du Portugal, de l'Espagne et du Maroc sont exposées aux Tsunami générés par les séismes Atlantiques. Parmi les Tsunamis d'origine atlantique ayant affecté le Maroc, le plus célèbre est engendré par le séisme du premier Novembre 1755, connu sous le nom du séisme de Lisbonne de magnitude 8,5 à 9 sur l'échelle de Richter. Ce séisme a développé des Tsunamis dont la hauteur a atteint 15 mètres et a touché les villes marocaines suivantes :Assila, El Jadida et Safi, et a entraîné des dégâts considérables au niveau des villes côtières de Tanger, Asila, Larache, Mehdia , Salé, Rabat, Casablanca. La mer a pénétré sur plus de 2 km à l'intérieur des terres. A El Jadida, Safi et Essaouira ont été touchées par ce Tsunami. (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, 2005)

## **CHAPITRE II : DEVELOPPEMENT URBAIN D'ESSAOUIRA ET EVOLUTION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT**

### **A. DEVELOPPEMENT URBAIN**

#### **1) LA PERIODE ANCIENNE :**

Des fouilles archéologiques ont révélé que le site d'Essaouira était initialement un comptoir phénicien. Le site est ensuite occupé par les Crétois, les Grecs et les Romains. Mogador, son ancien nom, provient du mot phénicien Migdol qui signifie “ petite forteresse ”. En 1506, la ville devait devenir le siège d'une forteresse portugaise mais fut abandonnée peu de temps après.(ICOMOS ,2001)

#### **2) LA PERIODE MODERNE**

Cette période s'étend de la deuxième moitié du XVIII<sup>ème</sup> siècle à nos jours. Elle est partagée en deux époques :

- La fondation de la ville et son expansion
- Le protectorat et l'indépendance

##### **2.1) LA FONDATION DE LA VILLE ET SON EXPANSION**

La ville actuelle date de 1765, année au cours de laquelle le Sultan alaouite Sidi Mohamed ben Abdallah décide de construire un port destiné à offrir au Maroc une ouverture sur le monde extérieur tout en permettant de développer des relations commerciales avec l'Europe. Il sollicite alors le concours de « Théodore Cornut », ingénieur spécialiste des fortifications militaires d'Avignon qui fut fortement influencé par les fortifications de Vauban à Saint-Malo. Il démantèle partiellement la forteresse portugaise afin de construire la Sqala. Il organise la ville en damier, avec des forts inspirés de ceux du Roussillon, dans la tradition européenne. La ville entière est alors entourée d'une muraille de style Vauban (Fig. II.1) (ICOMOS , 2001) .

La forme globale de la médina est déterminée par la péninsule et articulée par le mur qui l'entoure. La médina est construite sur les rochers car les dunes n'étaient pas adaptées pour la construction (De Meulder et Loeckx , 2004)

Parmi les conséquences de la construction de la *Médina* c'est la surexploitation de la forêt dunaire par la population nouvellement installée et par la suite le sable des dunes a envahit la ville.

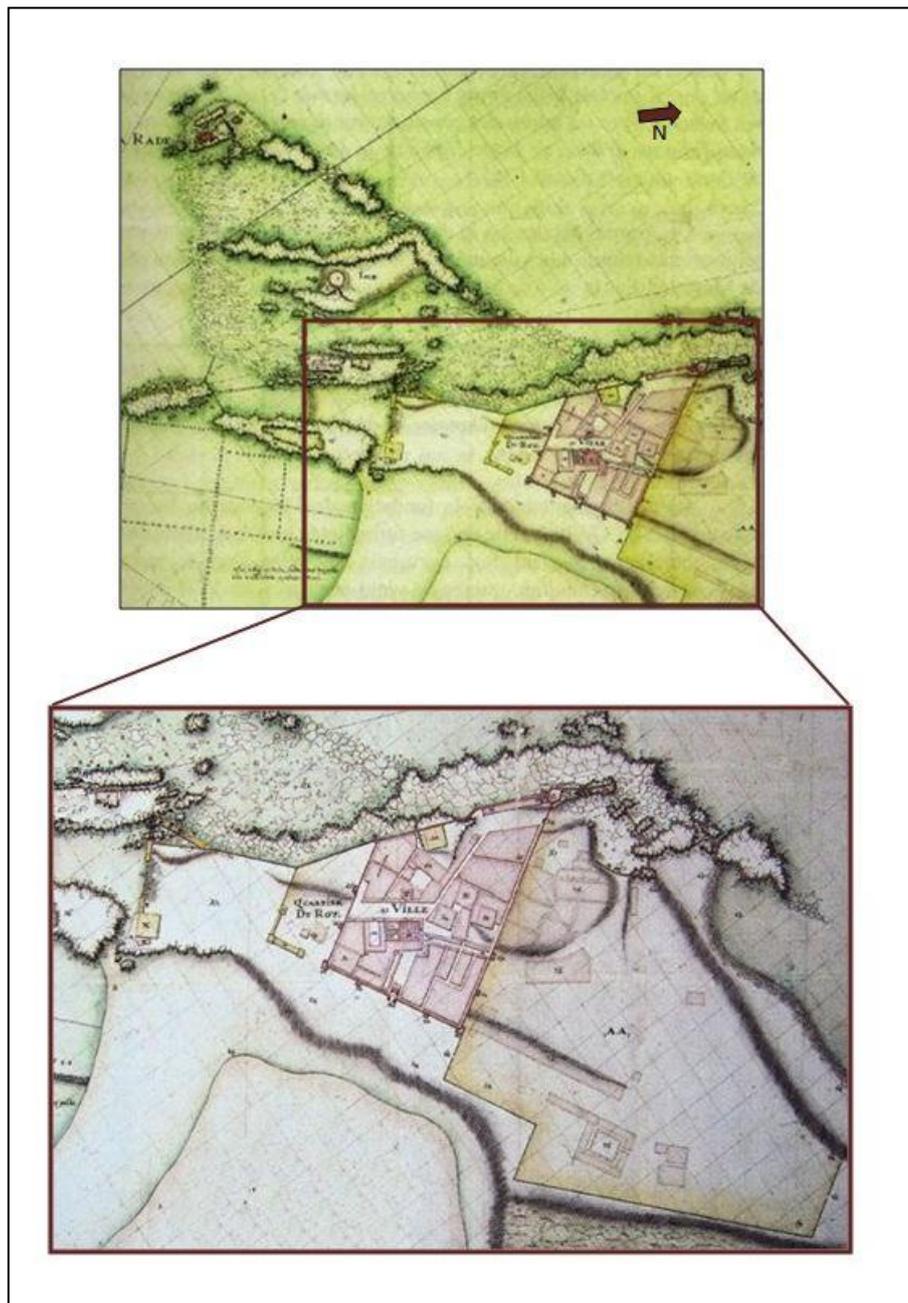


Figure II.1 : Plan de la ville réalisé par Théodore Cornut (en 1767) (Source : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Theodore\\_Cornut\\_Essaouira\\_1767.jpg](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Theodore_Cornut_Essaouira_1767.jpg) )

À partir de 1809 et tout au long du XIXe siècle, l'expansion urbaine se poursuit puisant dans les mêmes ressources. Notons que l'activité portuaire de Mogador et son urbanisation se sont développées simultanément durant ces deux derniers siècles, mais l'impulsion et l'essor de l'activité économique furent prépondérants au XIXe siècle. Le bois extrait a aussi alimenté les ateliers de construction de barques et bateaux de pêche dont certains étaient exportés dans tout le pays (Simone ,1996).

C'est de cette manière qu'au début du XXème siècle, la forêt a complètement disparu dans un rayon de 8 à 15 km, excepté quelques isolats résiduels. À sa place se sont installés des sables mobiles, apportés par le vent

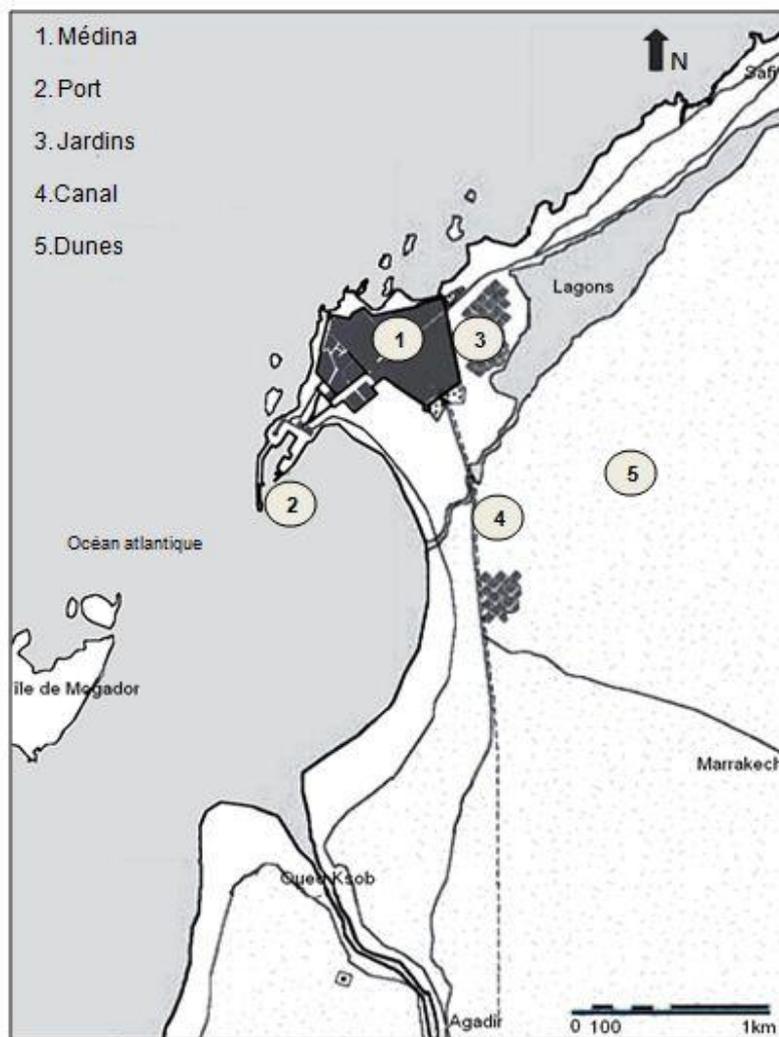


Figure II.2 : Schéma historique d'Essaouira basé sur le plan de 1895-1896 (D'après De Meulder et Loeckx , 2004)

D'après le schéma de la figure II.2 , on remarque que la ville est entourée, dans ses partie Est et Sud, par un système lagunaire continu avec une embouchure vers la mer. On note que le rôle du canal « séguia » est l'apport des eaux depuis oued Ksob vers la médina afin d'irriguer les jardins potagers qui l'entourent.

## 2.2) LE PROTECTORAT ET L'INDEPENDANCE :

L'époque du protectorat et de l'indépendance a marqué une étape dans les rapports homme/milieu par une double attitude.

En 1914, l'accès de la ville par l'intérieur du pays était fréquemment coupé. Seules les caravanes de dromadaires permettaient de franchir les dunes par les pistes sablonneuses. (Photo II.1)



a) Des caravanes dans les dunes



b) La silhouette de la ville au-delà des dunes

*Photo II.1 : Accès à la ville d'Essaouira par des caravanes à travers les dunes*

Plusieurs maisons de la partie Est de la ville étaient envahies par des amas de sable et les étroites rues protégées par de hautes murailles connaissaient souvent des dépôts sableux. À ce stade, un plan de reboisement a été mis en place la même année afin de fixer les sables mobiles et de renforcer le taux de couverture végétale. Les travaux n'ont réellement débuté qu'à partir de 1918 et ont été assurés plusieurs années après l'indépendance. (Simone , 1996)

Depuis sa construction jusqu'aux années trente du siècle dernier, la ville s'est limitée à l'enceinte existant entre les remparts. A partir de cette date, la croissance démographique et l'exode rural ont nécessité l'expansion de la ville à l'extérieur de la muraille avec la construction du quartier Industriel et un quartier résidentiel colonial (Fig. II.3) (El Mouatez , 2003) .

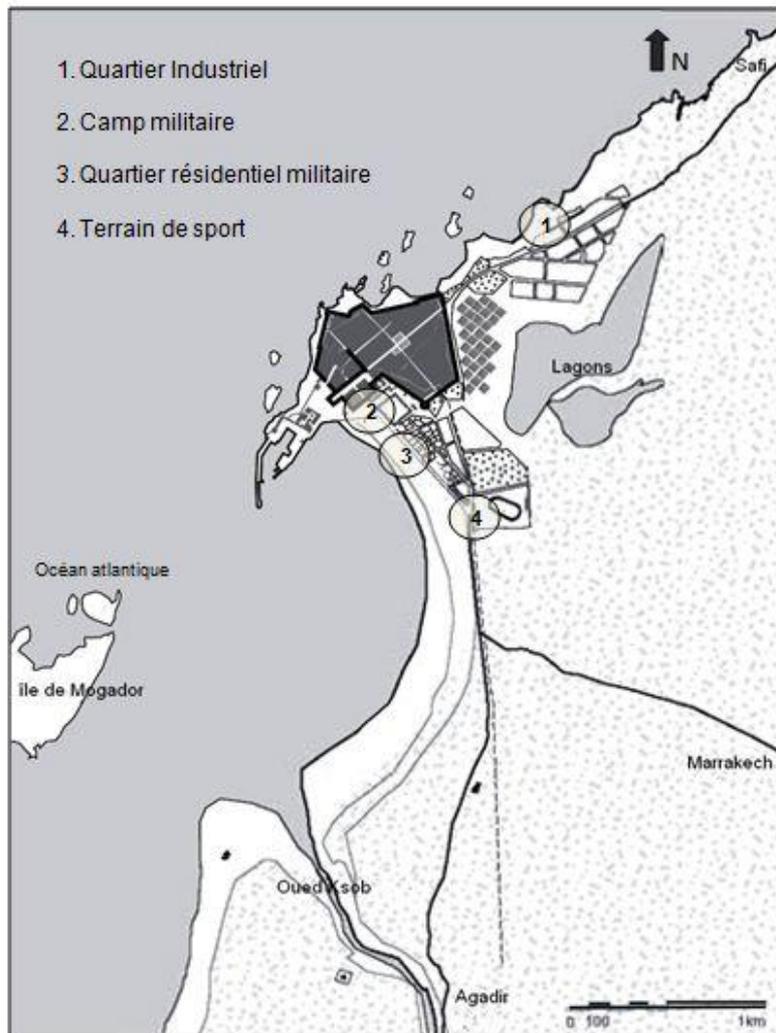


Figure II.3 : Schéma de l'extension coloniale depuis 1912 à 1956 (D'après De Meulder et Loecx , 2004)

### 3) LA PERIODE ENTRE L'INDEPENDANCE ET L'ACTUEL

Entre les années 1953 et 1974 l'extension de la ville s'est effectuée selon deux directions : extension vers le Nord et le Sud, sur des quartiers nommés « logements fonctionnaires » et « dunes » (Fig. II.4) (Jaouani , 2009)

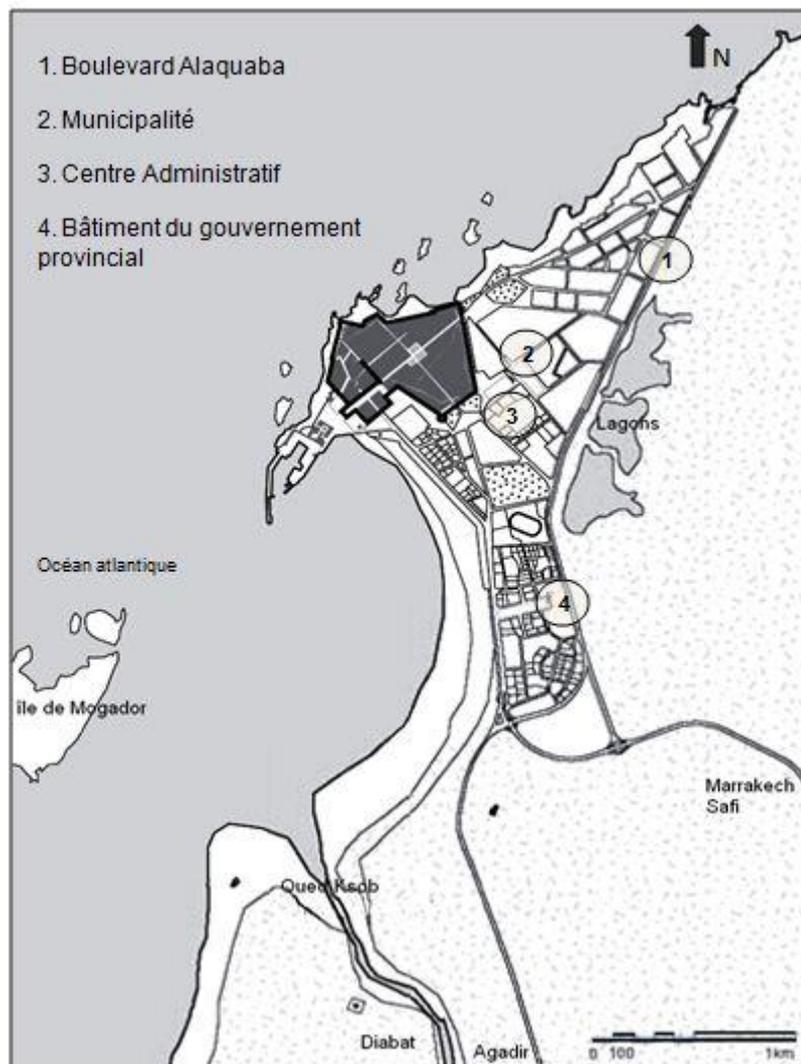


Figure II.4 : Schéma du développement de la ville en 1960

(D'après De Meulder et Loeckx , 2004)

*Remarque* : le quartier des dunes a été aménagé sur un terrain dunaire d'où vient sa nomination et c'est le même cas pour le lotissement appelé « la lagune » car il est réalisé sur un espace lagunaire après son remblayage. Ceci montre que plusieurs zones à Essaouira ont

été réalisées sur des espaces qui présentent un intérêt écologique ce qui constitue des menaces sur le site aménagé et aussi sur les logements.

La ville a connu une extension entre les années [1974-1984] au dépend des lagons et durant la période, entre les années 1984 et 1991, elle a connu une extension vers les extrémités Nord et Sud par la construction des quartiers Skala et Elborj. (Fig. II.5) (Jaouani ,2009)

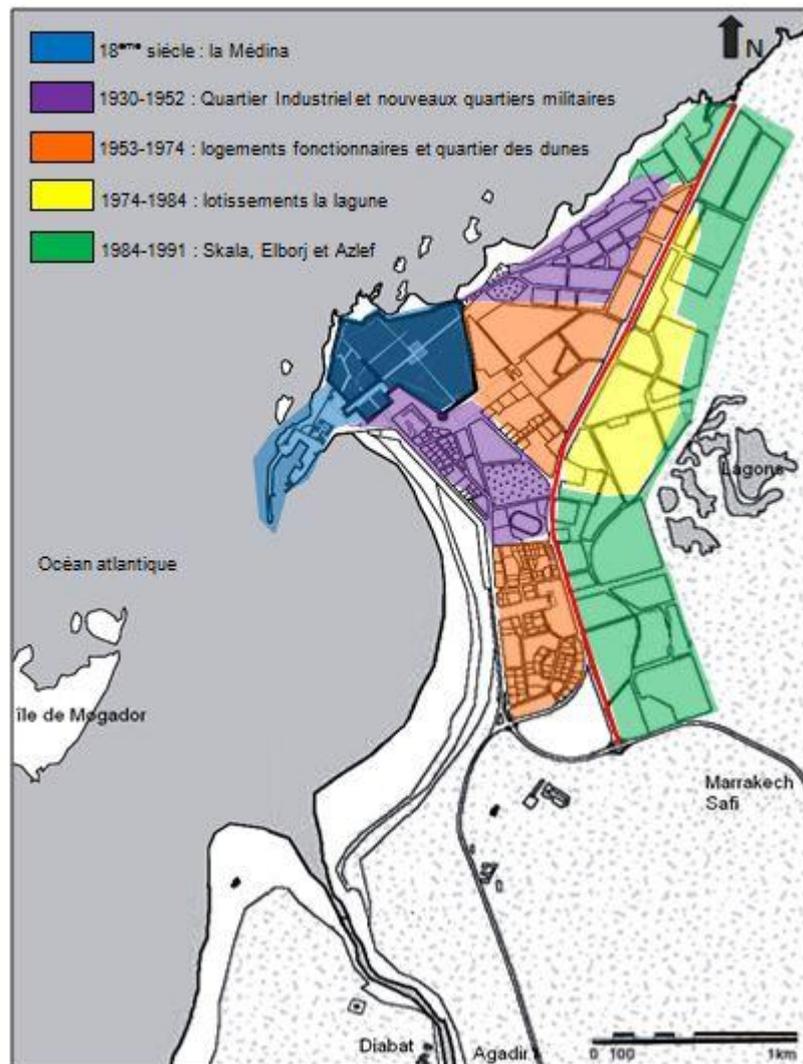


Figure II.5: Schéma montrant l'extension de la ville selon les années (D'après De Meulder et Loeckx , 2004 ; modifiée)

Depuis l'année 1992, le schéma directeur d'aménagement urbain prévoit le respect des composantes environnementales particulières de la ville qui sont :

- La ceinture verte à l'Est (c'est l'ancien champ dunaire aménagé et planté d'arbustes pour préserver son écosystème et qui assure plusieurs fonctions urbanistiques, environnementales et socio-culturelle comme on va le voir ultérieurement)
- Oued Ksob et les dunes au Sud
- L'océan à l'Ouest

Ainsi l'expansion de la ville est limitée par son environnement. Pour palier à ce problème, des entrepreneurs (Chaabi Lil Iskane en tête) ont engagé la construction d'une ville nouvelle : Essaouira El Jadida appelée aussi Al Ghazoua située au Sud-Est à 7 km du centre de la ville d'Essaouira. On a aussi une autre zone satellite d'extension d'Essaouira mais dans un ordre industriel, c'est la nouvelle zone industrielle au Douar Laarab, à quelques kilomètres de la ville, et qui permettra de transférer les usines encore en activité de l'ancien quartier industriel de la ville, qui se trouvent dans un stade très avancé de dégradation. (Fig.II.6)

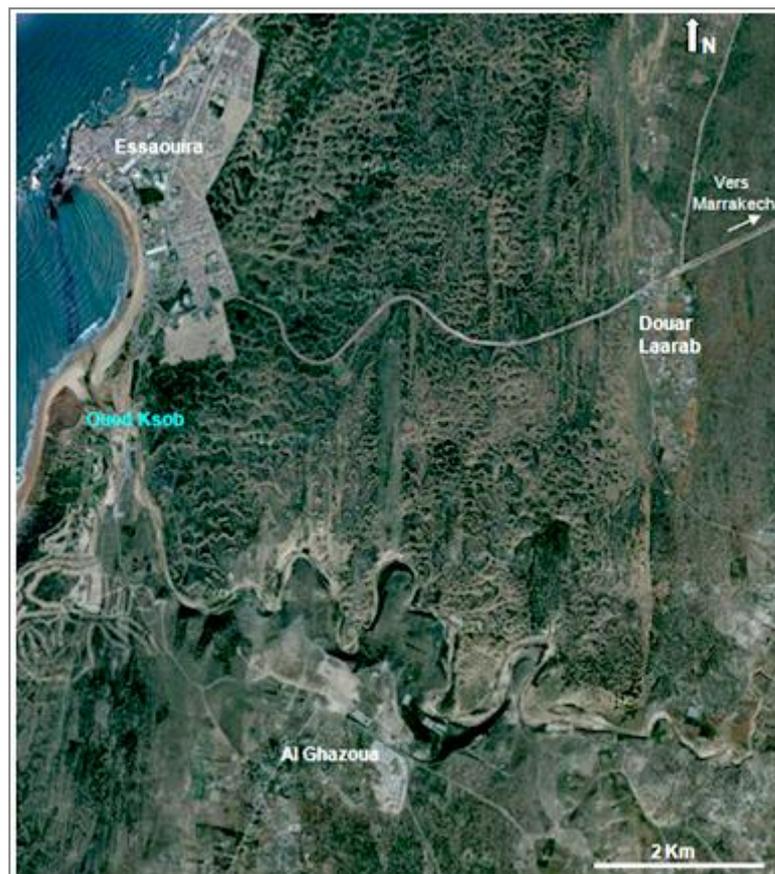


Figure II.6 : la position géographique de la ville d'Al Ghazoua et Douar Laarab

La problématique principale de la ville réside dans la configuration de son site qui présente des obstacles à son expansion. La ville est enserrée dans une enclave triangulaire limitée par la mer à l'Ouest, les dunes à l'Est et l'Oued Ksob au Sud, et ne dispose pas ainsi de terrains urbanisables à l'intérieur du périmètre d'aménagement.

De plus, son site est constitué d'un milieu naturel fragile qui présente des caractéristiques particulières dont l'équilibre doit être préservé (dynamique dunaire très fragile dont l'équilibre a été atteint grâce à des plantations et un long effort d'aménagement et dont la rupture aurait des conséquences difficilement maîtrisables). Plusieurs facteurs, notamment la nature des sols (sables) et du relief (dépressions lagunaires et topographie dunaire ondulée) et l'existence des vents qui déplacent les sables constituent également des facteurs défavorables à l'urbanisation car ils supposent que les terrains soient à la fois asséchés, stabilisés, remblayés et aplanis, ce qui entraîne des coûts d'urbanisation très élevés.

D'autres contraintes d'ordre technique concernant l'assainissement et l'alimentation en eau. En effet la déclivité très faible des pentes (la ville étant située pratiquement au niveau de la mer, l'altitude maximale ne dépassant pas 5 m) et la vulnérabilité des sols entraînent des difficultés d'assainissement. Par ailleurs, le problème de l'eau est à prendre en considération dans toute perspective d'extension urbaine, car les capacités d'alimentation actuelles sont insuffisantes et doivent être augmentées.

#### 4) L'EVOLUTION DEMOGRAPHIQUE A ESSAOUIRA

L'expansion de la ville d'Essaouira a été accompagnée par un développement démographique qui se caractérise par une irrégularité selon les années (Tab.II.1)

| année     | Nombre de Population | Taux d'accroissement | Taux d'accroissement national |
|-----------|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1926-1931 | 14636                | -                    | -                             |
| 1931-1936 | 15166                | 0,72                 | -                             |
| 1936-1960 | 26392                | 2,96                 | -                             |
| 1960-1971 | 32465                | 2,09                 | 2,58                          |
| 1971-1982 | 46858                | 4,03                 | 2,61                          |
| 1982-1994 | 56074                | 1,63                 | 2,06                          |
| 1994-2004 | 69493                | 2,39                 | 1,38                          |

Tableau II.1 : Evolution de la population d'Essaouira (Jaouani , 2009)

On remarque que le taux d'accroissement à Essaouira a dépassé le taux d'accroissement national durant les périodes 1971-1982 et 1994-2004.

On peut expliquer l'augmentation de l'évolution de la population à Essaouira, durant les dernières décennies, par le développement du tourisme dans la région, notamment les sports nautiques et les activités touristiques dans les dunes, ce qui a permis la promotion de nombreux hôtels, restaurants, et d'autres activités liées au tourisme. Une grande population qui travaille dans ce secteur s'est dirigée vers la nouvelle ville d'Essaouira-El Jadida, qui a connu une croissance très importante tout au long des dernières années comme le montre le tableau II.2

|                       | 1994  | 2004  | Taux d'accroissement | Prévision 2015 |
|-----------------------|-------|-------|----------------------|----------------|
| La Médina             | 25300 | 20200 | -2,01                | 20000          |
| Quartier Industriel   | 2000  | 2010  | 0,05                 | 2000           |
| Lala Amina            | 8000  | 7500  | -0,62                | 7000           |
| Lotissement la lagune | 3000  | 3040  | 0,13                 | 2000           |
| Les dunes             | 1500  | 1460  | -2,66                | 1000           |
| Skala et prolongement | 12500 | 20513 | 6,41                 | 26000          |
| Sud de la ville       | 0     | 620   | -                    | 1000           |
| diabat                | 800   | 870   | 0,87                 | 1000           |
| Douar laarab          | 900   | 1200  | 3,33                 | 2000           |
| Al ghazoua            | 1700  | 12080 | 6,10                 | 22000          |
| Domaine urbain        | 55700 | 69493 | 2,47                 | 84000          |

*Tableau II.2 : Evolution de la population selon les quartiers (Source : Commissariat Régionale au Plan de Marrakech 2009)*

Les prévisions démographiques de la ville d'Essaouira et les perceptions futures de la population des quartiers montrent que la ville évolue vers deux principaux domaines : Al Ghazoua au Sud et Douar Laarab à l'Est.

## **B. HISTORIQUE DE L'ASSAINISSEMENT DANS LA VILLE** **D'ESSAOUIRA**

### **1) GENERALITE SUR L'ASSAINISSEMENT LIQUIDE :**

#### **1.1) DEFINITION**

L'assainissement des agglomérations a pour objet d'assurer l'évacuation de l'ensemble des eaux pluviales et usées ainsi que leurs rejets dans les exutoires naturels sous des modes compatibles avec les exigences de la santé publique et de l'environnement.

Les eaux d'assainissement sont de trois types :

**Eaux de ruissellement** : elles comprennent les eaux de la pluie, les eaux de lavage et les eaux de drainage. La pollution des eaux de ruissellement est variable dans le temps, plus forte au début d'une précipitation qu'à la fin par suite de nettoyage des aires balayées par l'eau.

**Eaux usées, d'origine domestique** : ils comprennent les eaux ménagères (eaux de cuisine, de lessive, de toilette,...) et les eaux vannes (en provenance des WC, matières fécales et urines).

**Eaux industrielles** : Les eaux industrielles sont celles en provenance des diverses usines de fabrication ou de transformation

Ces eaux peuvent être séparées ou mélangées, ce qui fait apparaître la notion de l'effluent urbain constitué par des eaux usées d'origine domestiques, plus ou moins polluées par des eaux industrielles et plus au moins diluées par des eaux de ruissellement.

#### **1.2) TYPES DE SYSTEME D'ASSAINISSEMENT, LEURS AVANTAGE ET INCONVENIENTS**

Les systèmes d'assainissement les plus rencontrés sont :

- Le système séparatif
- Le système unitaire
- Le système pseudo-séparatif
- Le système individuel

### **a) Système séparatif :**

Le système séparatif se compose de deux réseaux : un réseau pour les eaux usées et un réseau pour les eaux pluviales.

La collecte séparative des eaux usées domestiques nécessite des ouvrages de section réduite en raison du volume limité des effluents en cause. C'est un système économique pour autant que 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 dans les caniveaux.

Le recours à un assainissement séparatif peut être avantageux, en particulier pour l'équipement de quartiers résidentiels réalisés progressivement, si le réseau unitaire existant à l'aval, est sur le point d'être saturé, ou se trouve saturé.

### **b) Système unitaire**

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.
- Lorsque la proportion de surfaces imperméables (toitures, chaussées, parking, cours) est très élevée et que leurs pentes sont faibles, ce qui impose des ouvrages d'évacuation importants, où il est possible, sans dépenses supplémentaires, d'ajouter les eaux résiduaires domestiques.

Il est reconnu que le système unitaire est intéressant par sa simplicité, puisqu'il suffit d'une canalisation unique dans chaque voie publique et d'un seul branchement pour chaque habitation.

### **c) Système pseudo-séparatif**

Les eaux météoriques 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 déversent dans le réseau d'assainissement à l'aide des mêmes branchements que ceux des eaux usées domestiques.

Ce système est intéressant lorsque les surfaces imperméabilisées collectives (voiries, parking, etc ...) représentent une superficie importante avec de fortes pentes.

Il constitue alors une alternative au réseau séparatif, en réduisant le nombre de branchements par habitation à un.

**d) Assainissement individuel**

L'assainissement individuel est le système utilisé dans les zones urbaines à faible densité dans lesquelles les eaux usées d'une habitation sont éliminées au niveau même de cette habitation ou à l'extérieur dans un terrain limitrophe.

| <i>Système d'assainissement</i> | <i>Avantages</i>   | <i>Inconvénients</i>   |
|---------------------------------|--|--|
| <b>Séparatif</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet d'évacuer rapidement les eaux</li> <li>- Assure à la STEP un fonctionnement régulier</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risques d'erreurs de branchement</li> <li>- Investissement important pour mise en place de 2 réseaux</li> </ul>   |
| <b>Unitaire</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Simple</li> <li>- Un seul réseau</li> <li>- Pas de risques d'erreur de branchement</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilution des eaux de la STEP en période pluvieuse (débit très variable)</li> <li>- Ouvrages importants</li> </ul> |
| <b>Pseudo-séparatif</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eaux usées et eaux de ruissellement des habitations combinées</li> <li>- Pas de risques d'erreurs de branchement</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Investissement important pour mise en place de 2 réseaux</li> </ul>   |
| <b>individuel</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité d'assainissement de zones de faible densité</li> <li>- Investissement réduit</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risques de pollution des eaux souterraines</li> </ul>   |

*Tableau II.3 : Avantages et inconvénients des systèmes d'assainissement*

Le tableau II.3 englobe les avantages et les inconvénients de chaque système d'assainissement décrit auparavant.

### 1.3) DESCRIPTION ET ROLE DE QUELQUE OUVRAGE DU RESEAU

- Déversoir d'orage :

C'est un ouvrage qui est composé principalement d'une chambre de partage dimensionnée hydrauliquement et muni de seuil déversant permettant d'intercepter les eaux usées diluées et de délester les eaux pluviales vers le milieu récepteur.

Il 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 de réduire les dimensions du réseau aval.

- Station de pompage :

C'est un environnement de pompage constitué des groupes de pompage, des dispositifs de refoulement et de commande permettant à la pompe de fonctionner dans des bonnes conditions afin de satisfaire les besoins de débit et de pression.

Son rôle est de transporter en mettant sous pression les effluents d'un point à un autre situé à une certaine distance ou une certaine dénivellation.

Les composantes principales d'une station de pompage sont les groupes de pompage et leur système d'alimentation, la salle de pompage, la salle de commande, les dispositifs d'installation de la pompe, les conduites de refoulement, les dispositifs d'accès pour l'entretien et la maintenance, de protection du périmètre de la station et le système de ventilation (avec filtre de désodorisation)

## 2) LA SITUATION DE L'ASSAINISSEMENT DURANT LA PERIODE DU PROTECTORAT :

Le premier collecteur des eaux usées au niveau de la Médina a été construit avec des pierres, il est mis en place avant les années soixante dix. Ceci explique l'absence des écoulements des eaux usées au niveau de la rue principale de la Médina comme le montre les photos suivantes (photo II.2) :

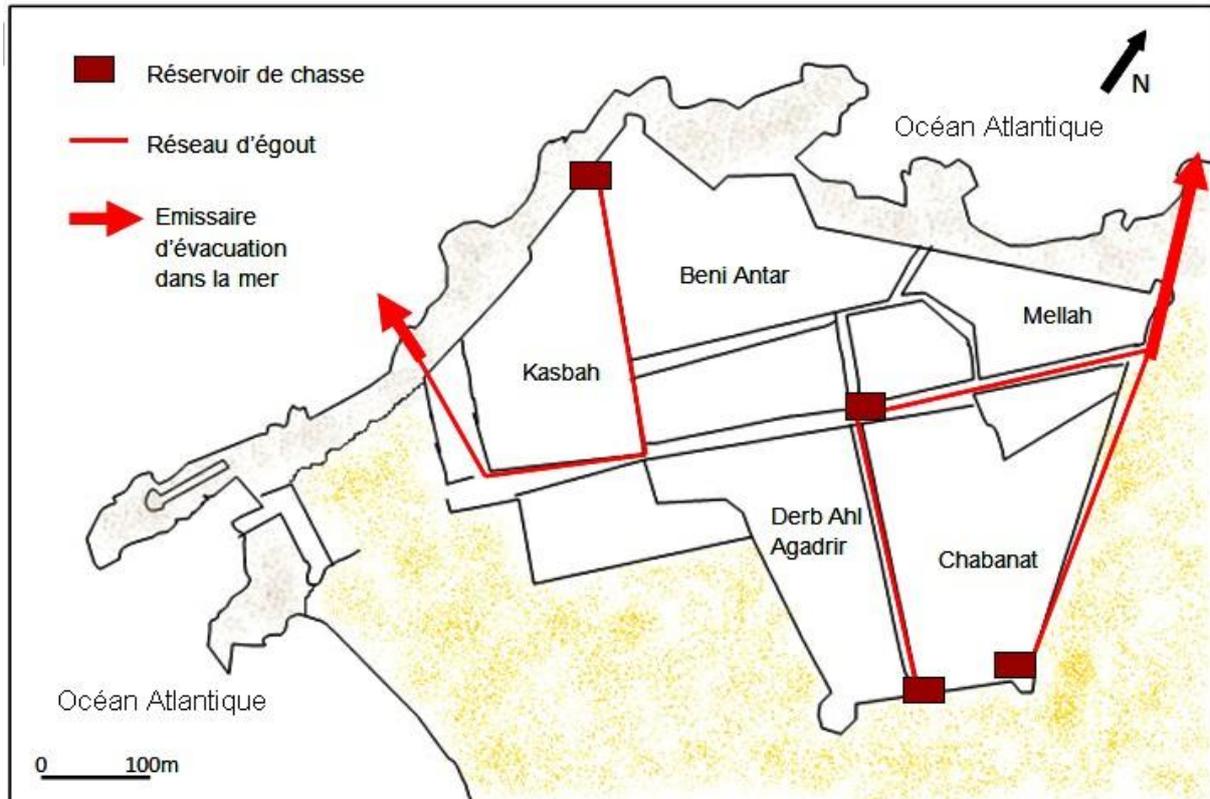


*Photo II.2 : Anciennes photos de la Médina d'Essaouira montrant l'absence des écoulements des eaux usées*

Depuis la période du Protectorat, le système unitaire avec un écoulement gravitaire a été appliqué au réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira avec une utilisation des réservoirs de chasse. Malgré les problèmes engendrés par ce type de réseau, on a quelques avantages qui concernent le curage des canalisations, lors des périodes pluviales, par le fort écoulement des eaux. Ce système permet aussi d'avoir une quantité des eaux usées de façon permanente à l'intérieur des canaux ce qui facilitera par la suite le transport des charges contenues dans les eaux d'égouts.

Ces réservoirs sont mis en place lorsqu'il n'est pas possible de procéder régulièrement au curage des canalisations par des matériels hydrauliques, il convient de disposer en tête du réseau des dispositifs de charge susceptibles de pallier la déficience d'autocurage dudit réseau. Il faut noter que l'action dynamique de ces systèmes ne s'exerce que sur de faibles distances. Les réservoirs de chasse se remplissent d'eau et leur fonctionnement se manifeste de les ouvrir afin de permettre à l'eau de s'écouler avec une

grande pression et ainsi transporter tous les matériaux solides existants au sein des canaux vers la mer moyennant de deux émissaires : émissaire au niveau de Bab Doukala et émissaire proche de la Kasbah (Jaouani, 2009). D'après ces données, on a pu réaliser la figure II.7 qui montre l'emplacement de chaque réservoir de chasse.



*Figure II.7 : Emplacement des réservoirs de chasse dans la Médina lors de la période du protectorat (D'après données de Jaouani (2009))*

L'utilisation de cette technique depuis la période ancienne confirme que les autorités avaient conscience de la problématique de l'assainissement au niveau de la ville d'Essaouira et essayent de trouver des solutions.

### **3) LA SITUATION DE L'ASSAINISSEMENT AU COURS DES ANNEES QUATRE-VINGTS DIX :**

Le réseau d'assainissement durant cette période, était de type mixte avec une grande partie en unitaire et le complément en pseudo séparatif, il était géré par la municipalité d'Essaouira, on note que la municipalité a été chargée du réseau d'assainissement depuis l'année 1950, à ce moment il y avait seulement le réseau de l'ancienne Médina. Sa longueur avoisine les 60 km, avec 20 km de conduite principales. (d'après l'ONEP , communication orale).

Les eaux collectées sont rejetées dans la mer, sans traitement, au Nord de l'ancienne Médina par 4 émissaires. Les deux principaux (E1 et E4) s'effectuent de part et d'autre des deux émissaires secondaire consacrés à la zone industrielle (E2 et E3) (Fig. II.8) (d'après l'ONEP, communication orale)

Trois stations de pompage (SP1, SP2 et SP3) sont en service pour permettre le relevage des eaux usées et leur bonne évacuation en raison de la faible topographie. Elles sont chacune équipées de 3 pompes de 20 l/s. (d'après l'ONEP, communication orale)

Concernant les eaux pluviales, elles sont évacuées par l'intermédiaire des émissaires principaux au Nord de la ville. Les seuls réseaux consacrés exclusivement aux eaux pluviales sont situés le long de la plage, où ils rejettent leurs effluents. (Fig. II.8) (D'après l'ONEP, communication orale)

Les eaux pluviales issues du bassin versant d'Essaouira sont en partie retenues dans des bassins de rétention naturels c'est-à-dire le système lagunaire. Certains connaissent des travaux de remblayage en vue de la construction de lotissement. (D'après l'ONEP, communication orale)

Depuis l'année 1998 aucun travail de réhabilitation majeure n'a été entrepris. Cette situation va changer avec la prise en charge de l'ONEP pour la gestion du domaine d'assainissement à Essaouira.

La figure II.8 qu'on a réalisé, montre les différentes unités du réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira au cours des années quatre vingt-dix.

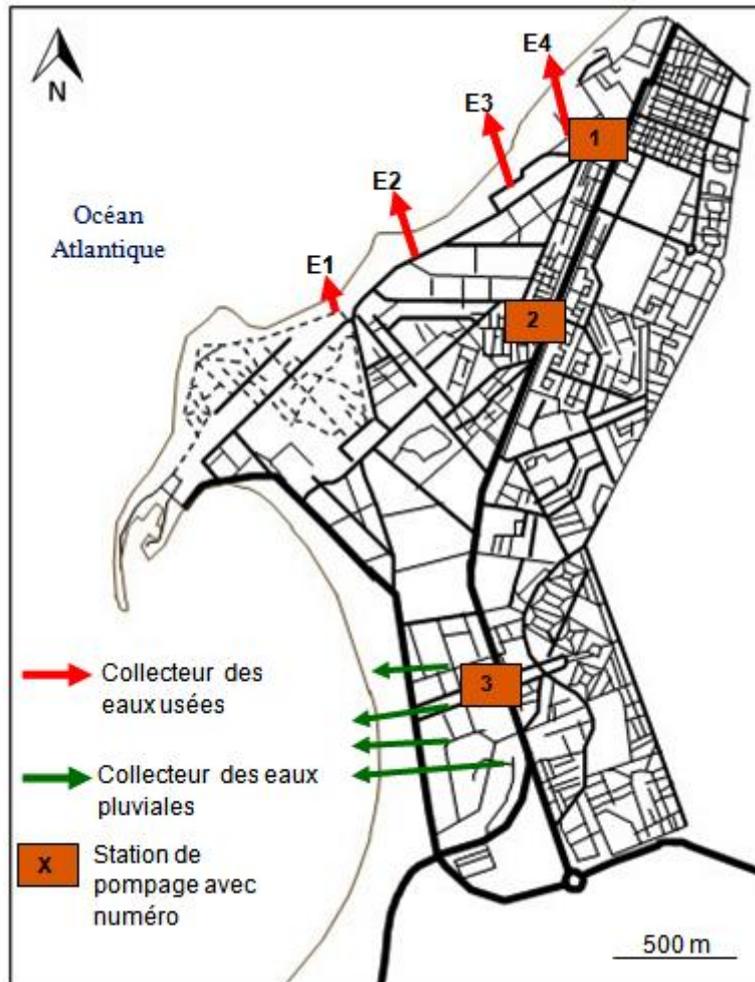


Figure II.8: Emplacement des émissaires d'évacuation des eaux usées et eaux pluviales pendant les années quatre-vingts (D'après l'ONEP, communication orale)

#### 4) PRISE EN CHARGE DE L'ONEP ET TRAVAUX REALISES :

Depuis sa prise en charge du réseau de distribution d'eau potable dans la ville d'Essaouira, l'ONEP a inscrit dans ses priorités sa contribution à la résolution des problèmes d'assainissement de cette ville. L'ONEP a ainsi engagé une étude du Schéma directeur d'assainissement liquide dans le cadre de la coopération Maroc-Belge. Celle-ci a démarré au début d'octobre 1997. Après Septembre 2000, l'ONEP étend officiellement ses missions à l'assainissement liquide dans les villes où les communes le lui demandent.

En 2005, il y avait une élaboration d'un programme national d'assainissement (PNA) par le Ministère de l'Intérieur et le Département de l'Environnement qui inclut le programme d'assainissement de l'ONEP, le PNA consiste en la réhabilitation et l'extension du réseau, le branchement et le renforcement du réseau pluvial et la réalisation des stations d'épuration

(traitement primaire, secondaire, voire tertiaire) pour équiper 330 villes et centres urbains avec un total de plus de 10 millions d'habitants.

Le PNA fixe les objectifs spécifiques pour l'horizon 2020 et 2030 suivants :

- Atteindre un niveau de raccordement global au réseau de 80 % à l'horizon 2020 et 90 % à l'horizon 2030 ;
- Rabattre la pollution domestique de 80 % en 2020 et 90 % en 2030 ;
- 100% des eaux usées collectées seront traitées et réutilisées/valorisées en 2030. Le PNA ouvre ainsi la voie à la mobilisation des eaux usées épurées comme source d'eau non conventionnelle à développer.

Le réseau d'assainissement à Essaouira souffre de multiples contraintes parmi lesquelles :

- Le manque de capacité du réseau
- Les inondations
- Les eaux usées rejetées en mer sans traitement avec un volume qui arrive à 2 millions m<sup>3</sup>/an.
- Retour de l'eau de mer en période de la marée haute.
- Etc.

Afin de remédier aux différentes contraintes, l'ONEP a adopté un ensemble de solution, au cours du PNA, qui consistent à :

- La séparation des eaux usées et eaux pluviales
- Renforcement de la capacité du réseau existant
- Réalisation de la station d'épuration
- Acheminement des eaux usées vers la station d'épuration et évacuation des eaux de pluies vers le littoral.

Le projet sera réalisé dans le cadre de la coopération Maroco-allemande, et le financement est assuré par une contribution tripartite dont les pourcentages de contribution sont: ONEP (par la banque allemande de développement KFW) avec 70% + Municipalité et Ministère de l'intérieur par 30%.

Le projet a été divisé en trois lots comme le montre le tableau II.4 :

| Numéro du lot | Désignation  |
|---------------|--|
| 1             | Réseau d'assainissement et conduite de refoulement |
| 2             | Stations de pompage                                |
| 3             | Station d'épuration des eaux usées                 |

*Tableau II.4: les différents lots du projet d'assainissement liquide réalisé par l'ONEP dans la ville d'Essaouira (2007)*

Cette liste montre les différents travaux réalisés par l'ONEP ; (d'après des données de l'ONEP et de Jaouani (2009))

- Nettoyage des regards dans les canalisations des eaux usées et des avaloirs des eaux pluviales
- Effectuation des opérations d'hydrocurage ; curage de 45 km de canaux par des entreprises spécialisées, et 46 km de canalisation par matériel spécialisé qui appartient à l'ONEP (camion-benne et hydro-cureuse).
- Réalisation de deux marchés avec deux microentreprises pour l'exploitation des stations de pompage existantes et du réseau
- Mise en place de dalots d'eaux pluviales sur 9 km, l'extension des canalisations des eaux usées sur 8,4 km et l'aménagement de quatre stations de relevage comprenant 12 pompes
- Adoption de 9 déversoirs d'orage.
- Création de deux micro-entreprises qui assurent la gestion des stations de pompages et le curage du réseau.
- Installation d'une station d'épuration de type lagunage avec quatre bassins et un émissaire de rejet en mer.
- Changement de la direction d'écoulement des eaux usées qui sont rejetés dans la mer vers la station d'épuration.
- Disponibilité des équipes qui assurent le pompage des eaux usées au niveau des points noirs de la ville et qui veillent sur la sécurité et la maintenance du réseau lors des jours pluvieux.

En ce qui concerne les coûts d'investissement du projet, le tableau suivant (Tab. II.5) résume le montant de chaque ouvrage réalisé :

| Ouvrages/travaux                                   | Montant en millions DH TTC |
|--|----------------------------|
| Réseau d'assainissement et conduite de refoulement | 58                         |
| Stations de pompages                               | 8                          |
| Station d'épuration (STEP)                         | 41                         |
| Matériel d'exploitation                            | 3                          |
| Assistance technique                               | 5                          |
| Total Général TTC                                  | 115                        |

*Tableau II.5 : Coûts des différents ouvrages ou travaux réalisés par l'ONEP (2007)*

L'importance du projet d'assainissement se manifeste par les grandes réformes réalisés ainsi que les importants investissements effectués, car le total des dépenses arrive à 115 millions DH, alors que durant la période comprise entre les années 1983 et 2007, le montant d'investissement, au niveau des projets d'assainissement, était de l'ordre d'environ 32 millions DH.(Jaouani , 2009)

Le projet de traitement et réutilisation des eaux usées à Essaouira est un projet structural qui se caractérise par sa grande importance et son intérêt en ce qui concerne la protection de l'environnement en particulier du milieu littoral. Mais malgré les grands travaux de réforme et de réhabilitation du réseau, on a divers problèmes qui persistent et qui rendent l'état du réseau dégradé et misérable.

## **5) ETAT ACTUEL DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT A ESSAOUIRA**

Dans les paragraphes suivants, on va décrire les différentes composantes du réseau d'assainissement à Essaouira qui sont présentées au niveau de la figure II.9 qu'on a réalisé. Les données sont issues auprès de l'ONEP.

### 5.1) CANALISATION DES EAUX PLUVIALES :

Avant la réalisation du projet d'assainissement par l'ONEP, la ville ne disposait pas d'un système d'évacuation des eaux pluviales à cause de la dominance du réseau unitaire. La présence des avaloirs (ouvertures dans les chaussées menues d'une grille et destinées à la collecte des de ruissellement), qui sont ouverts au niveau des axes routiers, places publiques et les maisons, constitue une structure fondamentale du réseau d'évacuation des eaux de pluies.

Les critères de choix des dalots, en ce qui concerne le diamètre et la longueur, diffèrent en fonction de la pente pour s'assurer de l'évacuation des eaux de pluies.

La séparation, entre les eaux pluviales, les eaux domestiques et les eaux industrielles, présente une grande problématique au niveau de la ville d'Essaouira, et les solutions sont difficiles à appliquer, en ajoutant que les eaux des toitures se mélangent avec celles qui sont domestiques, ce qui engendre une grande pression sur le fonctionnement des stations de pompage des eaux usées.

Pour l'évacuation des eaux pluviales, on a trois émissaires, situés dans la partie Nord de la ville comme le montre la figure II.9, qui déversent leurs contenus dans la mer. L'émissaire de Bab Doukala contient un déversoir d'orage automatique qui fonctionne par le contact avec les eaux de la marée, mais il est actuellement en panne.

### 5.2) CANALISATION DES EAUX USEES

Le réseau des eaux usées a connu un certain nombre de changements avec les dernières extensions de la ville, notamment l'installation de 9 déversoirs d'orages et le changement du sens d'écoulement des eaux usées. Le sens a été au début vers l'ouest pour évacuer l'eau dans la mer et il est devenu vers le Nord et plus précisément vers une station de pompage qui assure le refoulement des eaux vers la STEP.

La réalisation, de grandes reformes sur le réseau, a amélioré l'état de l'assainissement à Essaouira. Ces reformes ont concerné le réseau primaire et le réseau du lotissement 5 qui

ont connu des réparations structurales qui se manifestent dans la réhabilitation du réseau d'assainissement en 2009.

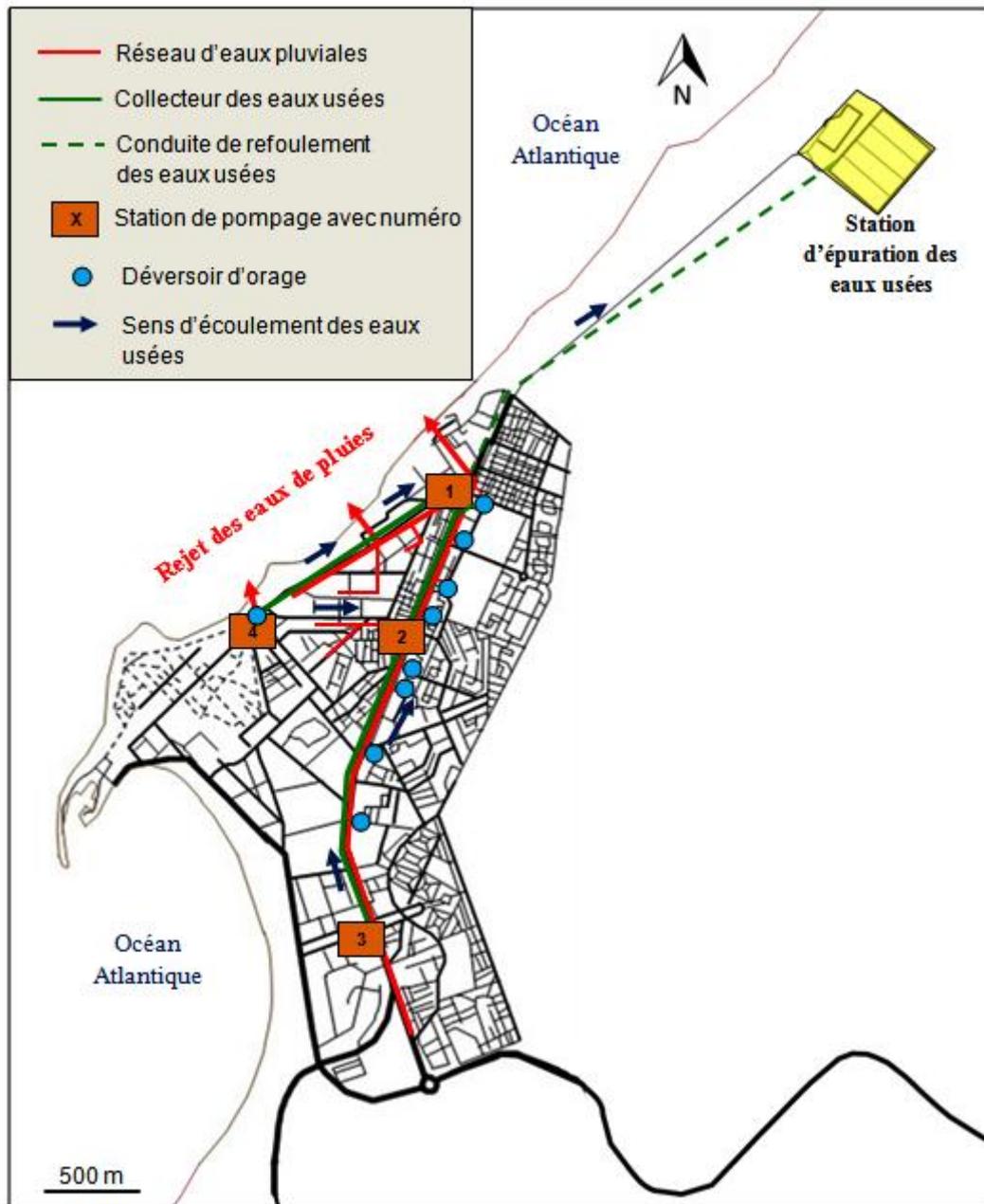


Figure II.9 : Schéma montrant les différents ouvrages du réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira (d'après des données de l'ONEP (année 2007))

### 5.3) LES STATIONS DE POMPAGES

La faible topographie, qui caractérise les reliefs naturels de la ville d'Essaouira, engendre des difficultés en ce qui concerne l'évacuation des eaux usées vers l'aval du réseau

d'assainissement. Cette situation implique la mise en place des stations de pompes qui vont faciliter l'écoulement des eaux usées.

On a quatre stations de pompes qui sont comme le montre la figure II.9. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant (Tab .II. 6)

| Numéro de la station | Nombre de pompes et débit          | Hauteur Manométrique Totale | Quartier                                       |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------|--|
| SP1                  | 3 pompes avec 200 l/s pour chacune | 23m                         | Nord du quartier industriel (zone de Lafrina)  |
| SP2                  | 3 pompes avec 50 l/s pour chacune  | 6m                          | A coté de la gare routière                     |
| SP3                  | 3 pompes avec 100 l/s pour chacune | 5m                          | Quartier Administratif à coté de la Préfecture |
| SP4                  | 3 pompes avec 25 l/s pour chacune  | 5m                          | Bab Doukala                                    |

*Tableau II.6 : Description des stations de pompes du réseau d'assainissement à Essaouira (d'après l'ONEP)*

#### 5.4) STATION D'EPURATION DES EAUX USEES :

Elle est parmi les grands projets réalisés dans le domaine d'assainissement à Essaouira. Elle est située au N-NE à 2 km de la ville (Ph.III.2) sur superficie de 25 hectares. Le débit moyen journalier de la STEP est 9250 m<sup>3</sup>/j.

Elle se base sur le lagunage naturel comme type de traitement. Cette station est constituée de 4 bassins anaérobiques (A1, A2, A3 et A4), 4 bassins facultatifs (F1, F2, F3 et F4), 3 bassins de maturation (M1, M2 et M3) et 2 lits de séchage de boues (L1-4 et L5-7).

La figure II.10 qu'on a réalisé d'après des données de l'ONEP, présente les différents bassins de la station d'épuration et ainsi leur fonctionnement.

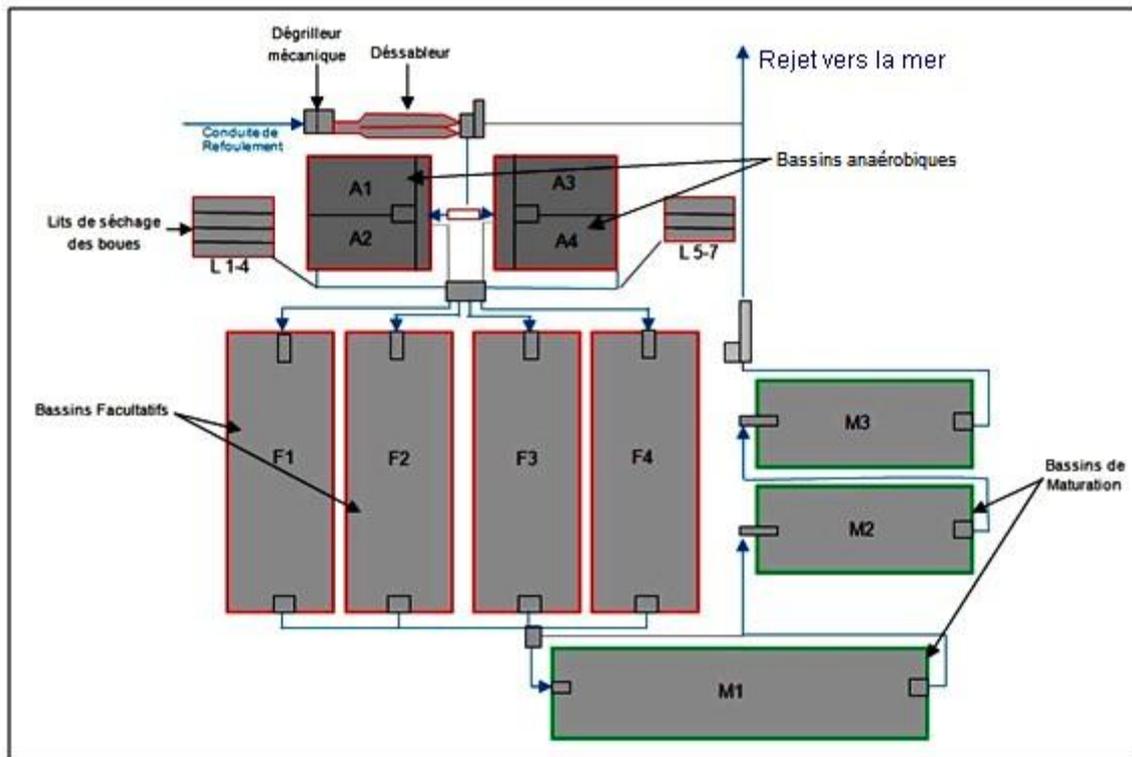


Figure II.10 : Schéma de la Station d'épuration des eaux usées de la ville d'Essaouira

- La méthodologie du fonctionnement de la Station d'épuration :

L'objectif du traitement des eaux usées dans la STEP c'est l'élimination des matières polluantes selon une série de traitement aérobie ou anaérobie ou les deux à la fois.

En ce qui concerne la méthode aérobie, la tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet la production, par les algues, de l'oxygène nécessaire au développement et au maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique.

Pour le traitement anaérobie, on a au niveau du fond des bassins, où la lumière ne pénètre pas, des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau.

L'épuration des eaux usées dans un système de lagunage résulte donc d'une combinaison complexe de processus physiques, chimiques et biologiques, qui sont influencés par les conditions météorologiques, le type et la configuration des bassins, et la conception du système.

- Les étapes du traitement des eaux au sein de la Station d'épuration sont résumées comme suit:

1) Avant l'entrée des eaux usées dans les premiers bassins, un prétraitement primaire est réalisé pour faciliter la suite des opérations. Le prétraitement consiste en une séparation mécanique simple de certains déchets, évitant ainsi un comblement accéléré des bassins.

On distingue deux procédés de prétraitement :

- ✓ Un dégrilleur, pour retenir les gros objets
  - ✓ Un dessableur, qui permet le dépôt des sables et graviers au fond d'une fosse ;
- 2) Les bassins anaérobiques qui se trouvent à l'entrée de la station, assurent la diminution des polluants organiques saturés en Carbone et les matières en suspension.
- 3) Les bassins facultatifs : ils sont les plus utilisés. Ils sont constitués de trois couches qui sont du bas en haut comme suit : couche anaérobie, couche facultative contenant des bactéries et une couche superficielle aérobie.
- 4) Les bassins de maturation : c'est l'étape finale du traitement qui vise la dégradation et la destruction des résidus polluants.

Jusqu'à l'instant, il n'y a pas de travaux de curage des bassins pour l'extraction des boues résultant vu que leur production n'est pas importante. On note que malgré toute cette procédure, on n'obtient pas un traitement total des eaux d'égouts.

Les eaux traitées sont évacuées vers la mer à l'aide d'un émissaire. Cet émissaire est construit au sein des dunes par fonçage des conduites sur une profondeur de 20 m avec la mise en place d'un système de regards, pour assurer la maintenance de l'émissaire, comme le montre le schéma de la figure II.11 suivante :

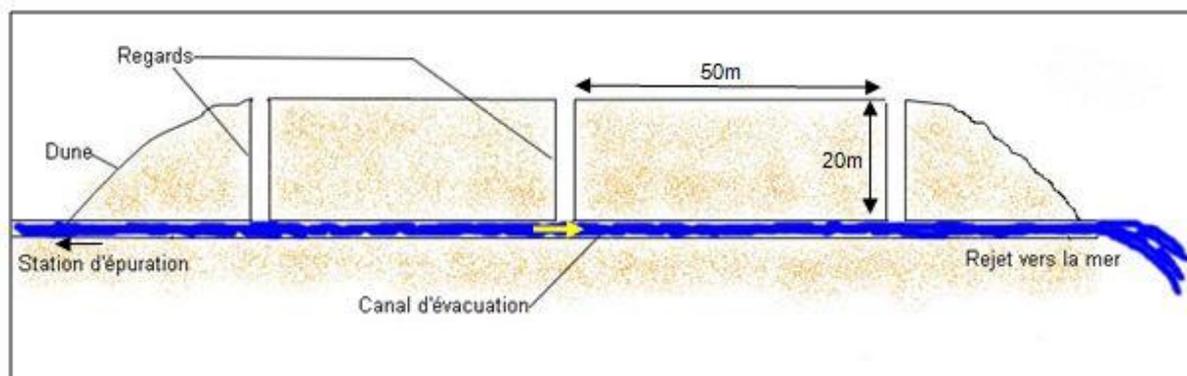


Figure II.11 : Schéma du canal d'évacuation des eaux traitées dans la mer

## 6) PROJET FUTURE

Dans un futur proche, un grand projet va se mettre en place ; il vise la réutilisation des eaux traitées, au sein de la station d'épuration, au niveau de la station balnéaire « Mogador » qui fait partie du plan « Azur ». La station balnéaire « Mogador » est située au Sud à 3km du centre ville d'Essaouira, dans un cadre naturel. Elle est implantée sur un domaine forestier, et elle est bordée par une dune naturelle spectaculaire et 4 km de plage vierge et sauvage.. Essaouira-Mogador, un immense projet (580 hectares et une capacité de 10 000 lits), réalisé par la Société d'Aménagement d'Essaouira-Mogador (la SAEMOG), correspond à une vision du tourisme d'un genre nouveau.

- Projet de réutilisation des eaux usées traitées :

Le projet structurant a été conçu pour répondre à la problématique de l'eau dans cette province qui souffre d'un stress hydrique important.

Les eaux usées traitées seront acheminées de la station d'épuration située au Nord de la ville, jusqu'aux jardins filtrants situés à l'entrée de la station de Mogador, à travers une canalisation déjà installée de plusieurs kilomètres. Puis, elles seront filtrées dans de grands bassins aménagés sur 10 hectares de superficie (Photo. II.3). Au terme du processus de filtration, la teneur en sel est testée ; si les eaux épurées sont trop salées, le processus de traitement doit être refait jusqu'à atteindre le bon niveau de salinité, puis les eaux épurées seront acheminées vers les lacs de stockage de la station, avant d'être utilisées dans l'arrosage.

L'intérêt stratégique des jardins filtrants c'est qu'ils permettront d'arroser tous les espaces verts de la station Mogador et ses deux parcours golfiques, grâce aux eaux traitées, évitant ainsi d'utiliser de l'eau potable.



*Photo II.3: Station Mogador et jardins filtrant*

C'est la première fois que cette technique est utilisée au Maroc. Elle consiste à épurer les eaux via 250.000 plantes immergées dans les bassins. Il s'agit notamment de roseaux, joncs, iris... Ce projet revêt donc un grand intérêt écologique et pédagogique. Une biodiversité faunistique viendra fréquenter les jardins filtrants. De plus, ces jardins pourront être visités via un parcours pédagogique. Un musée de l'eau sera également mis en place et éventuellement un parc ornithologique.

### **CHAPITRE III : CONTRAINTES NATURELLES IMPOSEES AU RESEAU D'ASSAINISSEMENT A ESSAOUIRA**

Comme on a décrit dans le chapitre I, la région d'Essaouira, qui se caractérise par des facteurs naturels complexes (climat, topographie, géologie, hydrologie, ...), souffre de plusieurs problèmes au niveau du réseau d'assainissement comme on a décrit auparavant. Ces caractéristiques naturelles sont parmi les causes principales qui provoquent les problèmes d'assainissement, autrement dit, ces caractéristiques ont devenu des contraintes pour l'assainissement liquide de la ville.

Dans ce qui suit, on va s'intéresser à chaque type de contrainte naturelle, pour expliquer son influence sur les différentes parties du réseau d'assainissement.

#### **1) LA FAIBLE TOPOGRAPHIE :**

La plupart des villes côtières dans le monde sont caractérisée par une topographie plate et de faible altitude au-dessus du niveau de la mer et c'est le cas de notre ville « Essaouira ». Ce contexte expose la ville à de nombreux problèmes concernant l'assainissement liquide et notamment la difficulté d'évacuation et de drainage des eaux usées et des eaux pluviales. Ce qui exige l'utilisation des stations de pompage.

La topographie de la ville d'Essaouira est variable ; on trouve au niveau de la Médina, que les altitudes ne dépassent pas 7 à 9 m au dessus du niveau marin. Comme on a cité auparavant, la Médina a été construite sur des rochers, contrairement aux autres quartiers de la ville, qui sont bâtis sur un système dunaire ondulé et qui présentent des dépressions lagunaires ce qui exige de faire des remblayages et aplanissements des terrains avant de commencer la construction des bâtiments.

D'une façon générale, la topographie de la ville est représentée comme la montre la figure III.1 qu'on a réalisé à partir des données de la carte « Mogador » de 1/10000.

Remarque : il faut noter qu'au niveau de chaque zone présentée dans la figure III.1, l'analyse détaillée montre la présence de petites dépressions dont l'altitude ne dépasse pas 3 à 4 m.

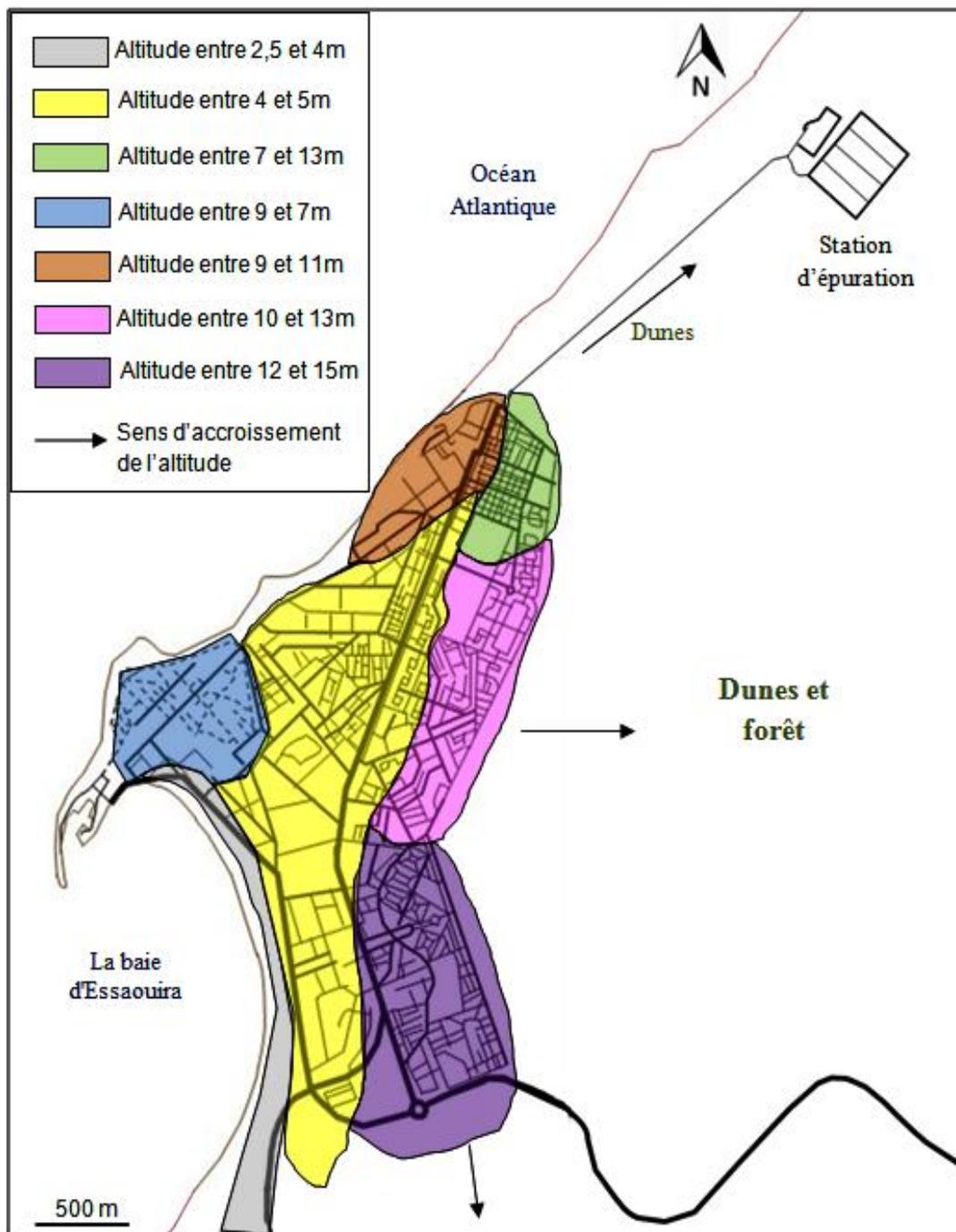


Figure III.1 : Topographie de la ville d'Essaouira, basée sur des données de la carte de « Mogador » 1/10000

La difficulté d'évacuation des eaux d'assainissement réside dans la pente de l'écoulement des eaux. Dans des conditions optimales, elle devrait être égale à 4 pour 1000, c'est-à-dire 4m de dénivelée pour une longueur de 1000 m, alors qu'elle est plus faible dans la ville d'Essaouira.

Les vitesses d'écoulement trop lentes ne permettent pas l'autocurage du réseau, de ce fait la plus grande partie des matières en suspension présentes dans les effluents décantent dans les collecteurs et par la suite on a un engorgement des canaux.

Avant la construction de la STEP, les émissaires d'évacuation des eaux usées sont situés dans la face Nord-Ouest de la ville (chapitre II, Fig. II.8). Concernant les émissaires E4 et E3, ils sont placés dans une zone plus haute que ses entourages. On peut déduire alors que ces derniers vont avoir des difficultés concernant l'écoulement des eaux usées d'où la nécessité d'avoir une station de pompage (SP1).

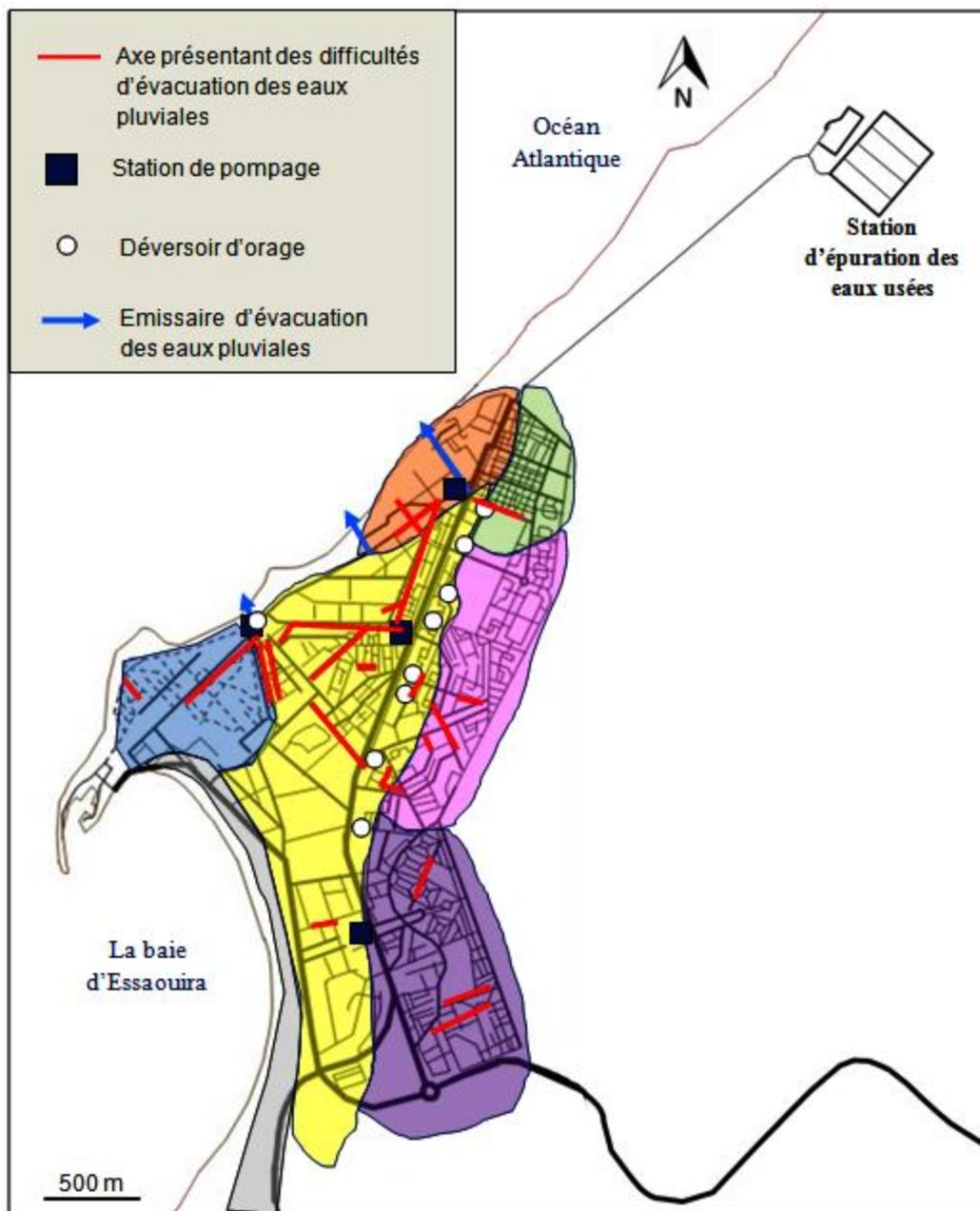
On note que le changement de sens d'écoulement des eaux usées vers la STEP et des eaux pluviales vers le Nord-Ouest de la ville d'Essaouira a contribué à son tour à la création des difficultés concernant le drainage et l'évacuation de ces eaux.

- **les problèmes d'évacuation des eaux pluviales :**

En allant du Sud vers le Nord de la ville, on ne trouve aucun émissaire d'évacuation d'eau de pluies sauf dans la façade maritime Nord-Ouest. Cette situation va absolument entrainer des difficultés d'évacuation de ces eaux. Malgré la mise en place des stations de pompage qui assure le bon fonctionnement des dalots pluvieux, la ville souffre encore d'engorgement.

Les zones, où l'écoulement connaît des problèmes, se situent au niveau des quartiers suivants : la médina, Bab Doukala, Quartier Industriel, Lotissement 5, les lagunes 2 et 3, Skala, Frina, quartier Lala Amina, quartier Municipal, Lotissement Araouaq, lotissement Al Amal et lotissement Al Aman. On a un bouchage de façon fréquente au niveau de la Médina, lotissement 5, Azlef, quartier administratif, lagune 2 et Bab Doukala.

La figure III.2 , qu'on a effectué, présente les axes connaissant des difficultés en ce qui concerne l'évacuation des eaux pluviales.



*Figure III.2 : schéma montrant les différents axes souffrant de problème de l'évacuation des eaux pluviales*

D'après figure III.2 , on peut dire que la difficulté d'évacuation des eaux pluviales au niveau des axes situés dans les quartiers Industriel , lala amina , Municipal et quartier administratif et lotissement V, est due à la faible topographie suite à leur situation dans la zone la plus plate de la ville d'Essaouira.

Concernant le reste des axes, la difficulté de l'évacuation des eaux pluviales est n'est pas liée à la topographie puisque ils sont situés dans des zones présentant des altitudes plus importantes.

- **les problèmes d'évacuation des eaux usées :**

D'une façon générale, on peut dire que le réseau des eaux usées se trouve dans un état nettement meilleur que celui du réseau des eaux pluviales, parce que selon une enquête publique réalisée (Jaouani, 2009), 67% des interviewers ont confirmé que leurs habitations ne souffrent pas de problèmes en ce qui concerne l'évacuation des eaux d'égout. Ceci confirme les efforts déployés par l'ONEP notamment les travaux de curage et la mise en place des canalisations et s'assurer de la bonne gestion des stations de pompage.

On note qu'après la mise en place de la station d'épuration, qui est située à environ 2km de la ville, et qui se trouve dans une zone dont l'altitude est supérieure que celles de la ville, les autorités ont installé une nouvelle station de pompage (SP4). Cette dernière va assurer une meilleure évacuation des eaux d'égout, de la zone où elle est installée, vers la Station de pompage numéro 1 (SP1), à qui on a introduit un système de refoulement vers la STEP.

## **2) PROXIMITE DE LA MER ET EFFET DE LA MAREE :**

Le réseau d'assainissement souffre essentiellement de difficultés d'évacuation des eaux pluviales suite à la faible topographie. Ce problème est couplé à un phénomène caractéristique des villes côtières qui est l'effet des marées.

La marée à Essaouira est semi-diurne, c'est le type de marée prépondérant sur les côtes Atlantiques. L'amplitude de la marée varie selon les périodes. Lors d'une vive eau moyenne l'amplitude est de l'ordre de 2,70 m, et concernant la période de morte eau, l'amplitude de la marée est environ 1,20 m. le niveau moyen des marées à Essaouira est 2,19 m. (<http://www.mtpnet.gov.ma/Vpm/Maroc%20Maritime/ports/PortsAtlantiques/Essaouira/Conditions%20Nautiques.htm>)

On note qu'en général les plus faibles marées s'enregistrent aux solstices d'Eté (Juin) et d'Hiver (Décembre), alors que les fortes marées s'enregistrent aux équinoxes de printemps (Mars) et d'automne (Septembre). (Elmimouni , 2009)

Lors d'une période de tempêtes, le niveau de la mer peut atteindre plus de 4 m ou même la dépasser. Cette surélévation se produit par une conjonction entre une forte tempête, une marée ordinaire de vives eaux (marnage voisin de 3 m) et de basses pressions atmosphériques qui peuvent relever le niveau de la mer jusqu'à 0,50 m. (<http://www.unesco.org/most/csipask.htm> ). (Photo. III.1)

Le phénomène du réchauffement climatique peut accentuer les tempêtes dans la mesure où il contribue d'une part à la montée du niveau des mers et d'autre part il peut provoquer l'augmentation de la densité des précipitations. L'accentuation des tempêtes est reflétée par l'augmentation de leur fréquence et aussi de leur puissance.



*Photo III.1 : tempêtes dans la ville d'Essaouira*

La ville d'Essaouira souffre du problème de la remontée de l'eau de mer à l'intérieur des canaux des eaux pluviales lors des périodes d'une forte marée haute et par la suite ces vont bloquer l'évacuation des pluviales lors des intempéries. Ce blocage de l'écoulement des eaux pluviales génère des débordements de ces dernières dans la surface, provoquant ainsi des inondations dans des différentes zones au niveau de la ville d'Essaouira. La municipalité a confirmé ce problème qui menace la ville surtout après la défaillance du système du blocage

automatique (déversoir d'orage) qui empêche l'entrée des courants marins à l'intérieur de l'émissaire situé à Bab Doukala. Ce système permet, comme on a expliqué précédemment, de stopper les eaux marines de remonter à l'intérieur du réseau lors des périodes de haute marée en se fermant, et il s'ouvre lors de recul des courants marins permettant ainsi l'évacuation des eaux de pluies dans la mer.

En fait, le niveau des plus hautes mers se trouve au dessus de bon nombre de radiers de collecteurs, ce qui se manifeste par un retour d'eau de mer pendant la durée de la marée haute, en provoquant un quasi-blocage de l'écoulement des eaux usées par temps sec, et la mise en charge du collecteur entraînant des inondations en temps de pluie.



*Photo III.2: Emissaire d'évacuation des eaux pluviales*

L'action des hautes mers présente ainsi une contre charge de l'écoulement gravitaire, et la capacité du réseau qui souffre déjà de pentes faibles, se trouve ainsi considérablement diminuée.

Comme on a décrit dans le chapitre précédent, la ville d'Essaouira dispose de trois émissaires réservés à l'évacuation des eaux de pluies ; un au niveau de Bab Doukala qui est équipé par un déversoir d'orage qui malheureusement ne fonctionne plus et deux au niveau du quartier industriel qui sont construits sans aucun système de blocage des eaux marines.

Les points de contact entre les réseaux des eaux usées et celles des eaux pluviales sont représentés par les déversoirs d'orage et situés tout au long de l'Avenue Alaquaba. Ils constituent un grand danger vu qu'ils permettent le déversement des eaux pluviales au sein des réseaux destinés aux eaux usées. Cette quantité d'eau qui s'ajoute va augmenter le volume

des eaux au niveau des canaux et engendrer une grande pression et par la suite ces eaux mélangées (eaux d'égout et eau de mer) vont déborder à la surface par le biais des avaloirs et des regards. Ceci explique la fréquence des inondations que connaît la ville lors de chaque intempérie (Photo III.3).



*Photo III.3 : Inondations à Essaouira dues à la remontée de l'eau marine dans les canaux des eaux pluviales*

Les quartiers les plus affectés par ce problème sont le quartier industriel, le lotissement 5, la lagune 2 et 3, la Médina et Elborj. La figure III.3 , qu'on a réalisé, montre l'emplacement de ces points noirs sensibles aux inondations dues à l'intrusion marine.

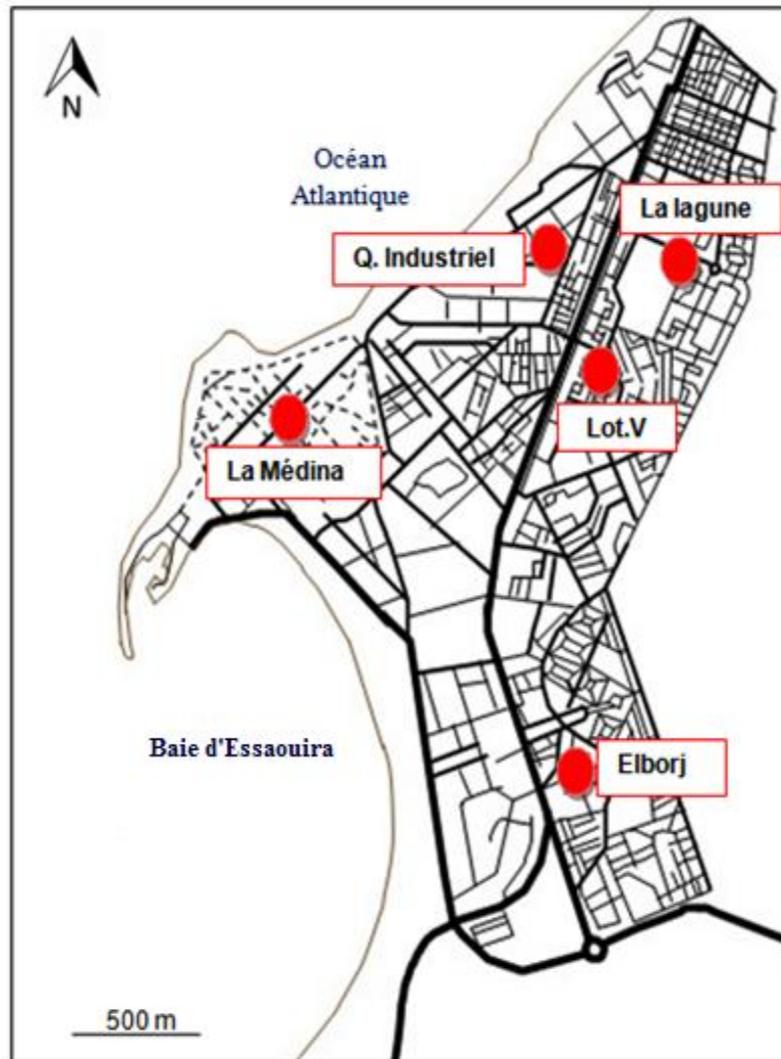


Figure III.3 : les points noirs sensibles aux inondations, suite aux remontées marines

### 3) IRREGULARITE DES PRECIPITATIONS ET CRUES DE L'OUED KSOB

Au Maroc, le Haut Atlas Occidental est l'une des régions les plus touchées par les inondations et les pulsations hydrologiques. Ces phénomènes ont pris l'ampleur durant ces dernières décennies probablement en relation avec le changement climatique que connaît toute la planète.

Dans la région d'Essaouira, le bassin versant du Ksob (extrémité occidentale du Haut Atlas) est l'une des régions les plus menacées par ce risque naturel en raison de son climat semi-aride de son relief montagneux et maritime et de ses enjeux touristiques urbanistiques et économiques.

Les risques d'inondation suite aux précipitations sont d'autant plus importants que la ville d'Essaouira présente une topographie plate proche du niveau de la mer (5 m d'altitude en moyenne).

La région est caractérisée par une variabilité spatio-temporelle des précipitations qui sont marquées par des irrégularités inter-annuelles et intra-annuelles importantes et une irrégularité relative des écoulements superficiels. La pluviométrie annuelle est en moyenne de l'ordre de 266 mm par an, avec un coefficient de variation de 34 %. La variabilité mensuelle et saisonnière est encore plus marquée, avec des coefficients de variation respectifs de 50 et 55 %.

La moyenne des précipitations mensuelles est de l'ordre de 55 mm pour les mois les plus humides (Novembre, Décembre et Janvier). La période sèche peut durer 7 mois (d'Avril à Septembre) avec un minimum de précipitations établi aux mois de juillet et août qui peuvent connaître une sécheresse totale.

Les débits moyens annuels enregistrés durant les trois dernières décennies à la station Adamna varient entre 0.11 m<sup>3</sup>/s (1992-93) et 6,77 m<sup>3</sup>/s (1995–96). (Elmimouni et al., 2010). La répartition des débits mensuels suit bien les variations de la pluie, ainsi les débits les plus forts sont observés pendant la saison humide de l'année. (Oussouss et Essalhi, 2005)

Cependant, le trait marqué des écoulements de l'oued Ksob correspond à ses débits de crues très élevés occasionnels qui peuvent atteindre plusieurs centaines de mètre cubes par seconde. La région a connu durant le siècle dernier plusieurs crues importantes durant les années 1927, 1961, 1965, 1985 et 1996. Toutefois, la plus remarquable de ces crues est celle qui a eu lieu en Novembre 2005 avec un débit de pointe de 2550 m<sup>3</sup>/s. Les crues de l'oued Ksob, comme celles des autres oueds du Haut Atlas, sont généralement violentes et de courte durée (Elmimouni et al., 2010).

Les crues d'oued Ksob sont brèves et importantes et affectent le littoral d'Essaouira et ses installations touristiques. De même, l'érosion est intense et les apports sont importants en phase de crue (Photo III. 4) d'où la nécessité de l'installation d'ouvrages de protection.



*Photo.III.4 : débris végétaux accumulés sur la plage d'Essaouira le lendemain de la crue de novembre 2005*

La partie extrême Sud de la ville est plus menacée par les dégâts des crues d'oued Ksob, l'oued se dévie son cours peut arriver jusqu'au Sud de l'Avenue Mohamed V près de la sculpture « Barakat mohamed ». Les appartements du rez-de-chaussée de cette zone sont inondés (Photo III.5).



*Photo III.5 : les dégâts des crues d'Oued Ksob*

Avoir des crues de telle intensité, menace les infrastructures de l'assainissement liquide, notamment le réseau des eaux pluviales, qui va subir une grande pression et par la suite il sera incapable d'assurer son rôle concernant la collecte et l'évacuation de ces grands volumes d'eau. La figure III.4, qu'on a effectué, montre les zones affectées par les crues d'oued Ksob.

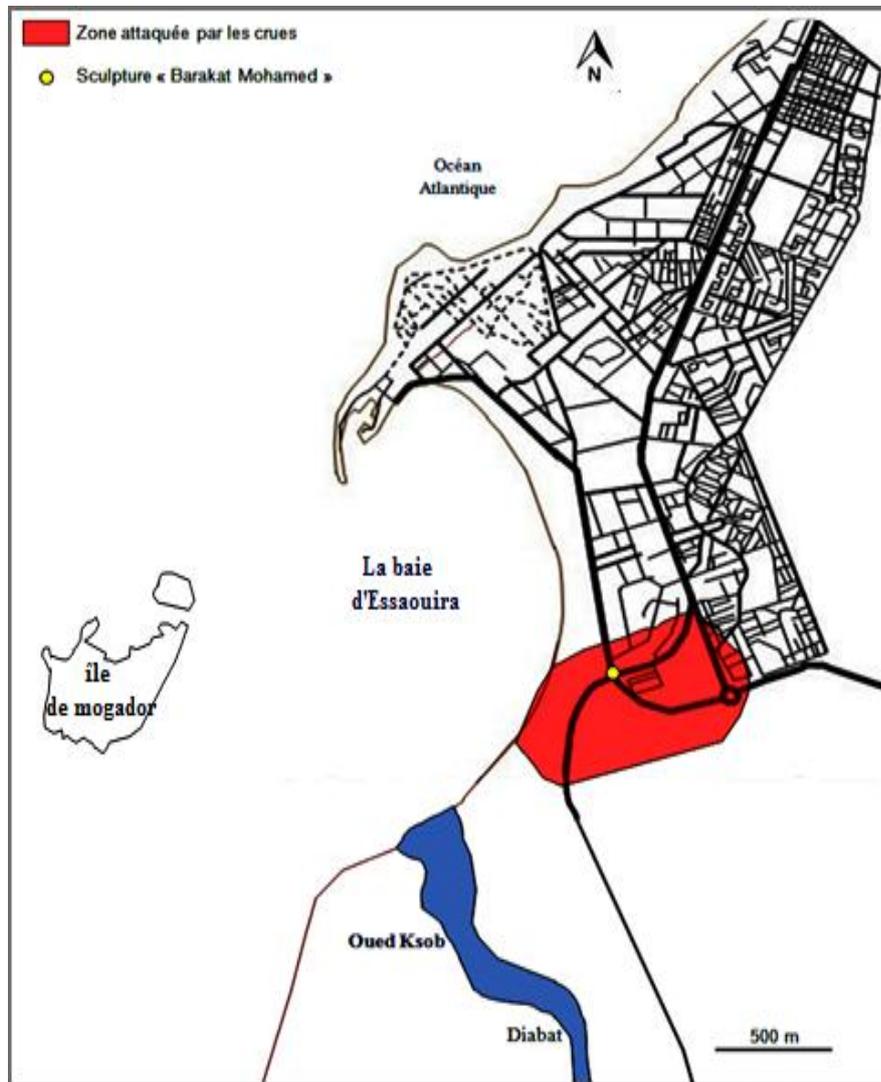


Figure III.4 : Zone affectée par les crues d'Oued Ksob

#### 4) L'ENSABLEMENT :

Comme on a vu dans le chapitre II concernant la partie relative à l'extension de la ville, le phénomène d'ensablement est une vraie menace pour la ville d'Essauira et par la suite pour son réseau d'assainissement. La ville d'Essauira est située dans un domaine dunaire qui n'est pas entièrement fixé d'où l'importance que revêt le transport du sable mobile par l'action éolienne.

Le sable dans la région d'Essauira est fin . Le transport des sables est soumis à la vitesse critique du vent. Cette vitesse est atteinte lorsque les grains de surface, à l'origine immobiles, commencent à bouger sous la pression du flux éolien (Bagnold, 1941, in Gentile, 1997). Bagnold a démontré que cette vitesse est environ 4,1 m/s pour la plupart des sables

désertiques. Un flux éolien de vitesse supérieure à 3 m/s est qualifié comme « vent actif » (Khatteli et Belhaj, 1994, in Gentile, 1997).

Comme on verra dans le paragraphe suivant, l'intensité du vent à Essaouira est souvent supérieure à la vitesse critique, ce qui engendre un mouvement permanent des sables dans les artères de la ville. Ces sables s'infiltrent au niveau des canaux d'assainissement liquide, surtout ceux destinés au drainage des eaux de pluies par le biais des avaloirs.

- **Problème d'ensablement au niveau du réseau des eaux pluviales :**

D'après (Jaouani , 2009), l'état de la canalisation des eaux de pluies est dégradé vu qu'on trouve que 29,76% des avaloirs sont bouchés et 64,71% sont dans un état très avancé de colmatage.

En ce qui concerne les régions d'ensablement, elles se situent en général dans la partie Est du Boulevard Alaquaba, et plus précisément on les trouve au niveau de deux avaloirs (un au Nord et l'autre au Sud du boulevard), le quartier Skala, la Lagune 2 et 3, Azlef et Elborj .

D'après ces informations, on a réalisé la figure III.5 qui montre l'emplacement des zones ensablées au niveau des dalots des eaux pluviales.

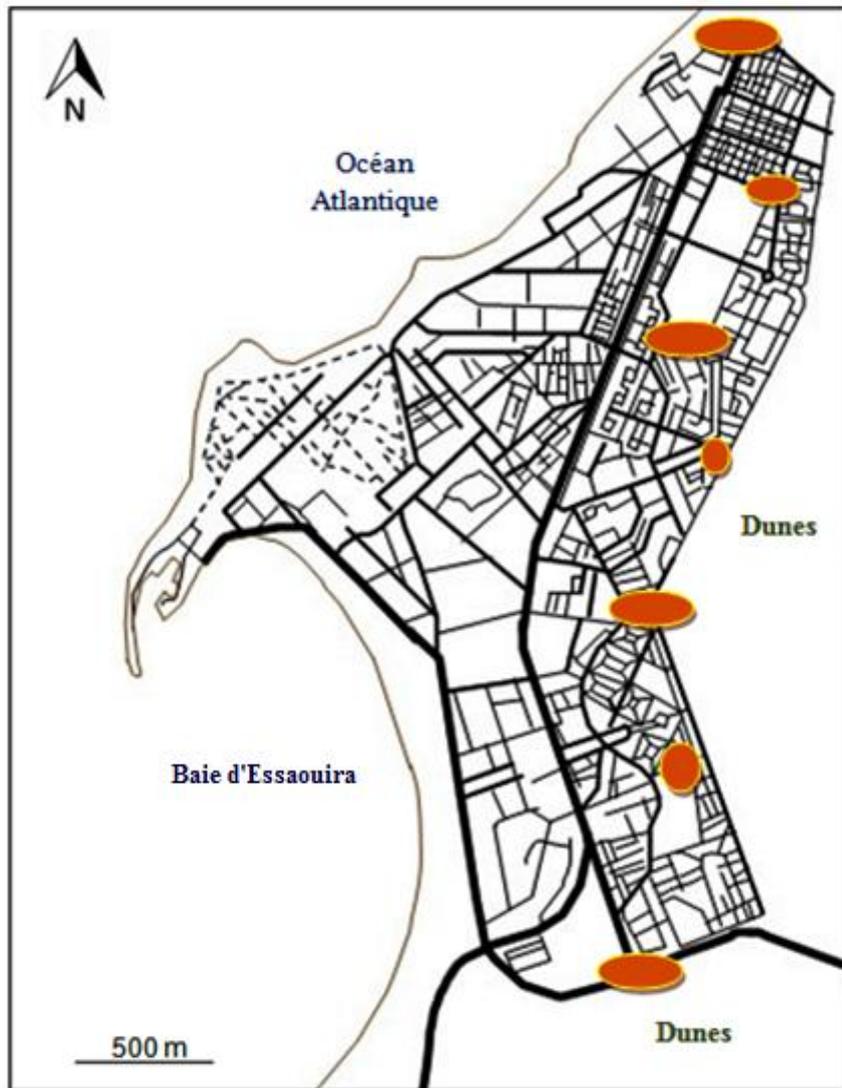


Figure III.5 : zones d'ensablement du réseau des eaux pluviales

Le problème d'ensablement des dalots est dû à l'infiltration des sables au niveau des avaloirs qui sont ouverts, ce qui engendre un grand danger surtout dans les zones qui sont exposées directement aux sables transportés par le vent notamment dans la partie Sud où on a une extension de la ville au dépend du système dunaire. Ce phénomène s'accroît au niveau du Boulevard Alaquaba, Skala, Elborj, Lotissement 4 et le Sud de la ville

Les colmatages peuvent être provoqués aussi par l'introduction des déchets solides de toutes sortes à l'intérieur des réseaux. On y trouve des matériaux de construction, des ordures ménagères, des branches et racines d'arbres, de gros débris de béton ou pierres, etc. L'introduction de débris et de terres à l'intérieur des réseaux est plus accentuée dans les zones où l'état de la voirie est dégradé.

L'absence d'un système de blocage ou une grille qui empêche, l'infiltration des sables au niveau des bouches et des avaloirs du réseau, contribue à l'accentuation du problème décrit en haut.

- **Problème d'ensablement et d'engorgement des du réseau des eaux usées**

Parmi les problèmes rencontrés, au niveau du réseau des eaux d'égout, on trouve parfois des dépôts très importants (certains collecteurs sont colmatés à 80% (Photo III.6). Ces dépôts sont en général sableux, excepté au niveau de la zone industrielle où ils sont beaucoup plus compacts (présence de résidus d'huilerie, farine de poisson, ...).



*Photo III.6 : Canal colmaté avec des dépôts noircis par la présence de la matière organique*

L'ONEP a assuré qu'il y a une amélioration radicale de l'état de l'assainissement dans la ville au niveau de plusieurs quartiers comme quartier Almassira, Quartier Industriel, Quartier Moulay Driss et devant la Municipalité. Cependant, malgré ces réformes, l'engorgement du réseau reste un problème qui se produit d'une manière fréquente. On a une multitude de points noirs d'assainissement au niveau de la ville et le plus important se situe au niveau du lotissement 5 d'après les habitants de la ville (Fig.III.6)

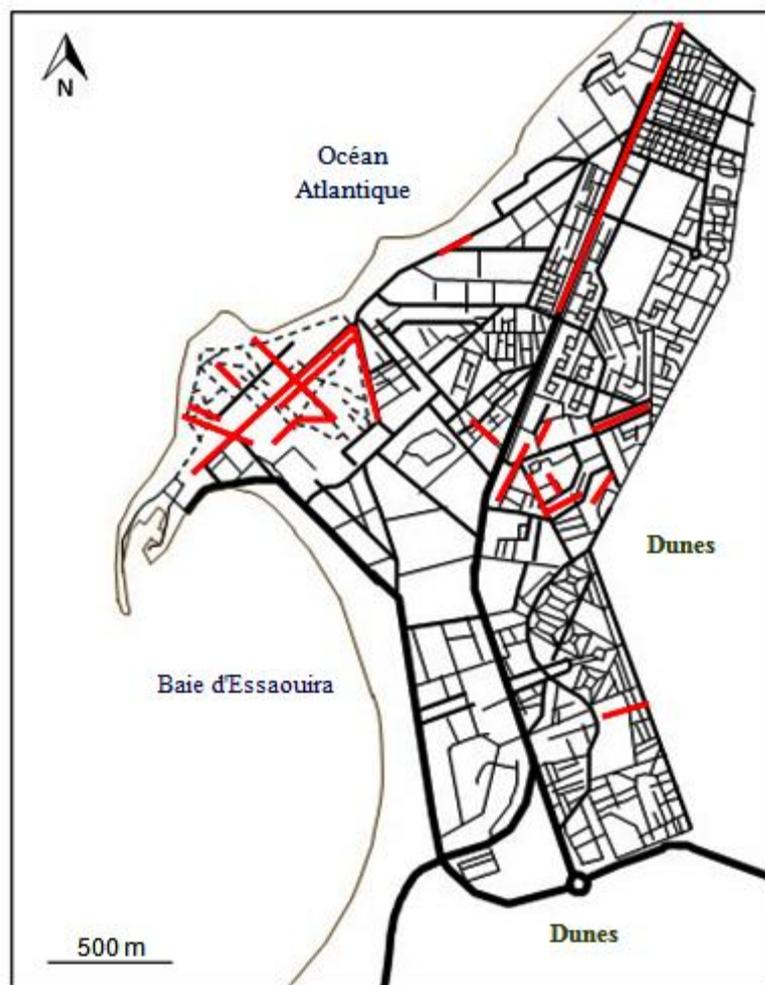


Figure III.6 : Axes du réseau fréquemment engorgés suite à l'ensablement



Photo III.7 : débordement des eaux usées suite à l'ensablement et colmatage des canaux

✓ *Remarque* : les colmatages des collecteurs des eaux usées ne sont pas dus seulement à l'ensablement, l'introduction des déchets solides, des matériaux de construction, des branches ... tous ces matériaux contribuent au bouchage des collecteurs

La séparation entre réseau des eaux usées et celles des eaux pluviales a contribué à la diminution du taux d'ensablement au niveau des canalisations des eaux d'égout et de leur engorgement.

### 5) L'ACTION EOLIENNE :

La ville d'Essaouira, est également appelée « Ville des alizés », suite à l'action éolienne presque permanente. Les vents à Essaouira soufflent avec une intensité remarquable pendant 280 jours par an (Gentile, 1997). Concernant les vitesses moyennes saisonnières, elles sont présentées par le tableau III.1 :

|                | Hiver | Printemps | Eté | Automne |
|----------------|-------|-----------|-----|---------|
| Vitesse en m/s | 4,3   | 5,5       | 5,6 | 3,8     |

*Tableau III.1 : Vitesse moyenne des vents en m/s (D'après des données de Weisrock, 1980 in Simone, 2000)*

L'intensité du vent, à Essaouira, varie d'une façon saisonnière. On peut distinguer entre une saison calme et une saison forte. La saison calme comprend les mois de Décembre, Janvier, Février ; les vitesses les plus faibles de l'année sont enregistrées durant cette phase et en ce qui concerne la fréquence et l'intensité du vent, elles sont remarquablement faibles.

Au contraire la saison des vents se produit durant l'été ce qui explique la progression de la fréquence et de l'intensité durant cette période de l'année. Les vitesses enregistrées durant cette saison sont toujours supérieures à 4 m/s et peuvent parfois dépasser les 12 m/s. (Elmimouni, 2009)

Comme on a décrit auparavant, un flux éolien de vitesse supérieure à 4 m/s est qualifié comme un vent actif. On pourrait donc affirmer que Essaouira jouit en permanence de vents efficaces, mais que c'est surtout en été qu'ils prennent toute leur dimension, et que leurs effets sont les plus visibles.

Nous avons montré que la direction du vent dominant est presque stable ; elle est NNE parfois NE. Ce vent monodirectionnel menace les bâtiments de la ville et aussi son réseau d'assainissement. Il contribue à l'apparition de plusieurs problèmes notamment le transport du sable depuis les dunes et la plage du Nord vers les quartiers de la ville. Il représente

également un facteur de transport des odeurs nuisibles depuis la Station d'épuration et les stations de pompage.

Dans ce qui suit, on va essayer de décrire les différents problèmes dus à l'action éolienne dans la ville d'Essaouira :

#### 5.1) ENSABLEMENT DE LA STATION D'EPURATION DES EAUX USEES :

La station d'épuration se localise à 2 km au N-NE de la ville. D'après le schéma directeur d'aménagement urbain, le choix de la situation de la STEP a été basé sur les critères suivants :

- Le choix du site Sud va emmener au déversement des eaux traitée dans une zone qui va être proche soit de la baie de la ville qui présente un intérêt touristique , soit proche d'oued Ksob qui constitue un environnement très sensible.
- L'emplacement de la STEP dans la partie Sud de la ville, va nécessiter la conversion de la totalité du réseau d'assainissement existant, ceci est possible techniquement mais les coûts seront très élevés.

Le schéma directeur de l'assainissement de la ville ajoute d'autres critères du choix, notamment :

- La prise en considération de l'emplacement du réseau d'assainissement actuel afin de minimiser les coûts de relevage des eaux usées.
- Le site doit disposer d'un ensemble de caractéristiques (la nature du sol, altitude par rapport à la nappe, importance de la pente, ...)
- Choix d'un site proche du milieu récepteur des eaux traitées.
- Eloignement par rapport aux zones habitées.
- Disponibilité d'une grande superficie pour la construction de la station
- Disponibilité des conditions qui vont aider pour la réutilisation des eaux traitées



*Photo III.8: Emplacement initial de la Station d'épuration entre les dunes*

*Photo III.9 : Site de la Station d'épuration après le début de travaux*



Les photos III.8 et III.9 présentent, le site initial de la station d'épuration et comment il est devenu après le début des travaux, respectivement.

La station d'épuration souffre du problème d'ensablement de ces bassins, vu qu'elle est construite au milieu d'un système de dunes qui sont plus au moins fixes et ainsi on aura des sables mobiles vu qu'on a une forte action éolienne qui peut facilement transporter le sable. Cette situation menace évidemment le bon fonctionnement de la STEP.

## 5.2) L'ENSABLEMENT DES AXES ROUTIERS ET LES RUELLES :

L'état des axes routiers et les chaussées dans la ville d'Essaouira reflètent clairement l'action des vents qui se manifeste par le problème d'ensablement.



*Ph.III.10 : Quartier menacé par l'ensablement*

Les axes routiers sont liés à un réseau de chaussées qui, malheureusement, influence négativement sur la gestion d'assainissement parce qu'il souffre du problème d'ensablement qui est dû :

- d'une part à la dynamique des dunes sableuses et le transport des sables par le vent. Ce sable s'infiltré au niveau des bouches d'égout et des avaloirs surtout par le lessivage effectué par les eaux lors des pluies,
- d'autre part à la nature sableuse du sol sur lequel ces trottoirs sont construits. Cette situation est aggravée à cause du mauvais entretien des routes (balayage insuffisant) et aussi à cause de l'existence de nombreuses chaussées non revêtues.

Les trottoirs très dégradés, sont situés surtout au niveau du Quartier Industriel, Skala, Azlef, Elborj et Avenue Moulay Youssef. Mais les zones où on a un grand risque se localisent près du Boulevard Alaquaba en trois points : au Nord du Boulevard près de Skala, au milieu de Boulevard dans le côté opposé de lotissement la lagune et à l'entrée du lotissement V. La figure III.7 qu'on a réalisé montre les différents trottoirs dégradés.

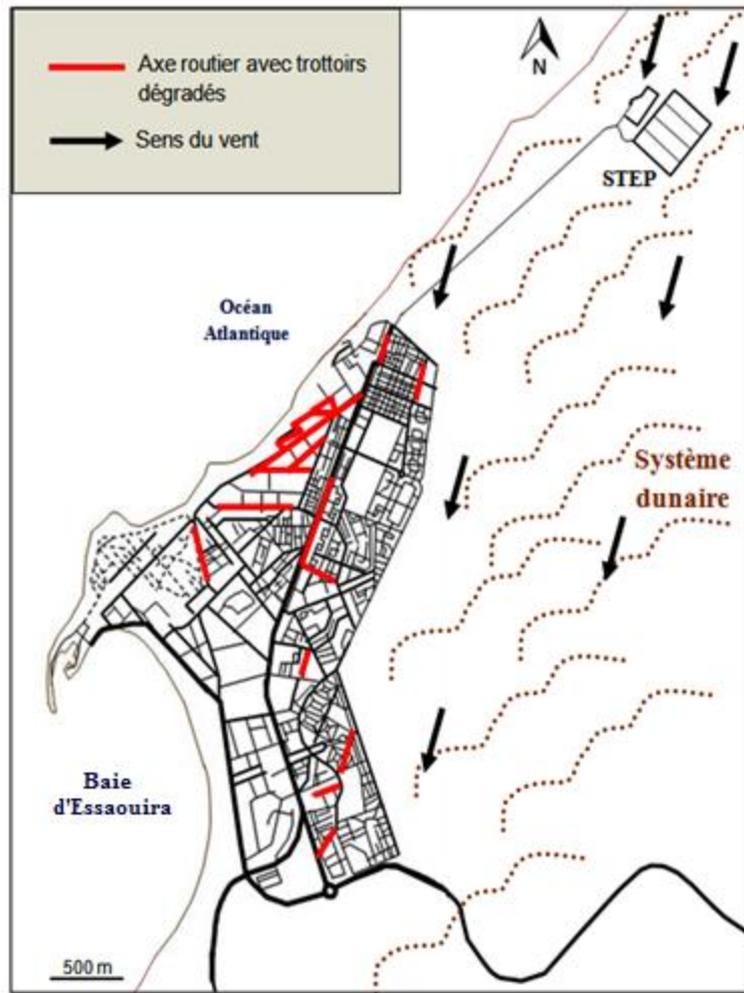


Figure III.7 : Axes routiers avec des trottoirs dégradés

On a fait une superposition entre les figures III.5, III.6 et III.7 pour obtenir la figure III.8. La lecture de cette dernière figure nous permet de faire les remarques suivantes :

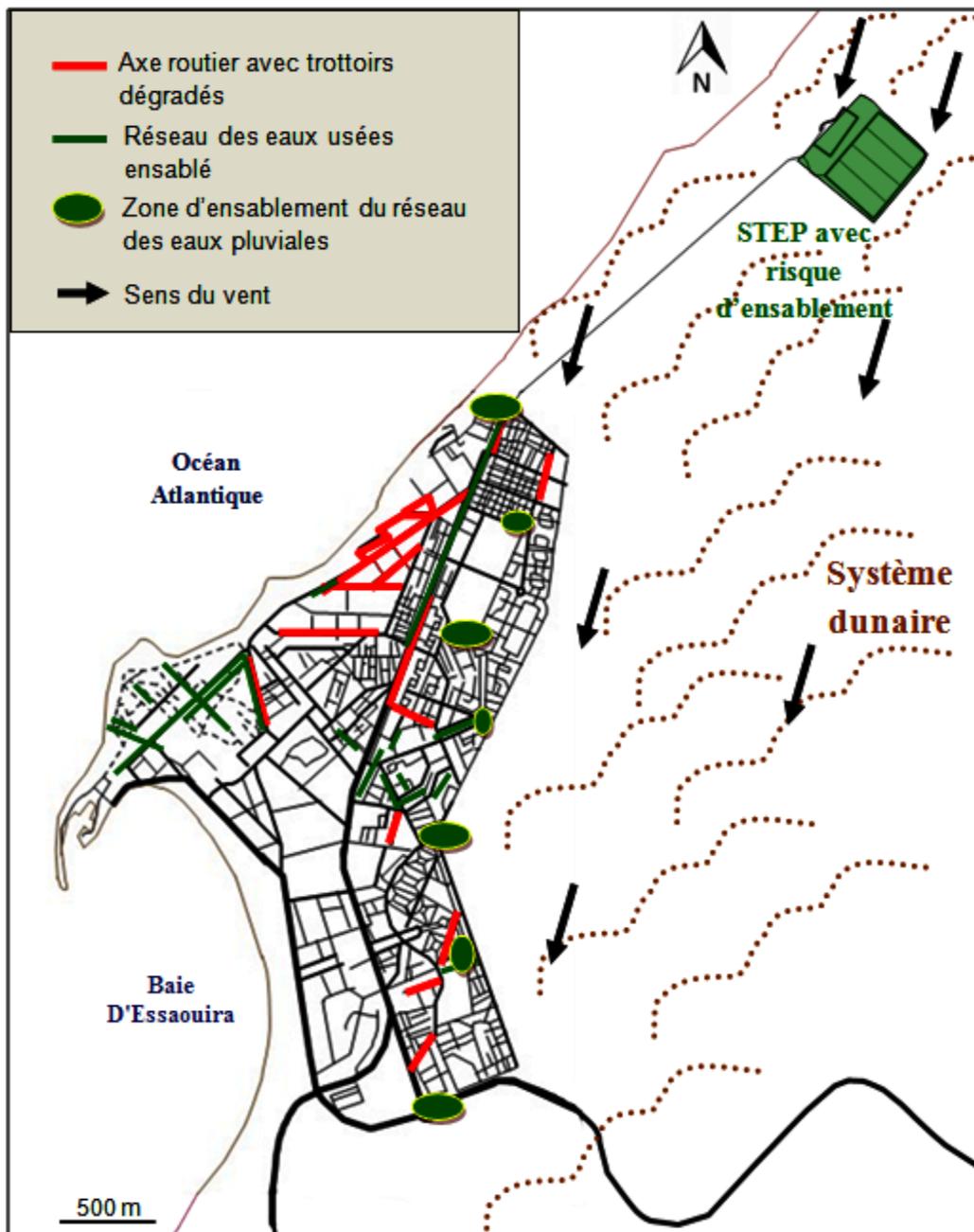


Figure III.8: Problèmes du réseau d'assainissement causés par l'effet de l'ensablement et de l'action éolienne.

- 1- La majorité des canaux, du réseau destiné à l'évacuation des eaux usées, ont la même direction que celle du vent.
- 2- Les zones d'ensablement des dalots pluviaux sont situés dans un axe dont la direction est NE , c'est-à-dire la direction du vent.

- 3- Les trottoirs dégradés au niveau de l'Avenue Alaquaba, la partie Ouest de la Médina et au niveau du Quartier Industriel sont superposés aux axes du réseau des eaux usées engorgés.

D'après ces remarques, on peut déduire que la direction et le sens du vent peuvent contribuer à l'ensablement des parties du réseau d'assainissement qui sont en face à la direction du vent qui transporte le sable meuble des dunes qui sont plus au moins fixes.

La partie Nord de la ville qui souffre plus des problèmes d'ensablement, suite à l'action directe des vents. L'intensité de cette action diminue en allant vers le Sud grâce à la présence des obstacles (bâtiments, constructions).

### 5.3) PROBLEMES DES ODEURS DE LA STEP :

En plus du problème d'assainissement posé par l'emplacement de la STEP, la totalité des habitants du Quartier Industriel confirment qu'il y a une émission des odeurs nuisibles depuis la station d'épuration, en raison de sa proximité par rapport à cette dernière. Alors que 47% des habitants du quartier Elborj et 67% des habitants du quartier Azlef disent qu'il n'y a aucune odeur nuisible, ces deux quartiers sont en effet les plus loin de la station d'épuration.

En général 66% des habitants d'Essaouira confirment que la station d'épuration est à l'origine d'émission des odeurs désagréables (Jaouani, 2009).

D'après une étude qui s'intéresse à l'impact de l'assainissement sur la ville d'Essaouira, l'emplacement de la STEP peut provoquer des influences négatives sur la qualité de l'air. En effet, l'air à Essaouira se caractérise par la présence des odeurs nuisibles qui proviennent de la STEP et des stations de pompes.

Les facteurs qui sont à l'origine de ces odeurs nauséabondes au niveau de la STEP sont multiples ; parmi ces facteurs, on cite :

- La cessation de la procédure de la dégradation biologique à cause de la présence des matériaux toxiques dont l'origine est les eaux industrielles.
- La charge qui se caractérise par son irrégularité surtout en été, quand on a un grand flux touristique.
- L'arrêt du fonctionnement des bassins et surtout ceux qui sont anaérobiques à cause de la diminution de la température.

- Accumulation des boues

Malgré que la STEP soit construite dans une zone sableuse à 2 km de la ville et à l'intérieur d'une ceinture verte qui diminue l'action des mauvaises odeurs, le vent permanent caractérisant la ville d'Essaouira, emporte ces odeurs vers les quartiers. Vu que le traitement des eaux usées au niveau de la station n'est pas total, on aura alors encore des substances polluées qui vont être transportées par le vent vers la ville.

Le choix de l'emplacement de la station n'a pas pris en considération le sens du vent, et malgré les critères et les normes qui sont mises en place, les responsables ont négligé le critère le plus important qui est la pollution de l'air qui est accentuée par l'action éolienne ce qui va provoquer des influences négatives sur la santé de la population. D'où la nécessité d'appliquer des mesures d'atténuation qu'on va citer dans le chapitre suivant.

## **6) LA FRAGILITE DU SOL :**

La ville a connu une extension au dépend d'un système de lagons après leur remblayage. Au niveau de cette zone, le sol est vulnérable ; la ville est construite sur un sol de faible cohésion : autrement dit ce sont des sables meubles.

Cette situation présente un grand risque pour le réseau d'assainissement ; en effet, ce dernier souffre des cassures au niveau des canalisations d'une façon fréquente, suite aux affaissements. Ce problème peut s'amplifier si les tranchées ne sont pas conformes aux normes.

Chaque mise en place d'une conduite, nécessite une infrastructure initiale spéciale composée de lit de pose sur lequel on va déposer la conduite et des remblais avec lesquels on va la revêtir (Photo. III.11), comme le montre le schéma de la figure III.9 qu'on a réalisé.

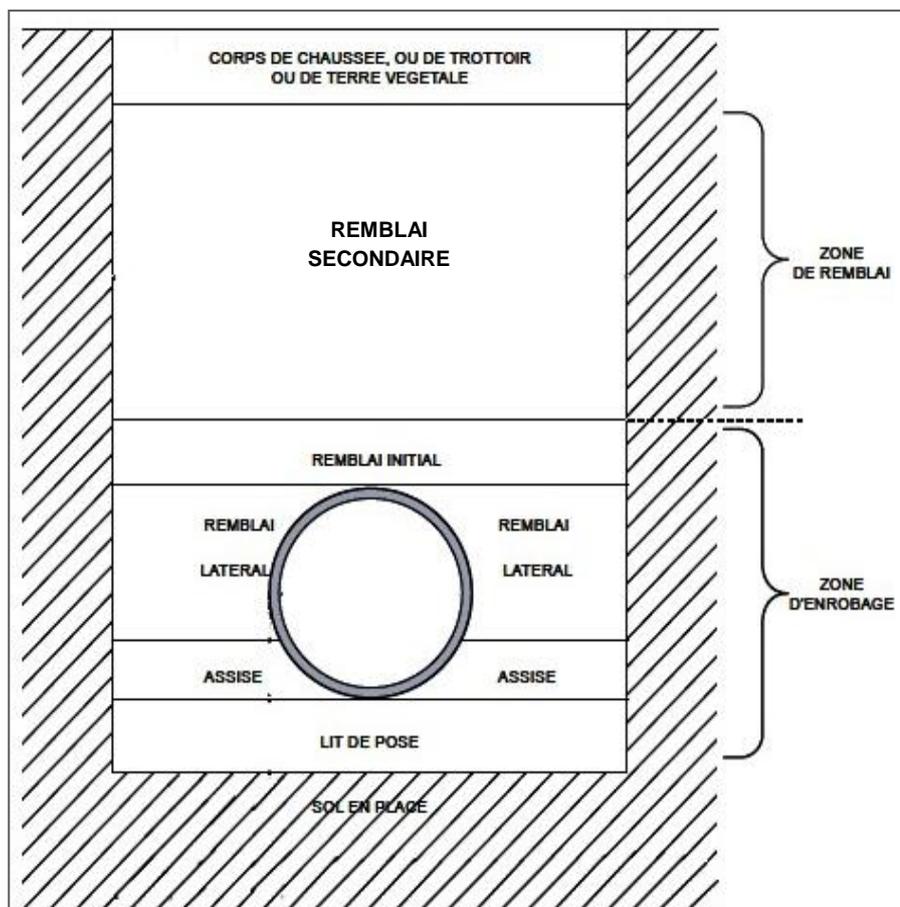


Figure III.9: Schéma type d'une tranchée

Le lit de pose peut être constitué soit par des sables si le sol en place est sous forme de rocher, soit par des graviers dans le cas où la nappe affleure. L'épaisseur du remblai initial (remblai primaire) est de l'ordre de 40 cm il est constitué par des graviers et vu que le sol est sableux à Essaouira, il faut bien le compacté en ajoutant de l'eau (Ph.III.11) (d'après un technicien de l'ONEP)

Si les tranchées ne sont pas bien compactées, on aura des risques de :

- affaissement de chaussée
- défaut de pente entraînant des points bas et des bouchages réguliers.
- ovalisation de la conduite pouvant entraîner des fissures, des défauts d'étanchéité et une altération rapide du réseau par lessivage et pénétration des racines
- instabilité de l'ouvrage conduisant à sa dégradation prématurée.



*a) mise en place du remblai latéral et primaire*



*b) mise en place du remblai secondaire*



*c) compactage de la partie superficielle du remblai à l'aide de l'eau*

*Photo III.11 : Les différentes étapes du remblayage d'une tranchée primaire*

La hauteur du remblai au dessus des conduites doit garantir la résistance du réseau aux pressions verticales dues aux charges d'exploitation routières, permanentes ou de chantier.

Aussi, il est fondamental de garder confiné les sols des fondations d'où l'exigence du blindage des fouilles jusqu'à leur pieds afin de minimiser les risques d'éboulement,

d'affaissement et de glissement du terrain pour assurer la sécurité des engins, des ouvriers mais également des habitants. (Photo III.12)



*Photo III.12 : Mise en place d'un système de blindage*

En général le réseau d'assainissement à Essaouira souffre de la vétusté de ses canaux qui se manifeste par de multitudes aspects notamment : les cassures, la difficulté de la gestion du réseau, et malgré les travaux de reformes et de redressement, il est obligatoire d'avoir des travaux de maintenance permanents vu qu'on a plusieurs problèmes qui sont liés à l'agressivité du milieu naturel.

## **7) LA FAIBLE PROFONDEUR DE LA NAPPE**

La nappe au niveau de la ville d'Essaouira est de faible profondeur, son niveau est le même que celui de la mer ou très légèrement supérieur. Le niveau du plan d'eau souterraine fluctue dans un intervalle de valeur allant de 2 à 5 m (Phénixa, 2011).

Cette faible profondeur atteste d'une grande vulnérabilité de ces eaux à la pollution. Cette vulnérabilité couplée à la profondeur des canalisations du système d'assainissement se situant entre 1 et 5m, voire entre 1 et 3m lorsque l'altitude est plus faible, augmente la sensibilité de cette nappe en cas de fuite accidentelle en phase de travaux et même en phase d'exploitation du réseau. Le contact des canalisations, avec les eaux salées, va influencer sur la durée de leur validité et leur résistance car elles sont menacées par la corrosion.

Les travaux d'entretien sont souvent difficiles à réaliser en raison de la faible profondeur de la nappe phréatique. Travailler dans un terrain mouillé rend la tâche difficile pour les ouvriers parfois il faut faire des pompages de l'eau afin de pouvoir continuer les travaux (Photo III.13).



*a ) nappe affleurante*



*b) nappe qui affleure lors de la réalisation d'une tranchée*



*c)Nappe qui affleure lors de la réalisation d'un dalot*

*Photo III.13 : Problème de la nappe qui affleure lors des travaux en chantier*

## **CHAPITRE IV: CONTRAINTES ANTHROPIQUES IMPOSEES AU RESEAU D'ASSAINISSEMENT D'ESSAOUIRA**

Les contraintes anthropiques se présentent sous différents aspects ; on peut citer les contraintes techniques, les contraintes liées à la voirie, aux coûts, à la maintenance, à la planification et au développement urbain et on a un autre type de contraintes qui influencent sur l'avancement des travaux qui concerne le réseau d'assainissement.

### **1) CONTRAINTES TECHNIQUES :**

Le taux de raccordement au réseau d'assainissement au niveau Essaouira qui est de l'ordre de 85% est très important car il dépasse le taux national qui ne dépasse pas 70% avec quelques différences d'une ville à une autre. Cette situation reflète les grands efforts déployés pour la gestion du réseau d'assainissement à Essaouira.

Le diamètre des canalisations et leur longueur constituent des éléments fondamentaux pour assurer le bon fonctionnement du réseau et offrir des conditions convenables pour l'écoulement et l'évacuation des eaux usées.

Le tableau IV.1 montre les différents types de canalisations utilisées dans le réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira :

| <b>Le diamètre des canaux (mm)</b> | <b>La longueur (m)</b> | <b>Pourcentage</b> |
|------------------------------------|------------------------|--------------------|
| <b>200</b>                         | 1336,05                | 17,67              |
| <b>250</b>                         | 10994,83               | 14,54              |
| <b>300</b>                         | 34577,73               | 45,73              |
| <b>400</b>                         | 16761                  | 22,16              |
| <b>500</b>                         | 2461,06                | 3,25               |
| <b>600</b>                         | 3928,63                | 5,19               |
| <b>800</b>                         | 701,86                 | 0,93               |
| <b>900</b>                         | 307,11                 | 0,41               |
| <b>1000</b>                        | 599,53                 | 0,79               |
| <b>1200</b>                        | 747,8                  | 0,99               |
| <b>1,5*1</b>                       | 2646,07                | 3,52               |
| <b>2,4*1</b>                       | 138,62                 | 0,18               |
| <b>0,8*1</b>                       | 215,27                 | 0,3                |
| <b>0,07*0,75</b>                   | 190,11                 | 0,25               |
| <b>total</b>                       | 75606 ,07              | 100                |

*Tableau IV.1 : Longueur des canalisations du réseau d'assainissement selon leur diamètre (source : données de l'ONEP)*

Malgré ce taux de raccordement important, la ville souffre d'une multitude de problèmes qui influencent sur la qualité de l'assainissement liquide.

Parmi les contraintes d'origine technique, on a le vieillissement du réseau. Le réseau d'assainissement de l'ancienne Médina existant souffre de nombreux problèmes liés à son âge et à la qualité du matériau utilisé, mais aussi à des défaillances techniques. En général, ce réseau hérité de la commune est défectueux et vétustes, en totalité non conformes au standard de l'ONEP. Le réseau d'assainissement a subi plusieurs dégradation à cause de la faible

maintenance, l'évolution démographique importante, l'érosion naturelle et aussi à cause de la vétusté des bâtiments et des matériaux.

Les bâtiments ont subi des modifications physiques et chimiques à cause des mouvements de la mer, l'érosion éolienne, infiltration des pluies et élévation des eaux marines. Une étude de l'état de l'environnement de la médina (Jaouani, 2009), a confirmé que le vieillissement du réseau et le mauvais fonctionnement provoquent des dégâts, soit au niveau des ruelles où les bâtiments.

Les autres problèmes d'ordre techniques qu'on rencontre sur le terrain sont : des détériorations structurelles, des collecteurs mal conçus, insuffisance de débitante hydraulique des collecteurs, mauvaise conception d'ouvrages particuliers (trop plein et/ou des déversoirs d'orage), effondrement et fissuration de collecteurs provoquant des infiltrations des eaux usées et manque d'ouvrages de protection contre le charriage des déchets solides et autres à l'intérieur des collecteurs.



*Photo IV.1 : regards ouvert fermé seulement par des branchages*

## **2) CONTRAINTES LIEES A L'ETAT DES VOIRIES :**

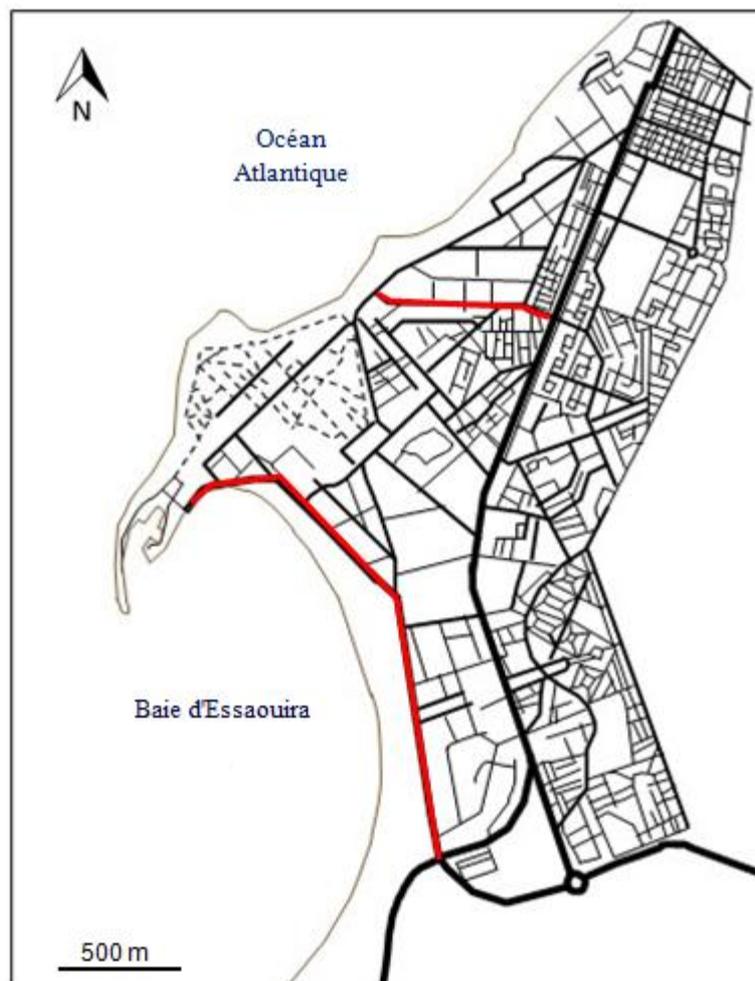
Le réseau routier constitue un élément structural et fonctionnel dans le domaine urbain. On note qu'il y a une forte liaison entre le réseau routier et le réseau d'assainissement vu que la planification de ce dernier est basée sur les tracés des routes.

A Essaouira, le réseau d'assainissement primaire est situé au niveau des principaux axes routiers, et c'est le cas pour le réseau d'assainissement secondaire qui se situe au niveau des routes secondaires de la ville.

Le déplacement sur les voiries peut avoir des influences sur le réseau d'assainissement surtout quand on a des canaux qui sont déposés sur une faible profondeur.

La ville d'Essaouira ne dispose pas de normes spécifiques concernant la charge des véhicules, malgré que le réseau d'assainissement, liés aux voiries, souffre de plusieurs problèmes notamment les cassures et surtout au niveau des axes suivants : Avenue Mohamed V et Avenue 2 Mars qui connaissent un déplacement de véhicules d'une façon très fréquente vu l'importance de ces axes. Ces axes sont présentés sur la figure IV.1 qu'on a réalisé.

On a un autre problème qui se manifeste par le débordement des eaux usées dans certains axes routiers ce qui provoque un danger pour la population et ainsi influence son déplacement. Ce problème est fréquemment représenté au niveau des axes à l'intérieur de la Médina ce qui menace les activités artisanales qui anime le tourisme au niveau de la ville d'Essaouira.



*Figure IV.1 : réseau d'assainissement souffrant de cassure suite aux charges des véhicules*

### **3) CONTRAINTES LIEES A LA PLANIFICATION URBAINE :**

La planification urbaine à Essaouira n'a pas pris en considération les qualifications et les contraintes qui caractérisent la ville et cela se manifeste par la vulnérabilité des infrastructures au niveau de la ville. L'influence de cette planification sur le domaine d'assainissement, se manifeste par les aspects suivant :

- L'extension de la ville a été au dépend des systèmes dunaires et lagunaires, cela implique la construction et l'installation des infrastructures notamment le réseau d'assainissement dans un sol vulnérable. cette situation a engendré plusieurs problèmes au niveau des canaux du réseau qui ont subit plusieurs dégradations comme on a décrie au niveau de la partie précédente.
- La plupart des quartiers et les axes routiers de villes sont ouverts en face à la direction des vents permanents et puissants presque durant toute l'année, ce qui a contribué à leur ensablement et par la suite on aura des bouchages et des engorgements des canalisations du réseau d'assainissement.

### **4) CONTRAINTES LIEES AU DEVELOPPEMENT DEMOGRAPHIQUE ET TOURISME :**

#### **4.1) LES CONSEQUENCES DE L'EVOLUTION DEMOGRAPHIQUES SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT :**

La croissance démographique est parmi les facteurs cruciaux qui interviennent dans la gestion du domaine d'assainissement dans la ville d'Essaouira. Les autorités se basent sur les statistiques démographiques lors de la planification du réseau d'assainissement.

Comme on a cité dans le chapitre II , la ville d'Essaouira a connu une augmentation de la population durant les dernières décennies . Cette évolution démographique sera accompagnée évidemment par une augmentation de la consommation en eau (Tableau IV.2).

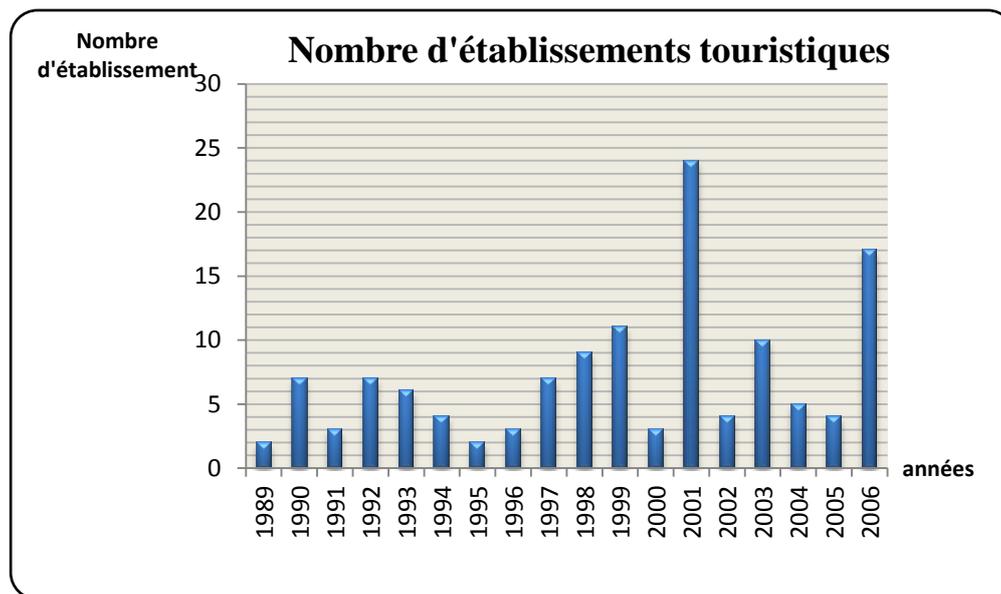
| <b>Années</b>          | <b>2002</b> | <b>2003</b> | <b>2005</b> | <b>2007</b> |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Particuliers</b>    | 1 615 226   | 1 683 580   | 1 891 439   | 1 968 263   |
| <b>Industrie</b>       | 220 064     | 293 947     | 308 094     | 555 027     |
| <b>Administrations</b> | 180 557     | 188 628     | 216 901     | 216 274     |
| <b>Tourisme</b>        | 33 468      | 33 600      | 30 823      | 24 229      |
| <b>Total</b>           | 2 049 315   | 2 199 755   | 2 447 257   | 2 763 793   |

*Tableau.IV.2 : La consommation de l'eau (en m<sup>3</sup>) selon les secteurs au niveau de la ville d'Essaouira (source : ONEP, communication orale)*

Comme la consommation en eau augmente, les volumes des eaux usées vont s'accroître. Le volume journalier des eaux usées dépasse 5000 m<sup>3</sup>; il peut atteindre, en tenant compte du volume des eaux pluviales, 10000 m<sup>3</sup>/jour durant la période pluviale. Cette quantité des eaux usées importante a exigé des autorités de faire une séparation entre les eaux usées et les eaux pluviales, par la création de deux réseaux séparés, afin de ne pas dépasser la capacité de la station d'épuration (9250 m<sup>3</sup>/jr).

#### 4.2) LE SECTEUR DU TOURISME ET SON INFLUENCE SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT :

Essaouira est une destination touristique de renommée internationale. Elle se distingue par sa vocation culturelle, patrimoniale et balnéaire. L'activité touristique est considérée comme une véritable locomotive du développement local et cela se manifeste par l'évolution du nombre des hôtels et des maisons d'hôtes dans la ville d'Essaouira (Fig.IV.2)



*Figure IV.2: Etablissements touristiques réalisés durant la période 1989-2006 (source : données de la Municipalité d'Essaouira)*

L'évolution des projets touristiques dans la ville d'Essaouira ne suit pas un rythme stable durant les années. En général le nombre des établissements créés lors de cette période est de 128 établissements.

La période Estivale enregistre le plus grand nombre des touristes qui arrivent à la ville d'Essaouira, et surtout durant la période du Festival « Gnaoua » durant lequel le nombre de visiteurs de la ville peut atteindre 500000 visiteurs. (<http://blog.gestimar-immobilier.com/index.php/2006/08/14/360-saison-estivale-essaouira-affiche-complet>)

Le diagramme de la figure IV.3 montre l'évolution du nombre de touristes, nationaux ou internationaux, arrivés à la ville d'Essaouira pour la période entre les années 2000 et 2006.

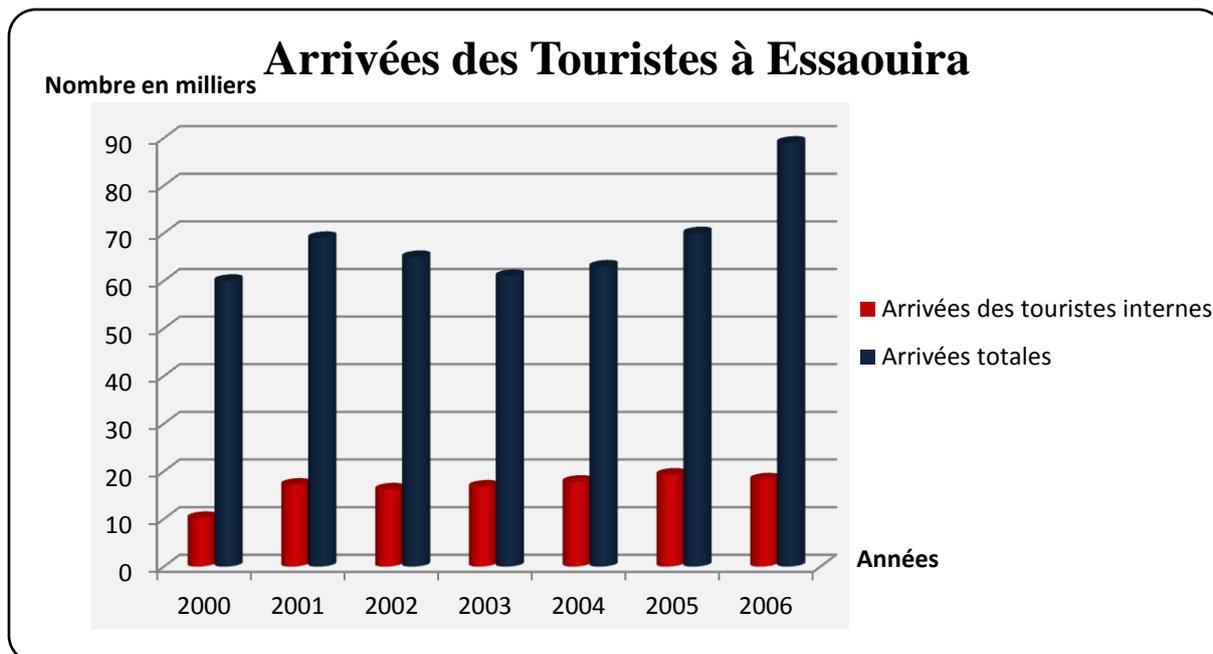


Figure IV.3: le nombre des arrivées des touristes à la ville d'Essaouira pour la période (2000-2006) (source : [www.fmdt.ma/download/Sts/Als/2006/Tinterne00-06.pdf](http://www.fmdt.ma/download/Sts/Als/2006/Tinterne00-06.pdf) )

Le domaine d'assainissement, à Essaouira, joue un rôle important concernant les orientations que suivent les investissements touristiques au niveau la ville. L'installation des activités touristiques nécessite la présence d'un certains nombre d'infrastructures et surtout des conditions d'assainissement qui soient convenables. Cette situation apparait très bien dans la ville d'Essaouira vu que les importants établissements touristiques sont installés suivant la façade maritime ; cette zone et parmi les zones les moins touchées par les problèmes d'assainissement.

La présence d'une activité touristique intense et irrégulière engendre une influence néfaste sur le réseau d'assainissement. Le secteur touristique est parmi les secteurs les plus consommant des ressources en eau et par la suite on aura des volumes très importants d'eau usée. Cette situation va engendrer des surcharges et des pressions sur le réseau, connaissant déjà des multitudes de contraintes sur les stations de pompage et sur la station d'épuration.

## 5) CONTRAINTES FINANCIERES :

La ville souffre d'une multitude de problèmes concernant l'assainissement liquide d'où la nécessité croissante et permanente des travaux de maintenance du réseau. Ce problème s'accroît avec le temps en cas de non respect des normes de protection et d'entretien des conduites, engendrant des dysfonctionnements et des débordements ou refoulement des eaux usées sur les voies publiques ou dans les habitations.

| <b>Travaux</b>  | <b>année</b>      | <b>montant (DH)</b> |
|---|-------------------|---------------------|
| Travaux de curage du réseau   | 10/01/1985        | 527485              |
| Achat des accessoires du réseau   | 05/02/1985        | 175442,4            |
| Achat des matériels nécessaires pour travaux d'assainissement                               | 14/02/1985        | 784480              |
| Construction du réseau d'assainissement   | 14/02/1985        | 300000              |
| Achat des canaux et des tampons en acier  | 09/05/1985        | 59986               |
| Achat des canaux et des tampons en acier  | 08/10/1986        | 60000               |
| Achat des canaux  | 16/01/1987        | 253800              |
| Achat des canaux et des bouchons  | 30/08/1988        | 150000              |
| Achat des canaux  | 21/12/1988        | 48800               |
| Achat de deux pompes  | 21/12/1988        | 115306,24           |
| Achat des canaux et des tampons   | 26/05/1989        | 150000              |
| Achat des canaux et des tampons   | 05/07/1990        | 169760              |
| Travaux de création et d'équipement de la station de pompage                                | <b>04/01/1991</b> | <b>987887,03</b>    |
| Achat des canaux  | <b>21/01/1991</b> | <b>6843550</b>      |
| Renouvellement du réseau d'assainissement   | <b>21/01/1991</b> | <b>9097550</b>      |
| Suivie des travaux d'assainissement   | <b>20/02/1991</b> | <b>558234,14</b>    |
| Achat des tampons du réseau   | 26/08/1993        | 196760              |
| Fourniture des canaux et des tampons  | 08/09/1994        | 204895,6            |
| Achat des canaux et des tampons   | 28/11/1995        | 1745000             |
| Travaux de curage du réseau d'assainissement  | 22/10/1997        | 948094,4            |
| Travaux de curage du réseau   | 03/30/2000        | 1789959,6           |
| Travaux sur les canaux d'entrepôt municipale et achat de 4 pompes flottantes                | 2003              | 313731,8            |
| Achat des pompes et leurs équipements   | 2005              | 2218860             |
| Achat des pompes et leurs équipement et l'entretien de la station de pompage de Bab Doukala | 2006              | 223843,4            |
| <b>Total</b>  |                   | <b>32016363,81</b>  |

*Tableau IV.3 : les différents projets et investissements dans le domaine d'assainissement pendant la période 1983-2006 (source : Municipalité d'Essaouira)*

Le tableau IV.3 englobe les différents projets, travaux et investissements concernant le domaine d'assainissement dans la ville d'Essaouira. On remarque que les taux de ces investissements réalisés par la Municipalité sont modérés à l'exception de ceux réalisés pendant l'année 1991.

La réhabilitation et la maintenance du réseau restent limitées à cause de la présence d'autres contraintes ; topographique, financière et de planification.

Le problème d'engorgement des canalisations du réseau d'assainissement nécessite des grands travaux de curage pour qu'elles puissent assurer leur rôle. Le tableau qui suit (Tab.IV.4) nous donne une idée sur les coûts des opérations de curage réalisées.

| <b>Travaux</b>   | <b>Curage hydromécanique</b> | <b>Curage manuel</b> | <b>Total</b> |
|------------------|------------------------------|----------------------|--------------|
| <b>Coût (DH)</b> | 2300000                      | 3000000              | 5300000      |

*Tableau IV.4 : le coût total des travaux de curage des canaux d'assainissement réalisé par l'ONEP (2009)*

La topographie plate de la ville influence sur l'écoulement des eaux usées et les eaux pluviales, d'où la nécessité d'utiliser des stations de pompage pour assurer l'évacuation de ces eaux. Les coûts de fonctionnement de ces stations sont présentés dans le tableau suivant :

| <b>Station de pompage</b>           | <b>SP1</b> | <b>SP2</b> | <b>SP3</b> | <b>SP4</b> | <b>Total</b> |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| <b>Coût de fonctionnement DH/an</b> | 1000000    | 41000      | 33000      | 22000      | 1096000      |

*Tableau IV.5 : le coût de fonctionnement des stations de pompage pour l'année 2009 (source : ONEP , communication orale)*

Les coûts nécessaires pour assurer le fonctionnement des stations de pompage amplifient le coût total de la gestion de l'assainissement liquide dans la ville d'Essaouira.

La gestion du domaine d'assainissement à Essaouira dépasse les possibilités financières locales vu qu'on a des grandes contraintes. Les ressources financières locales ne permettent pas de résoudre la problématique de l'assainissement liquide parce que tout le réseau nécessite une réhabilitation. Cette situation devient plus complexe vu que le domaine d'assainissement est lié à de nombreuses infrastructures qui vont subir des influences lors de la réhabilitation du réseau et par la suite on aura besoin de ressources financières encore plus importantes. Ces ressources ne sont pas disponibles localement et même la possibilité d'avoir des crédits est impossible après le grand crédit qui a été consommé lors du dernier projet réalisé par l'ONEP.

## **6) CONTRAINTES INFLUENÇANT SUR L'AVANCEMENT DES TRAVAUX :**

Lors des travaux de réhabilitation, de mise en place des collecteurs ou d'entretien, un certain nombre de contraintes qui retardent la réalisation de ces travaux sont rencontrées.

### **6.1) CONTRAINTES LIÉES À L'INTERACTION ENTRE LE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT ET LES INFRASTRUCTURES**

Dans un chantier de travaux de réhabilitation ou de nettoyage des collecteurs, il existe toujours des contraintes liées à la dépose et pose des conduites surtout lorsque le sous-sol est très encombré avec aussi des réseaux divers (d'alimentation en eau potable, d'électricité, de communications, etc.)

Par exemple, on trouve des regards qui sont traversés par les conduites d'eau potable. Cette situation se généralise au niveau des ruelles étroites par manque d'espace pour passer les deux réseaux. Les conduites d'eau potable, plus anciennes que celles d'assainissement, sont placées sur l'axe des ruelles ne laissant pas la possibilité de caser le réseau d'assainissement à droite ou à gauche.

Les traversées des regards sont assurées par des fourreaux en acier ou parfois sans fourreaux. Ceux-ci, destinés à protéger les conduites d'eau potable, gêneront les actions d'entretien du réseau d'assainissement. Certains, quand ils existent, sont dégradés ou mal enrobés dans le béton laissant ainsi la canalisation d'eau potable exposée aux risques de casse et de contamination par les eaux usées.

Alors pour une bonne tenue de travaux afin d'éviter tout désordre pouvant retarder les travaux et pénaliser la population, l'Entreprise, qui sera chargée, devra impérativement connaître parfaitement, au préalable, le sous sol où passent aussi d'autres câbles et conduites.

## 6.2) CONTRAINTES LIEES A L'INTERACTION ENTRE LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT ET LES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUE :

Une des difficultés rencontrée en phase de chantier, et surtout au niveau de la Médina, c'est l'obligation d'entamer des travaux dans des ruelles étroites, très fréquentées où se concentrent de nombreux commerces alors on aura des difficultés de réaliser un entretien rigoureux du réseau d'assainissement et par la suite on aura des dégâts néfastes sur les monuments historiques présentés au niveau de la Médina (Photo IV.2). Concrètement, toutes les boutiques devront être fermées durant la période des travaux à cause des risques d'effondrement (Photo IV.3).



*Photo IV.2 : Difficulté de déplacement des grands engins dans les ruelles étroites*



*Photo IV.3: Fermeture des boutiques lors des travaux*

Il est prévu de prescrire au niveau des cahiers de charges pour la réalisation des travaux toute mesure nécessaire pour réduire l'impact négatif des travaux aux activités socio-économiques, ces mesures concerneront notamment le programme des travaux en gestion de temps (périodes de travail, travail de nuit, etc.), la sécurité du chantier et du travail et l'évitement des nuisances : odeurs, bruits.

### 6.3) AUTRES CONTRAINTES RESENTIES SUR LE TERRAIN :

Les travaux concernant le réseau tertiaire se concentrent au niveau des ruelles où la circulation automobile est interdite (cas de la Médina), Ceci pose d'énormes problèmes pour l'approvisionnement en marchandises. Alors les travaux seront plus en manuel, les usages des engins seront limités, avec nécessité de confortement des bâtisses vulnérables. Cette situation est en faveur d'une augmentation de la main d'œuvre nécessaire mais aussi une augmentation de temps prévu pour les travaux.

Alors dans le cadre de l'installation d'un chantier, on aura :

- L'accès des matériaux se fera artisanalement, avec un approvisionnement au fur et à mesure vu le manque d'espace et l'étroitesse ruelles, ce qui nécessitera le recours à des engins en petite dimension : mini cureuses, mini chargeuses, etc.
- La nécessité d'évacuation fréquente et continue des déchets solides et encombrants ce qui augmenterait la fréquence des allers retours d'ouvriers au niveau de ruelles étroites, ce qui risque de boucher fréquemment mais ponctuellement certains points de passage.

## **CHAPITRE V : SOLUTIONS ENVISAGEES POUR LES DIFFERENTS PROBLEMES DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE D'ESSAOUIRA**

Au cours du chapitre précédent, on a mis le point sur les différents facteurs qui contribuent au dysfonctionnement du réseau d'assainissement de la ville d'Essaouira. Ces facteurs peuvent être divisés en deux parties : ceux endogènes liés notamment au réseau et ceux exogènes non directement liés au réseau et qui ont une influence certaine sur son fonctionnement.

Certes, à Essaouira, on a des problèmes de faibles altitudes et des caractéristiques climatiques et géologiques moins favorables. Mais cela ne peut pas justifier les innombrables et fréquents problèmes liés au réseau d'assainissement liquide qui prouvent ses limites à chaque Hiver et commencent à prendre la forme d'une fatalité.

Après toutes les études et les travaux entrepris par l'ONEP pour résoudre définitivement ces problèmes, Essaouira a toujours du mal à gérer son réseau. Ce qui nécessite de chercher d'autres solutions qui doivent être radicales.

### **1) SOLUTIONS ENVISAGEES POUR LES PROBLEMES DES INONDATIONS :**

La lutte contre les inondations a été, dès la création des villes un problème réel: si l'eau est source de vie, elle est également source de nuisances. Ces nuisances, sont d'autant plus manifestes que la taille de l'agglomération est importante. En effet, au fur et à mesure du développement des centres urbains, les effets de l'urbanisation se multiplient et se renforcent.

Cela nécessite des mesures d'accompagnement de plus en plus difficiles à mettre en place techniquement, financièrement et politiquement.

Les inondations dans la ville d'Essaouira sont liées aux différentes causes, notamment : les problèmes d'évacuation des eaux pluviales, les crues d'Oued Ksob et l'action des marées.

## 1.1) LA GESTION DES EAUX PLUVIALES ET LES CRUES D'OUED KSOB :

La ville d'Essaouira, caractérisée par un contexte physique et climatologique particulièrement sensible, a été soumise à de nombreuses inondations et d'importants dégâts dus à l'insuffisance de la gestion des eaux pluviales. Malgré l'existence d'un réseau de drainage, différents facteurs tels que le déficit ou l'absence de planification urbaine et d'entretien du réseau entraîne la persistance voire l'aggravation des inondations. Devant la détérioration rapide de l'environnement urbain, il devient impératif d'accorder aux problèmes d'assainissement plus d'attention.

Les inondations liées aux eaux pluviales sont générées suite à la surcharge du réseau des eaux pluviales qui souffre de la diminution de sa capacité à cause des problèmes de l'ensablement et de l'engorgement des dalots. Un autre problème qui peut causer les inondations pluviales, c'est l'intrusion de l'eau marine au sein des dalots lors des fortes marées haute, ce qui bloque l'évacuation des eaux pluviales . Le mauvais fonctionnement des stations de pompages peut influencer sur la bonne évacuation des eaux de pluies et par la suite on aura des problèmes de débordement de ces eaux vers la surface.

Les autorités appliquent en général des solutions usuelles comme des curages, des curages préventifs au cours de la période estivale afin de faciliter la gestion du réseau durant la période hivernale.

Mais actuellement, il existe un autre type d'intervention face aux problèmes des inondations : c'est les techniques alternatives dites aussi les techniques compensatoires.

Ces techniques constituent une stratégie nouvelle en matière de gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Elles se basent sur l'infiltration et le stockage des eaux météoriques dans le sol support. Cette stratégie doit intégrer plusieurs objectifs :

- La protection de la ville contre les inondations
- La maîtrise des coûts de l'assainissement et au maintien du processus d'urbanisation dans des conditions financières raisonnables.
- La préservation du milieu naturel et la réutilisation des eaux pluviales.

Ces techniques sont multiples et diverses, et elles consistent l'infiltration et le stockage des eaux dans différents types d'ouvrages. Parmi les dispositifs les plus communément utilisés pour la rétention/percolation des eaux météoriques dans le sol, on trouve :

- Les chaussées à structure réservoir à revêtement poreux ou classique
- Les structures réservoirs sous les équipements publics (parking, aires de jeu,...)
- Les toitures stockantes
- Les tranchées d'infiltration et de rétention
- Les puits d'infiltration et de rétention
- Les fossés et les noues.
- Les bassins de rétention / ou bien d'infiltration

Le principe de fonctionnement de ces techniques nouvelles est très simple et consiste en trois fonctions :

- La réception des eaux météoriques et leur injection dans le corps de l'ouvrage ;
- Le stockage temporaire des eaux pluviales recueillies
- L'évacuation différée et à débit régulé des eaux. En fonction des conditions physiques du site, cette évacuation peut être soit par infiltration dans le sol support, soit vers un exutoire pour les déversées dans le milieu récepteur.

Parmi les facteurs décisifs concernant le choix de la/ les technique convenable, on a : les contraintes liées au site, au milieu récepteur, les modes d'occupation des sols, de l'encombrement du sous-sol, le réseau et les ouvrages d'épuration.

Pour le cas de la ville d'Essaouira, les contraintes du milieu sont diverses, ce qui diminue l'intervalle du choix entre les différentes techniques compensatoires.

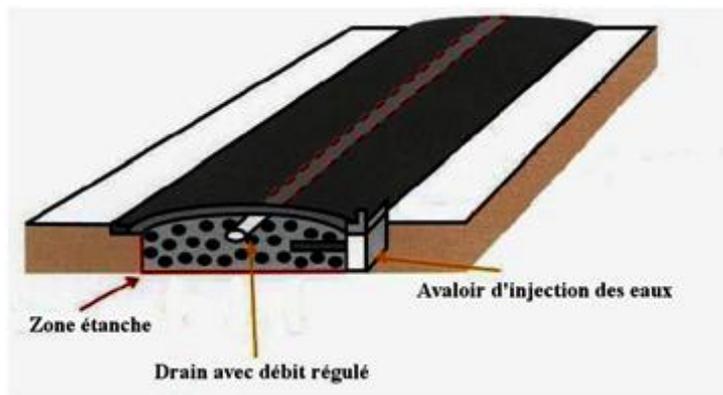
Le choix, des techniques basées sur le concept d'infiltration, n'est pas pratique, vu qu'au niveau de la ville d'Essaouira, la nappe phréatique est de faible profondeur ce qui diminue les capacités du sous-sol en terme de stockage des eaux infiltrées.

La mise en place des bassins de rétention, nécessite la disponibilité d'une grande superficie ce qui semble impossible pour le cas de la ville d'Essaouira vu qu'elle dispose d'un système dunaire fragile et chaque intervention peut induire à un déséquilibre de ce dernier.

Alors parmi les techniques qu'on peut appliquer dans le domaine urbain d'Essaouira, on a les chaussées à structure réservoir. Cette technique consiste à stocker les eaux pluviales dans le corps de la chaussée constituée d'un matériau poreux.

L'alimentation du réservoir se fait soit par infiltration directe de l'eau de pluie à travers une chaussée perméable, soit par ruissellement de l'eau de pluie sur une chaussée

imperméable puis au travers de regards (Fig.V.1) (PhotoV.1). Pour le cas de la ville d'Essaouira, c'est préférable d'utiliser des chaussées imperméables, qui sont alimentées en eau par un système de drains liés à des avaloirs équipés par des grilles de dessablement, à cause de la présence du problème de l'ensablement. Les sables peuvent s'infiltrer par les dalles perméables causant ainsi un colmatage du corps de la chaussée.



*Figure V.1 : Schéma d'une chaussée à structure réservoir*



*Photo V.1 : la mise en place d'une chaussée à structure réservoir*

Cette technique peut être efficace pour la gestion des eaux de crues d'oued Ksob si elles ont lieu avec une faible intensité. Mais en général, le barrage Zerrar, dont les travaux de préparation et d'installation du chantier ont déjà démarré, permettra de régulariser un volume de 19 millions m<sup>3</sup> d'eau par an et d'alimenter la ville d'Essaouira et les régions avoisinantes en eau potable. Il a également pour objectifs la protection de la baie et de la plage de la Cité des

Alizés contre les inondations et la pollution des eaux de crues ainsi que l'irrigation de quelque 1500 hectares.

## 1.2) LA GESTION DE L'ACTION DES MAREES SUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT :

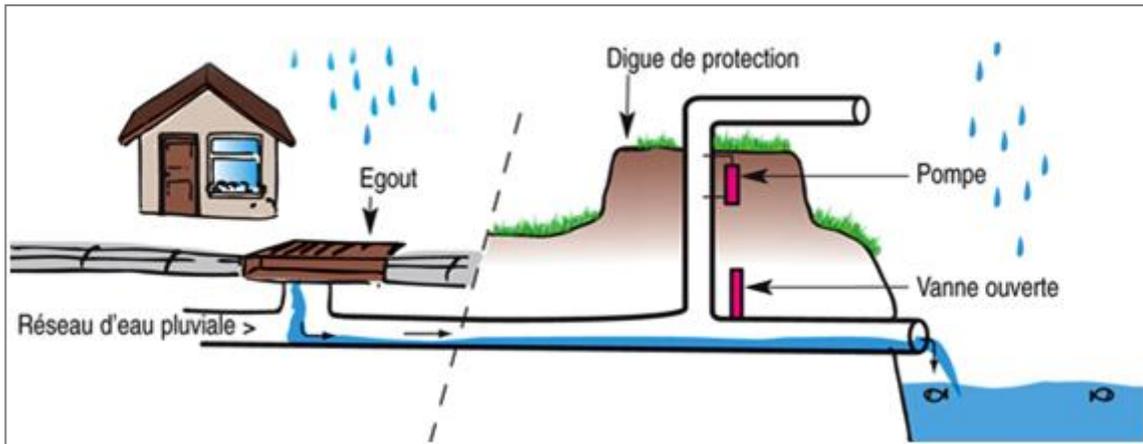
La remontée de l'eau de mer à l'intérieur des canaux est parmi les facteurs primordiaux qui sont responsables des inondations dans la ville d'Essaouira. Pour limiter l'intrusion de l'eau marine dans le réseau d'assainissement on installe des systèmes de blocage (déversoir d'orage) au niveau des émissaires d'évacuation des eaux pluviales.

Comme on a décrit auparavant, la ville d'Essaouira dispose de trois émissaires d'évacuation des eaux usées, dont celui de Bab doukala dispose d'un déversoir d'orage qui malheureusement ne fonctionne plus. D'où l'exigence de le réparer et ainsi installer d'autres déversoir au niveau des deux autres émissaires.

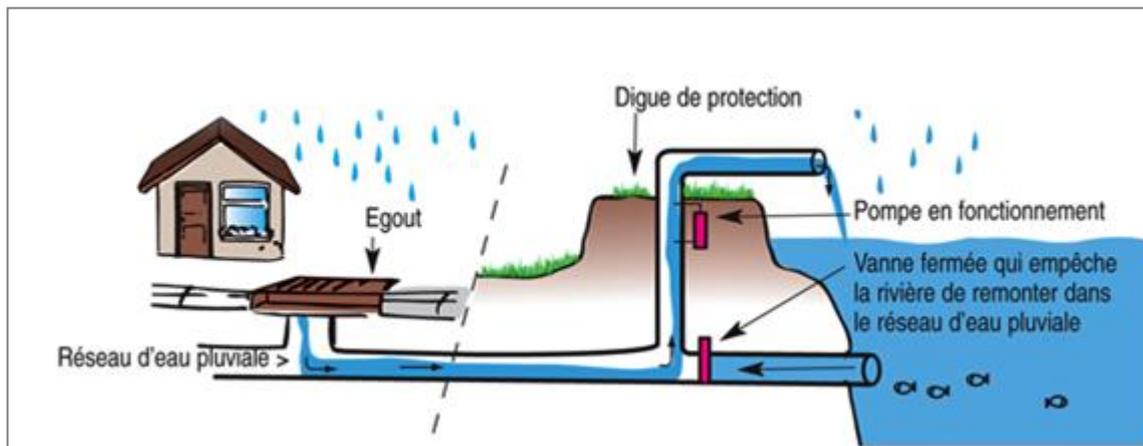
L'utilisation des déversoirs d'orage présente des résultats limités. Ces déversoirs empêchent la remonté des eaux marines dans les émissaires mais ils provoquent la rétention des eaux de pluies au sein des dalots ce qui va introduire une grande pression sur les canalisations surtout lors des tombés de pluies importantes.

Parmi les techniques qui peuvent résoudre le problème de la remonté des eaux marines lors des fortes marées hautes et assurer en même temps l'évacuation des eaux météoriques dans le milieu récepteur, on a les postes de crue (Fig. V.2)

Le système de fonctionnement de cet ouvrage est assez simple, une vanne ferme l'émissaire pour empêcher l'eau de mer de remonter, et la pompe assure l'évacuation et le rejet des eaux pluviales.



a) Schéma montrant le fonctionnement d'un poste de crue en temps normal



b) Schéma montrant le fonctionnement d'un poste de crue durant une tempête

Figure V.11 : Fonctionnement d'un poste de crue en fonction des périodes

(Source : <http://www.agglo-compiegne.fr/Lutte-contre-les-Crués.aspx> )

## 2) SOLUTIONS ENVISAGEES POUR LES PROBLEMES DE L'ENSABLEMENT :

L'ensablement est une des principales causes de dysfonctionnement du réseau d'assainissement. Au niveau du chapitre précédant, on a essayé de comprendre les causes et les mécanismes de ce phénomène; ainsi que son impact sur le fonctionnement du réseau.

La gestion des réseaux d'assainissement et la prévention de l'ensablement des collecteurs d'assainissement sont des enjeux majeurs de la gestion des réseaux d'égout,

puisque cela commande le libre écoulement des effluents que ces ouvrages doivent évacuer, tant des eaux usées que des eaux de pluie.

Les autorités de la ville d'Essaouira ont réalisée une multitude d'opérations de curage des canalisations du réseau. (Tab. V.1)

| Quartiers                    | Nombre des travaux de curage effectué |                                    |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
|                              | 1983-2005                             | Depuis la mise en charge de l'ONEP |
| la Médina                    | 44                                    | 42                                 |
| Q.Lala Amina-Lot IV          | 7                                     | 3                                  |
| Q.Industriel-Q.Jrayfat       | 6                                     | 7                                  |
| Q.des Dunes-Q. Administratif | -                                     | 1                                  |
| Lot.Skala                    | 4                                     | 4                                  |
| Lots.Elborj-Azlef-Araonaq    | -                                     | 1                                  |
| Lot.V -La lagune 2 et 3      | 17                                    | 23                                 |
| logements fonctionnaires     | 6                                     | 7                                  |
| Total                        | 84                                    | 81                                 |

Tableau V.1 : les différentes opérations de Curage effectuées (source : données de l'ONEP)

Les travaux de balayage et de désensablement réguliers et efficaces sont des excellentes moyennes de lutte contre l'ensablement de la voirie et par suite du réseau d'assainissement. Cependant, ces opérations sont rendues difficiles par les menaces renouvelables de ce phénomène naturel. La mise en place d'un système de blocage (degrilleur, dessableur) au niveau des avaloirs et des regards semble obligatoire pour éviter l'infiltration des sables ou bien tous autres matériaux.

Ce phénomène menace la ville depuis des centaines d'années et il est accentué avec l'extension de la ville au dépend du milieu du naturel (dunes et lagunes) et par la suite le déboisement de la forêt. Donc on a des amas de sable meuble qui peut être transporté facilement par les vents dominants dans la ville d'Essaouira.

Depuis la période du protectorat, des campagnes de fixation des dunes sont réalisées, mais le besoin des nouvelles superficies urbaines a perturbé les travaux réalisés. Mais après des décennies, et vu les contraintes majeurs de la planification urbaine de la ville ainsi que les problèmes causés par l'ensablement et qui menace surtout le réseau d'assainissement, un

nouvel projet a eu lieu appelé « ceinture verte », il est en cours d'aménagement. Ce projet vise de mettre des limites à l'extension de la ville en protégeant et valorisant le milieu naturel.

- ***Objectifs du projet***

Le projet de la ceinture verte d'Essaouira s'inscrit dans un processus global de développement. Il cristallise la cohésion de trois fonctions différentes et interdépendantes. Il s'agit d'un projet d'utilité à la fois urbaine et environnementale. La volonté de donner une dimension humaine, sociale et culturelle aux problèmes d'environnement permet de les enraciner dans la sensibilité des gens, dans leur quotidien, et dans leur patrimoine. Cette dimension reste la seule manière de leur faire approprier l'espace environnemental.

Plusieurs actions ont d'ores et déjà été menées telles que :

- le nettoyage des lagunes car elles présentent des problèmes de saleté d'eau à cause des déchets et ordures qui y sont jetées (Photo V.3)
- Le traitement sylvicole.
- La fixation des dunes. Cette procédure a débuté depuis 1914 comme on a cité auparavant.. Actuellement, sur plus de 10000 ha d'anciennes dunes délimitées, la quasi-majorité est bien reboisée en acacias et eucalyptus.
- L'installation d'une barrière de protection longeant la forêt.
- L'aménagement d'un boulevard périphérique est en cours. Espaces piétons, éclairages et double voie : il accueillera bientôt une partie du trafic routier de la ville.

La ceinture verte c'est aussi une ouverture de la ville sur la forêt. Les promeneurs pourront accéder au domaine forestier par trois grandes portes, et, guidés par des panneaux d'information, découvrir au fil de leurs balades la faune et la flore locales.

Les photos suivantes montrent des quelques différentes vues qu'on peut rencontrer lors de la visite du parc urbain d'Essaouira.



*Photo IV.2 : Vues de quelques différentes zones de la ceinture verte*

- ✓ *Remarque* : la partie Nord du boulevard n'est pas encore aménagée. Les photos qui suivent montrent la grande différence entre les zones aménagées et celles qui souffrent encore de rejets des déchets et l'accentuation du phénomène d'ensablement.



*Photo IV.3 : Zones pas encore aménagées*

### **3) SOLUTIONS POUR LES PROBLEMES ENGENDRES PAR LES UNITES DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT**

#### **3.1) MESURES D'ATTENUATION DES IMPACTS ENGENDRES PAR LA STATION D'EPURATION :**

La station d'épuration des eaux usées de la ville d'Essaouira provoque des problèmes concernant la qualité de l'air et l'émission des odeurs nuisibles à la suite d'un certain nombre de facteurs cités auparavant.

Il y a un ensemble de critères envisagés pour l'atténuation de ces impacts, ils sont comme ce qui suit :

- Réaliser un traitement primaire des eaux industrielles avant de les déverser dans les égouts.
- S'assurer de l'étanchéité des bassins afin de protéger les eaux souterraines et ainsi limiter la pollution du milieu littoral.
- Mettre en place une ceinture d'arbre qui entoure la station. Cette ceinture a comme objectif : l'atténuation du taux des odeurs nuisibles, et aussi elle sert pour la protection de la STEP contre problème d'ensablement de ses bassins. L'inconvénient de cette procédure est la nécessité d'une grande durée de temps pour l'accroissement des arbres pour qu'elle soit efficace.
- Réaliser des curages, assemblages et séchage des boues
- Faire des vaccinations de tous les ouvriers de la STEP
- Impliquer les normes de maintenance pour chaque unité de la STEP, vu que les travaux réalisés actuellement sont très limités.

#### **3.2) MESURES D'ATTENUATION DES IMPACTS ENGENDRES PAR LES STATIONS DE POMPAGE :**

Les stations de pompage provoquent des problèmes qui se manifestent par l'émission des mauvaises odeurs et du bruit.

Concernant le problème du bruit il faut :

- La mise en place des bases qui empêchent les vibrations.
- Le choix des moteurs qui n'émettent pas des forts bruits.
- Le renforcement des murs des chambres où les moteurs sont déposés.

Il faut ajouter aussi d'autres critères qui sont en fonction des travaux d'entretien, comme :

- Le contrôle et maintenance des pompes de façon permanente
- Le contrôle de la durée d'arrêt du pompage de l'eau pour qu'on n'ait pas des stagnations et puis des émissions des odeurs nuisibles.
- Raffinage des couvertures/couches superficielles des eaux d'une façon permanente surtout au niveau de la station de pompage localisée près du quartier Industriel car les rejets peuvent avoir des mauvaises odeurs.

## CONCLUSION

La ville d'Essaouira caractérisée par son milieu naturel unique, et qui présente une grande importance touristique, souffre d'une problématique qui touche une parmi les importantes infrastructures au niveau du développement urbain de chaque ville, et qui est « l'assainissement liquide ».

Les facteurs et les contraintes, menaçant le réseau de l'assainissement à Essaouira, sont divers et ils ont des origines naturelles et anthropiques. La distinction entre ces deux catégories de problèmes semble parfois impossible suite à la présence des liaisons et des interactions entre le réseau d'assainissement et le milieu naturel.

La majorité des problèmes du réseau a débuté avec l'extension de la ville. Cette extension a intervenu selon deux aspects :

-l'extension de la ville d'Essaouira a été au dépend du milieu naturel (dunes et lagunes) ; la construction au dépend des dunes implique un déboisement de ces dernières, ce qui engendre des sables meubles qui s'infiltrent au niveau du réseau d'assainissement. Cette situation devient plus grave suite au climat de la région qui est caractérisé par la présence des vents forts et très fréquents. Pour profiter de l'espace, pris par des lagunes, ces entités naturelles sont remblayées. La qualité du sol au niveau des zones bâties soit sur un système dunaire ou bien sur un système lagunaire, est vulnérable ce qui cause des dégâts directs sur les conduites du réseau d'assainissement.

-l'extension de la ville est accompagnée par un développement démographique important ce qui introduit des volumes en eaux usées de plus en plus importants. Ces grandes quantités d'eau d'égout provoquent des pressions sur le réseau d'assainissement influençant ainsi la qualité de l'assainissement dans la ville d'Essaouira, sans oublier la pression due au secteur touristique.

Les conditions marines et hydrologiques ayant une très grande influence sur le réseau d'assainissement introduisent ainsi des inondations qui diminuent la qualité de l'assainissement dans la ville d'Essaouira.

La qualité de l'assainissement dans la ville d'Essaouira dépend aussi de l'efficacité des travaux de poses des conduites, travaux d'entretien notamment le curage, et le suivie des opérations de maintenance.

On a englobé les différents problèmes, du réseau d'assainissement selon les quartiers de la ville d'Essaouira, dans le tableau 1 :

| <b>Quartiers/ Avenues</b>                             | <b>Problèmes rencontrés</b>   |
|---|---|
| La Médina   | -Vétusté du réseau<br>-Ensablement des canalisations des eaux de pluies<br>- Risque d'inondation suite à la remontée marine |
| -Quartier Industriel<br>-Q.Lala Amina<br>-Q.Municipal | -Faible topographie<br>-Ensablement des canalisations des eaux usées  |
| -Lot. La Lagune<br>-Lot. Elborj                       | -Ensablement des canalisations des eaux de pluies<br>-Risque d'inondation suite à la remontée marine                        |
| Lotissement V   | -Ensablement des canalisations des eaux usées<br>- Risque d'inondation suite à la remontée marine                           |
| Lot.Azlef   | -Ensablement des canalisations des eaux de pluies   |
| - Lot. Al Aman<br>-Lot.Al Amal                        | -Ensablement des canalisations des eaux usées   |
| Lot.Skala   | -Ensablement des canalisations des eaux de pluies   |
| A côté de la sculpture<br>« Barakat<br>Mohamed »      | -Inondation par les crues d'oued Ksob   |
| Avenue Alaquaba                                       | -Ensablement des canalisations des eaux usées<br>-Ensablement des canalisations des eaux de pluies                          |
| -Avenue Mohamed V<br>-Avenue 2 Mars                   | -cassures au niveau du réseau d'assainissement  |

*Tableau 1 : les différents problèmes rencontrés concernant le réseau d'assainissement liquide dans les quartiers et les avenues de la ville d'Essaouira*

D'une façon générale, la ville d'Essaouira est exposée aux contraintes imposées au réseau d'assainissement durant presque toute l'année. Comme le montre le tableau (Tab .2) suivant :

| <b>Saison</b> | <b>Type de contraintes</b>   |
|---------------|--|
| Été           | Action éolienne importante → Problème d'ensablement + Pression touristique |
| Automne       | Marée forte (surtout en Septembre) + Précipitation → inondation            |
| Hiver         | Précipitation importante → risque de crue d'Oued Ksob → inondations        |
| Printemps     | Marée forte (surtout en Mars) + Précipitation → inondations                |

*Tableau 2 : les types de contraintes imposées au réseau au réseau d'assainissement selon les saisons*

Les solutions appliquées par les responsables (Municipalité et l'ONEP) restent limitées et peu efficaces. Ceci mène à l'obligation de chercher d'autres interventions, qui tiennent compte de l'ensemble des problèmes du réseau d'assainissement dans leur globalité avec une vision environnementale, et ce qui est le cas pour le projet de la ceinture verte.

La gestion du domaine d'assainissement nécessite une vision stratégique à long terme qui prend en compte les possibilités d'évolution du domaine urbain, les contraintes naturelles et aussi les contraintes liées au réseau lui-même, afin d'assurer toutes les conditions d'un assainissement liquide future convenable.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Allam, M., & Houmimyd, A. (1990). Étude de protection contre l'ensablement de la liaison routière entre Moulay Bouzarkoun et Essaouira. *Rapport du Service Forestier d'Essaouira*. 65 p.
- Ambroggi, R. (1963). Etude géologique du versant méridional du Haut Atlas occidental et de la plaine de Souss. *Notes Mém. Servo Géol. Maroc*, 157,321 pp.
- Bahir, M ;Mennani, A ;Jalal, M & Youbi, N.(2000). Ressources hydriques du bassin synclinal d'Essaouira (Maroc). *Estudios Geol.*,56 ,p . 185-195.
- De Meulder,B et Loeckx ,A . (2004). Essaouira (Re) Editing the Compact City. Urban Trialogues. Visions, projects, co-production, p . 79-121 .
- Elmimouni, A. (2009). approche expérimentale de suivi de la dynamique morphosédimentaire du littoral d'essaouira, maroc :implications pour un aménagement raisonne. Thèse de doctorat. Faculté des sciences et techniques, marrakech, 248 p
- El Mimouni,A ;Daoudi,L ; Saidi,M,E. & Baiddah,A. (2010). Comportement hydrologique et dynamique d'un bassin versant en milieu semi-aride: exemple du bassin versant du Ksob (haut atlas occidental, Maroc). *Rev. C. & G.*, Espagne, p. 99-112.
- El Mouatez, A. (2003) . Essaouira : l'expérience du programme Agenda 21 . *Patrimoine et développement durable dans les villes historiques du Maghreb contemporain*. Guide d'orientation et de formation , Unesco , Rabat, p. 169-175.
- Florence (2007). Land evaluation in Essaouira Province –Morocco- .Ministry of Foreign affairs,Istituto Agronomico per l'Oltremare, 213 p.
- Gentile, W. (1997). *Caractérisation et suivi d'un champ dunaire par analyses sédimentologiques et télédétection (Essaouira-Cap Sim, Maroc Atlantique)*. Thèse Université de Province – Aix-Marseille I, 307 p.
- Hander M. (1993). *Contribution à l'étude de la bioclimatologie humaine au Maroc :l'exemple d'Essaouira*, Thèse de Doctorat, Paris-IV, 356 p.
- ICOMOS (2001). Essaouira (Maroc) , p. 20-22.
- Jaouani,W.(2009). - مشاريع التهيئة والتنمية الحضرية المندمجة - التطوير السائل بالصوره نموذجاً - .Mémoire d'obtention de Master. Faculté des lettres et des sciences humaines, Marrakech, 212p.

Khatteli, H ; Belhadj, N. (1994). La dynamique des dunes dans le sud ouest Tunisien. Revue Sécheresse n°4, vol. 5, dec., pp. 245-249.

Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (2005). Rapport National sur la Prévention des Désastres. *Conférence de Kobe-Hyogo*. 60 p.

Oussouss, A et Essalhi, K. (2005). Comportement hydrologique dans le Haut Atlas occidental -le cas du bassin du ksob. Mémoire d'obtention de Maîtrise. Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech, 59 p.

Phénixa (2011). Etude de la réhabilitation des réseaux d'eau potable et d'assainissement de la médina à Essaouira. Office National de l'Alimentation en Eau Potable, 107 p.

Resing, (1996). Monographie locale de l'environnement d'Essaouira. Observatoire National de l'Environnement du Maroc (ONEM), Rapport interne, 116 p.

Simone, C. (1996). Essaouira : naissance d'une ville et impact de ses activités sur le milieu, *Impact de l'homme sur les milieux naturels, Perceptions et Mesures*, éd. Scient. : P. BAUDOT, D. BLEY, B. BRUN, H. PAGEZY et N. VERNAZZA-LICHT, éd. De Bergier, p. 115-125.

Simone, C. (2000). Le géo-système dunaire anthropisé d'Essaouira – est (Maroc Atlantique) dynamique et paléo-environnements. Thèse de doctorat. Univ. Aix-Marseille I. 204 p.

WEISROCK A. 1980 *Géomorphologie et paléoenvironnements de l'Atlas atlantique (Maroc)*, Thèse Doct. d'état, Paris I, 837 p.

WEISROCK A. 1987 Oulja et Ouljien au Maroc atlantique, les Milieux et les Hommes dans les Pays Méditerranéens, hommage à Gérard Maurer, *Etudes Méditerranéennes*, fasc. 11, 2 pl.-photos, Poitiers. , p. 175-187.

**Site Web :**

[http://www.crimarrakech.ma/def.asp?codelangue=23&id\\_info=1503&rub1=1141](http://www.crimarrakech.ma/def.asp?codelangue=23&id_info=1503&rub1=1141)

<http://membres.multimania.fr/jamasig/doc/Projets/Hydrographie/hydro.pdf>

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Theodore\\_Cornut\\_Essaouira\\_1767.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Theodore_Cornut_Essaouira_1767.jpg)

<http://www.mtpnet.gov.ma/Vpm/Maroc%20Maritime/ports/PortsAtlantiques/Essaouira/Conditions%20Nautiques.htm>

<http://www.unesco.org/most/csipask.htm>

<http://blog.gestimar-immobilier.com/index.php/2006/08/14/360-saison-estivale-essaouira-affiche-complet>

[www.fmdt.ma/download/Sts/AIs/2006/Tinterne00-06.pdf](http://www.fmdt.ma/download/Sts/AIs/2006/Tinterne00-06.pdf)

<http://www.agglo-compiegne.fr/Lutte-contre-les-Cruets.aspx>