



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de Génie civile et d'Hydraulique  
Filière Hydraulique

# MÉMOIRE DE MASTER

Hydraulique Urbaine

---

Présenté et soutenu par :  
**BARKAT AYOUB**

Le : jeudi 4 juillet 2019

## **Épuration des Eaux Usées par Filtre Planté et Réutilisation pour L'irrigation du Jardin Landon**

---

### **Jury :**

Dr.	Mimeche Leila	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	Seghairi Noura	MCA	Université de Biskra	Examineur
Pr.	Debabeche Mahmoud	Pr	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2018-2019

# **REMERCIEMENT**

## Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu le tout Puissant de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail, également je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de ma formation. Je tiens à remercier tous ceux et celle qui ont contribué à finaliser ce modeste travail. Mes remerciements vont à mon encadreur le Pr. Debabeche Mahmoud pour m'avoir guidé et dirigé pour la réalisation de ce travail de fin d'étude. Mes remerciements vont aussi aux enseignants : Pr. Barkat Djamel, Pr. Youcef Leila, Pr. Guergazi Saaida, Pr. Bouziane Mohamed Tawfik, Dr. Cherhabil Sonia, Dr. Mimeche Leila, Dr. Djedri Tawfik, Dr. Seghairi Noura.

Je remercie spécialement mon père Barkat Mohamed Yacine (ingénieur d'état en hydraulique général) pour son aide considérable, Farid Saadi (ingénieur d'état en hydraulique urbaine), mon oncle Charif Mahmoud (ingénieur d'état travaillé dans l'UNICAB), mon oncle Barkat Abdelhalim (Entrepreneur), mon ami Rami Soufli (Étudiant diplômé Master 2), mon ami Abdeslam Khebli (Étudiant de Master 2 en hydraulique urbain), mon ami Makhloufi Islam (étudiant en chimie industrielle, 3<sup>ème</sup> année licence), Masoudi Mourad (le directeur de SOKARA NET de Biskra), Barkat khadija (ingénieur de labo de recherche en Génie Civil et hydraulique, développement durable et Environnement de l'université de Biskra), Mezdaout Taki Edine (Étudiant de Master 2 en hydraulique urbain). Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé et assisté durant mes études.

# **DEDICASE**

## **Dédicace**

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui. Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur. Je dédie aussi ce travail à : Mes grands-parents (décédés), Mon frère, ma sœur, Mes oncles, mes tantes, Tous mes cousins et cousines, Tous mes amis, mes collègues et tous ceux qui m'estiment.

# **TABLES DES MATIERES**

## Tables des matières

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Listes des figures et tableaux.....	V
Liste des acronymes des symboles et des sigles.....	XII
Introduction générale.....	01
Chapitre 1 : Epuration des eaux usées par filtre planté de macrophytes	
1.1. Introduction .....	03
1.2. Définition de la phytoremédiation (phytoépuration) des eaux usées.....	03
1.3. L’historique de la phytoépuration des eaux usées.....	03
1.4. Les marais artificiels.....	04
1.4.1. Les composantes d’un marais artificiels.....	05
1.4.1.1. Un bassin.....	05
1.4.1.2. L’eau.....	06
1.4.1.3. Le substrat, sédiment et détritits.....	06
1.4.1.4. Les plantes.....	07
1.4.1.5. Microorganismes.....	07
1.5. Type des marais artificiels.....	08
1.5.1. Marais à écoulement sur la surface avec plantes (MESP).....	08
1.5.2. Marais à écoulement horizontal sous la surface (MEHS).....	09
1.5.3. Marais à écoulement vertical sous la surface (MEVS).....	11

1.5.4. Système hybride.....	12
1.6. Les facteurs climatiques influent sur les marais artificiels .....	14
1.7. Les étapes de traitement dans les marais filtrants.....	14
1.7.1. Prétraitement.....	14
1.7.1.1. Dégrillage .....	15
1.7.2. Le traitement primaire .....	15
1.7.2.1. Le traitement primaire.....	15
1.7.2.2. La fosse toutes-eaux.....	15
1.7.2.3. Le fonctionnement de la fosse toutes eaux.....	15
1.7.3. Traitement secondaire.....	16
1.7.3.1. Le traitement secondaire.....	16
1.7.3.2. Dimensionnement des marais artificiels.....	16
1.7.3.2.1. Dimensionnement du filtre vertical.....	16
1.7.3.2.1.1. Le temps de rétention.....	17
1.7.3.2.2. Dimensionnement des filtres horizontaux.....	17
1.7.3.2.2.1. Le temps de rétention.....	18
1.7.3.2.2.2. Evaluation de la géométrie du filtre.....	19
1.8. La technique de la mise en œuvre de la station de phytoépuration.....	20
1.8.1. Ouvrages et réseau d'alimentation.....	20
1.8.2. Alimentation gravitaire.....	20
1.8.3. Alimentation par un poste de relevage.....	20
1.8.4. Réseau d'alimentation.....	21
1.9. Le filtre à écoulement vertical.....	22



1.9.1. Étanchéité.....	22
1.9.2. Drainage.....	22
1.9.3. Ventilation.....	22
1.9.4. Filtration (substrat).....	23
1.10. Le filtre à écoulement horizontal.....	23
1.10.1. Étanchéité.....	23
1.10.2. Drainage.....	24
1.10.3. Filtration (substrat).....	24
1.11. Conclusion.....	24
Chapitre 2 : la réutilisation des eaux usées et l'irrigation des espaces verts	
2.1. Introduction.....	25
2.2. La réutilisation des eaux usées.....	25
2.3. Agriculture irriguée.....	26
2.4. Modes et systèmes d'irrigation.....	26
2.4.1. L'irrigation Gravitaire.....	27
2.4.2. L'irrigation par aspersion.....	27
2.4.3. L'irrigation localisée.....	28
2.5. Besoin en eau de culture (ET <sub>m</sub> ).....	28
2.6. L'évaporation.....	29
2.7. L'évapotranspiration.....	29
2.8. L'évapotranspiration potentielle ETP.....	29
2.9. L'évapotranspiration de référence (ET <sub>0</sub> ).....	29
2.10. L'évapotranspiration réelle.....	29

2.11. Principales méthodes d'estimation de l'évapotranspiration.....	30
2.11.1. Mesure directe.....	30
2.11.2. Mesure indirecte.....	30
2.11.2.1. Formule de Penman.....	30
2.12. Conclusion.....	32

### Chapitre3 : Calcul et dimensionnement de la station de phytoépuration

3.1. Introduction.....	33
3.2. Présentation du cas d'étude.....	33
3.2.1. Situation géographique de la ville de Biskra.....	33
3.2.2. La climatologie de la ville de Biskra.....	34
3.2.2.1. Etude des précipitations en 1/10 mm.....	35
3.2.2.2. Etude des températures.....	36
3.2.2.3. Etude d'évaporation.....	37
3.2.2.4. Etude de l'humidité relative.....	38
3.2.2.5. Etude du vent.....	38
3.2.2.6. Etude d'ensoleillement (l'insolation).....	39
3.2.2.7. Diagramme Ombrothermique.....	40
3.3. Les types des plantes de la ville de Biskra.....	40
3.4. Présentation de la région d'étude.....	42
3.4.1. L'historique du jardin Landon.....	43
3.4.2. Situation géographique du jardin Landon.....	46
3.4.3. Situation topographique du jardin Landon.....	46
3.4.4. Réseau d'assainissement alimentant le jardin Landon.....	46

3.4.5. La prise des eaux usées (le regard choisi).....	47
3.4.6. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées.....	49
3.4.7. Mesure du débit des eaux usées.....	52
3.4.8. Plantes utilisées dans les marais.....	54
3.5. Le substrat choisi.....	55
3.6. Lieu d'installation de la station de phytoépuration.....	56
3.7. Les étapes de traitement dans la station de phytoepuration.....	57
3.7.1 Prétraitement.....	57
3.7.1.1 Le dégrillage.....	57
3.7.1.2 Domaine d'emploi.....	57
3.7.1.3 Exécution.....	57
3.7.2 Traitement primaire.....	59
3.7.2.1 La fosse toutes eaux.....	59
3.7.2.2 Volume utile de la fosse.....	60
3.7.2.3 Géométrie de la fosse toutes eaux.....	60
3.7.2.4 Regard de répartition.....	60
3.7.2.5 Filtre de finition.....	61
3.7.3 Traitement secondaire.....	61
3.7.3.1 Dimensionnement des filtres.....	61
3.7.3.1.1 Choix d'un système de marais artificiel.....	61
3.7.3.1.2 Données numériques du jardin Landon.....	62
3.7.3.1.3 Détermination des caractéristiques des filtres.....	63
3.7.3.1.3.1 Dimensionnement du filtre vertical.....	63

3.7.3.1.3.1.1 Le temps de rétention.....	63
3.7.3.1.3.2 Dimensionnement des filtres horizontaux.....	63
3.7.3.1.3.2.1 Le temps de rétention.....	64
3.7.3.1.3.2.2 Evaluation de la géométrie du filtre.....	64
3.7.3.1.3.2.3 La géométrie du premier filtre horizontal.....	65
3.7.3.1.3.2.4 La géométrie du deuxième filtre horizontal.....	65
3.7.4 Les formes des filtres proposés.....	66
3.8. Le bassin d'accumulation.....	66
3.9. Proposition de réalisation d'un jet d'eau.....	67
3.10. Conclusion.....	68

Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon.

4.1. Introduction.....	69
4.2. Les types des plantes existant dans l'espace vert du jardin Landon.....	69
4.3. Le système d'irrigation actuel dans le jardin landon.....	70
4.4. Choix du système d'irrigation.....	72
4.5. Estimation de la surface des espaces verts étudiés.....	73
4.6. Calcul des besoins en eau des espaces verts du jardin landon.....	74
4.7. Calcul de l'ETP.....	74
4.8. Programme d'irrigation.....	75
4.9. Calcul du débit d'irrigation.....	75
4.10. Calcul du débit spécifique.....	76
4.11. Calcul des débits d'irrigation des parcelles pour chaque partie.....	79
4.12. La simulation par EPANET2.0 FR.....	83

4.12.1 Les rapports de la simulation.....	84
4.13. Conclusion.....	106
Conclusion générale .....	107
Liste des référence bibliographiques.....	108
Annexe.....	XIII

# RESUME

## ملخص

الهدف من عملنا هو اقتراح محطة لتنقية النبات في حديقة لاندون للسماح بإعادة استخدام المياه النقية لري الحديقة. في ضوء جودة مياه الصرف الصحي التي يتم جمعها من نظام الصرف الصحي المحيط بالحديقة والمنطقة المتاحة لإنشاء المحطة ، لقد أظهرنا بعد حسابات التحجيم المختلفة أنه من الممكن تقليل التلوث إلى للحصول على ماء قدره 30 ملغ / لتر من  $DBO_5$  والذي يمثل المعيار الوطني المقبول لإعادة استخدام المياه النقية المخصصة للري. يتم تطبيق نظام الري عن طريق الري الموضعي وهو اقتصادي للغاية مقارنة بالأنظمة الأخرى وذلك عن طريق تطبيق البرنامج EPANET2.0 FR حتى الحصول على أفضل الظروف الهيدروليكية.

## Résumé

L'objectif de notre travail est de proposer une station de phytoépuration dans le jardin de landon afin de permettre une réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation du jardin

Vue la qualité des eaux usées prélevé à partir du réseau d'assainissement avoisinant le jardin et la surface disponible pour la mise en place de la station nous avons démontré après les différents calculs de dimensionnement qu'il est possible de dégrader la pollution jusqu'à obtenir une eau de 30mg/l de  $DBO_5$  qui représente la norme nationale acceptable de la réutilisation des eaux épurées destinées pour l'irrigation.

L'application du système d'irrigation se fait par une irrigation localisée qui est très économique par rapport aux autres systèmes et cela en appliquant le logiciel EPANET2.0 FR jusqu'à obtenir les conditions hydrauliques les plus favorable.

## Abstract

The objective of our work is to propose a phytopurification station (a wastewater treatment system by plants) in landon garden to allow a reuse of the purified water in irrigation purpose of our site of study.

In view of the quality of the sewage collected from the sewer system surrounding the garden and the area available for setting up the station, we have demonstrated after the various sizing calculations that it is possible to degrade the pollution up to obtain a water of 30mg / l of  $BOD_5$  which represents the acceptable national standard for the reuse of purified water intended for irrigation.

The application of the irrigation system is done by a localized irrigation which is very economical compared to the other systems and this by applying the software EPANET2.0 FR until obtaining the most favorable hydraulic conditions.

**Les mots clés:**

Phytoépuration, réutilisation des eaux usées, jardin filtrants, macrophytes, irrigation.



# **LA LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX**

## La liste des Figures

N° Figures	Titres	Pages
Figure 1.1	Représentation schématique d'un marais filtrant à écoulement sur la surface avec plantes flottantes	9
Figure 1.2	Représentation schématique d'un marais filtrant à écoulement sur la surface avec plantes émergentes	9
Figure 1.3	Représentation schématique d'un marais à écoulement horizontal sous la surface	10
Figure 1.4	Représentation schématique d'un marais à écoulement vertical sous la surface	11
Figure 1.5	a) Système hybride de marais filtrants avec une cellule de MEVS suivi d'une cellule de MEHS b) Système hybride de marais filtrants avec 8 cellules de MEVS suivi de 2 cellules de MEHS	13
Figure 1.6	schéma représentatif de traitement dans la station de phytoépuration	14
Figure 1.7	fosse tout eaux	16
Figure 1.8	Gradient hydraulique théorique d'un filtre horizontal	20
Figure 1.9	Réseau d'alimentation aérien avec la plaque anti-affouillement (à gauche), ou enterré lors d'une bâchée (à droite)	22
Figure 1.10	Schéma présentant le principe	23

	de fonctionnement de cheminées d'aérations et photo d'une cheminée d'aération sur le filtre vertical	
Figure 2.1	schéma de différents systèmes d'irrigation	27
Figure 2.2	Courbe de coefficients culturaux et définition des phases	32
Figure 3.1	Les limites de la wilaya de Biskra	34
Figure 3.2	Histogramme de précipitation en 1/10 mm de la période (2007-2018) de la station météorologique de l'aéroport de Biskra	35
Figure 3.3	l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) dans la ville de Biskra pendant la période (2007-2018).	37
Figure 3.4	le diagramme Ombrothermique du climat de la station de l'aéroport de la ville de Biskra.	40
Figure 3.5	allée principal de l'intérieur du jardin.	42
Figure 3.6	Une photo qui montre le lac artificiel du jardin Landon.	44
Figure 3.7	Une photo qui représente la maison de l'art dans le jardin Landon.	45

Figure 3.8	Deux photos qui représentent l'esthétique du jardin Landon.	45
Figure 3.9	Les délimitations du jardin Landon de Biskra	46
Figure 3.10	les altitudes du terrain naturel avec les pentes du boulevard Gouassemi Mohamed.	47
Figure 3.11	Figure montrant le branchement à partir du regard d'amené vers le puisard.	48
Figure 3.12	Une photo qui représente le regard de prélèvement de 5 m de profondeur.	49
Figure 3.13	Une photo qui représente les deux échantillons destiné pour les analyses (à droite pour la matinée et à gauche pour l'après midi).	50
Figure 3.14	Une photo de la plante typha.	54
Figure 3.15	la plante épuratrice pontédérie (pontediria cordata)	55
Figure 3.16	la plante épuratrice Acore odorant	55
Figure 3.17	une vue aérienne du site de projet par Google Earth pro.	56
Figure 3.18	un dégrilleur de type panier dégrilleur en acier inoxydable	57
Figure 3.19	l'installation de la station de relevage (puisard)	58
Figure 3.20	fosse toutes eaux de type Imhoff	59

Figure 3.21	regard de réparation	60
Figure 3.22	filtre de finition	61
Figure 3.23	Vue en coupe d'un marais filtrant hybride avec la combinaison d'un marais sous-surfacique à flux vertical suivi d'un marais sous-surfacique à flux horizontal	62
Figure 3.24	les deux formes proposées de la station (capture d'écran obtenu à partir l'autocad 2013)	66
Figure 4.1	Photo montrant l'alimentation du jardin à partir du forage	71
Figure 4.2	Photo montrant d'une seguia étalée tout le long du jardin	71
Figure 4.3	Photo montrant l'irrigation des parcelles par submersion	72
Figure 4.4	Photo montrant la conduite alimentant les parcelles à partir de la seguia	72
Figure 4.5	le réseau de distribution de la première partie du jardin sur EPANET.	77
Figure 4.6	le réseau de distribution de la deuxième partie du jardin sur EPANET.	79
Figure 4.7	schéma de simulation de la phase remplissage de la station.	84
Figure 4.8	schéma de simulation de la phase remplissage du bassin	85

	d'accumulation	
Figure 4.9	schéma de simulation de l'irrigation du jardin (1ère partie)	87
Figure 4.10	schéma de simulation de l'irrigation du jardin (2ème partie)	96

### Liste des tableaux

N° Tableau	Titres	Pages
Tableau 1.1	Les valeurs de $\theta_R$ et de Kr	18
Tableau 1.2	La porosité et la conductivité hydraulique du substrat	19
Tableau 3.1	Précipitations moyennes mensuelles en (mm) dans la ville de Biskra durant la Période (2007 – 2018).	35
Tableau 3.2	Températures moyennes mensuelles (mm) dans la ville de Biskra durant la période (2007-2018).	36
Tableau 3.3	Valeurs des températures enregistrées à la station de l'aéroport de Biskra de la période (2007-2018).	36
Tableau 3.4	l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) dans la ville de Biskra pendant la période (2007-2018).	37
Tableau 3.5	Humidités relatives moyennes, enregistrées à la station de l'aéroport de Biskra (2007-2018).	38
Tableau 3.6	la vitesse instantanée du vent en m/s enregistrées à la station de l'aéroport de Biskra (2007-2018).	39
Tableau 3.7	les valeurs d'Insolation	39

	moyenne mensuelle en 1/10 heure.	
Tableau 3.8	Les types des plantes de la ville de Biskra.	41
Tableau 3.9	les résultats des analyses des eaux usées pendant la matinée et l'après-midi.	50
Tableau 3.10	Normes de réutilisation des eaux usées épurées.	51
Tableau 3.11	les mesures du débit moyen d'eau usée en l/s.	53
Tableau 4.1	Les types des plantes existant dans l'espace vert du jardin Landon	69
Tableau 4.2	Les surfaces de chaque parcelle dans le jardin Landon.	73
Tableau 4.3	calcul des besoins en eau d'une culture	75
Tableau 4.4	les surfaces de la première partie	76
Tableau 4.5	les surfaces de la deuxième partie	78
Tableau 4.6	calcul des débits d'irrigation de chaque parcelle pour la partie 1.	80
Tableau 4.7	calcul des débits d'irrigation de chaque parcelle pour la partie 2.	81
Tableau 4.8	Les tableaux de simulation	84



**LISTE DES ACRONYMES  
DES SYMBOLES ET DES  
SIGLES**

## Liste des acronymes des symboles et des sigles

**T**: la température

**PH** : potentiel d'hydrogène

**DBO5** : Demande biologique en oxygène après 5 jours

**DCO** : la demande chimique en oxygène

**MES** : Matières en suspension

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : Ion ammonium

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Nitrite

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrate

**SO<sub>4</sub><sup>-</sup>** : Sulfate

**MESP** : Marais à écoulement sur la surface avec plantes

**MEHS** : Marais à écoulement horizontal sous la surface

**MEVS** : Marais à écoulement vertical sous la surface

**CDBO5** : La concentration moyenne journalière en DBO5

**FTE** : La fosse toutes-eaux

**ETP** : Evapotranspiration

**ET<sub>m</sub>** : Besoin en eau de culture

**h** : La profondeur du filtre en m.

**n** : la porosité du gravier en %.

# **INTRODUCTION**

## **GENERALE**

## Introduction générale

Vue, l'accroissement considérable des besoins en eaux des populations avec le développement économique et démographique des pays. Une augmentation des rejets est relative ce qui engendre une pollution suite à des rejets ménagères, agricoles et industriels. Selon son origine, cette pollution des eaux résultante, superficielles et souterraines, peut être réduite de façon préventive ou curative et selon des procédés divers.

Si dans les zones urbaines à forte densité, les stations d'épuration classiques sont la seule solution acceptable pour remédier à cette pollution, il n'en est pas de même pour certaines zones rurales ou périurbaines où l'implantation d'autres systèmes d'épuration sera plus avantageuse.

Dans notre pays ce problème existe, étant donné que des quantités importantes d'eaux usées domestiques continuent, à ce jour, à être déversées dans la nature sans aucun traitement préalable, ce qui génère des impacts négatifs sur l'environnement et la santé des populations en contact avec ces eaux en raison des maladies hydriques qu'elles peuvent causer. On ne connaît pas encore de situation dramatique, mais il faut dès à présent prévoir des solutions adéquates pour le traitement des eaux usées par les méthodes les plus économiques, écologique moins couteuse et de simple d'entretien y compris leur bonne intégration dans le paysage (Goldminc et al. 1998).

Le processus de traitement des eaux usées naturelles est réalisé par un ensemble de réactions physico-chimiques et biologiques entreprises par des micro-organismes et des plantes sur les polluants présents dans ces eaux. Ce dernier est défini par le terme phytoremédiation (phytoépuration) ou communément appelé "jardin filtrant".

Parmi les systèmes de phytoépuration, on distingue: le système de déversement sous-superficiel 'SSFS', dans lequel le bassin est partiellement immergé dans l'eau à purifier; le système d'écoulement de surface 'SFS', dans lequel le bassin est immergé en permanence dans l'eau à purifier, et le système flottant 'FS', où les plantes sont soutenues par des structures flottantes appropriées, avec des racines libres permettant à l'eau de s'écouler être purifié. Ce système de purification de l'eau a également été utilisé pour la conception de bio-piscines (Lajo et Luther, 2007).

Le système de phyto-dépollution avec écoulement sous la surface est considéré comme le plus développé. Il est utilisé dans des bassins étanches remplis d'un matériau perméable et inerte (tel que du gravier) dans lequel les plantes sont plantées. Un écoulement horizontal ou vertical. L'action de purification est principalement réalisée par des microorganismes vivant en symbiose avec les plantes.

Ces microorganismes, sous forme aérobie ou anaérobie, ont mis en place une série de réactions chimiques et physiques permettant la dégradation des polluants (Brix et Arias, 2005). L'efficacité des microorganismes sur le processus de purification est principalement liée à l'aération et à la matière organique (Adrados, 2014 et Butterwortha, 2016).

Ce sujet vise à étudier la réutilisation des eaux usées épurées par des plantes pour l'irrigation de certains espaces verts dans la ville Biskra (Jardin Landon).

La technique présente plusieurs avantages: d'une part, épurer les eaux usées et d'autre part, assurer l'irrigation permanente des espaces verts.

# **CHAPITRE 1 : Epuration des eaux usées par filtre planté de macrophytes.**

### 1.1. Introduction :

Dès la découverte de la dépollution des eaux usées par les marais naturel, les chercheurs du monde entier sont entrainés d'améliorer et d'exploiter une nouvelle technologie pour réduire la pollution de toutes sortes, cette technologie est connue par le marais artificiel, qui est un système biologique durable.

Le concept de base de l'utilisation de cette technologie est d'offrir les conditions appropriées pour chaque composant et les rends compatibles les uns avec les autres, et Prendre en compte les facteurs qui peuvent affecter l'activité de chaque composant.

### 1.2. Définition de la phytoremédiation (phytoépuration) des eaux usées:

Est une méthode de décontamination de l'eau souillée par des polluants tels que la matière organique, les métaux lourds, les hydrocarbures et les pesticides ....

Elle est basée sur la capacité qu'ont certaines plantes à se développer en milieu contaminés, et à extraire, accumuler, stabiliser, volatiliser ou dégrader un agent polluant donné (illovic, Bonnarmme, 2012).

### 1.3. L'historique de la phytoépuration des eaux usées :

L'usage des végétaux aquatiques dans les filières de traitement des eaux provient de l'observation du rôle des zones humides naturelles dans la préservation de la qualité des milieux aquatiques. Si l'utilisation de zones humides naturelles pour le traitement des eaux usées remonte à une centaine d'années, cela s'apparentait plus à un déversement pratique, induisant une dégradation de la zone humide, qu'un système de traitement optimisé. L'amélioration des connaissances liées au fonctionnement des zones humides naturelles a permis, dans les années 1950, de s'orienter vers la création de marais artificiels (en anglais, constructed wetlands)

Pour le traitement des eaux usées. Dr Käthe Seidel, en Allemagne, fut la première à expérimenter ce type de filières dès les années 1960. Les premières réalisations ont révélé un potentiel intéressant pour l'assainissement des petites collectivités, mais nécessitaient des études plus poussées pour fiabiliser le traitement et la longévité de la filière. La difficulté, par rapport aux systèmes de traitement classiques, réside dans le fait que les marais artificiels sont des écosystèmes complexes qu'il n'est pas possible d'étudier par le biais d'une seule discipline.

L'hydraulique, la chimie, la microbiologie, la physiologie végétale, sont autant de domaines scientifiques qu'il convient d'étudier pour comprendre les mécanismes et équilibres qui gèrent ces systèmes.

En France, l'expérience a démarré en 1978 par une évaluation du Cemagref (ancienne appellation d'Irstea) d'un système réalisé par Dr Seidel pour un site d'accueil d'enfants composé de cinq étages de traitement en série (association de filtres à écoulement vertical et horizontal). Alimenté en eaux usées brutes, ce système, bien qu'amélioré dans une seconde phase, nécessitait d'être optimisé pour être réellement compétitif. Néanmoins, l'intérêt de la filière était certain et fut amélioré lors des expériences suivantes : Pont Rémy (qui a vu l'arrivée du siphon, 1985), puis Gensac la Pallue (1987), dimensionnée par le Cemagref, proche des bases de dimensionnement du premier étage de la filière classique actuelle, ont servi de base de lancement d'une recherche encore en évolution.

Depuis les premières réalisations jusqu'au début des années 2000, la filière a été évaluée principalement par des bilans journaliers à chaque étape de traitement. Si cette méthode considère le filtre comme une boîte noire et ne donne pas accès à la quantification des mécanismes impliqués au sein du système, elle a permis néanmoins d'apporter des éléments de performances et de limites et, par conséquent, de poser des premières règles de dimensionnement. Ces premières règles fixent en 1987 (Boutin, 1987) une surface à 2,5 m<sup>2</sup>/EH (équivalent-habitant : unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration qui se base sur la quantité de pollution émise par personne et par jour (60 g DBO<sub>5</sub> par jour). Pendant près de quinze ans, Irstea, avec le support des SATESE (Service d'assistance technique à l'exploitation des stations d'épuration.), a réalisé et analysé ce type de données de manière à multiplier les cas de figure (types de réseau, conception des filtres, conditions climatiques...). En 2004 (Molle, 2012).

### **1.4. Les marais artificiels :**

Parmi les techniques d'épuration des eaux usées par les plantes qui n'est autre que la phytoépuration qui peut être pratiqué dans les lagunes, les marécages ou marais construits, les phytofiltres, la technique des zones humides, les lits filtrants...etc.

Les marais artificiels sont des systèmes composées de substrat saturé, de végétation émergente et submergée, de vie animale et d'eau qui simulent des zones humides naturelles Pour les activités et le bénéfice des êtres humains (Hammer et Bastian, 1989).



Il est à noter que les marais artificiels sont des prototypes des marais naturels et du système écologique à savoir le traitement physique, chimique et biologique dans l'élimination des polluants provenant des eaux usées traversant les marais.

D'apparence simple, le fonctionnement des lits filtrants plantés de macrophytes fait intervenir des réactions épuratoires pouvant être complexes. Mais le principe de base reste l'infiltration d'un effluent brut à travers des lits composés d'un mélange sable-gravier ou de sol en place, plantés de macrophytes (le plus souvent, des roseaux communs). Le matériau du lit et la partie racinaire des plantes servent de support à une biomasse épuratrice. On peut ainsi considérer ces stations comme des marais artificiels (POULET et al, 2004).

Les marais artificiels visent généralement à surpasser les inconvénients des marais naturels par un traitement éco toxicologique (SITI KAMARIAH BINTI MD SA'AT, 2006).

Les marais artificiels sont devenus au fil des années une option nouvelle pour le traitement des eaux usées comme une solution de rechange aux méthodes traditionnelles.

Cette technique a connu une forte augmentation dans le monde entier due à leur efficacité d'élimination des polluants élevés, leur fonctionnement et leur maintenance faciles, leurs faibles besoins énergétiques, leurs taux élevés de recyclage de l'eau et leur potentiel d'apport Habitat de la faune.

### **1.4.1. Les composantes d'un marais artificiel :**

Un marais artificiel est composé essentiellement par un bassin contenant de l'eau et un substrat, sédiment et détritus et souvent des plantes vasculaires.

En plus on y trouve d'autres composantes importantes des marais, tel que les communautés microbiennes et les invertébrés se développeront naturellement :

#### **1.4.1.1. Un bassin :**

En utilisant la topographie du terrain ainsi que divers opération de classement .qu'on peut construire une zone humide et cela en respectant l'imperméabilité du sol afin d'empêcher les

effluents collecter dans le bassin de s'infiltrer. Enfin, l'emplacement et le dimensionnement du bassin devraient être relatifs à la topographie de la terre et de la zone de drainage.

### **1.4.1.2. L'eau :**

Lorsque l'eau se dirige vers une dépression profonde dans laquelle une couche imperméable qui empêche l'eau de s'infiltrer dans le sol, D'où les marais se forment.

L'hydrologie est le facteur le plus important dans la conception d'un marais construit car il lie tous les fonctions dans le marais et il est souvent le facteur primaire du Succès ou l'échec d'un marais construit (DUPOLDT et al, 1995).

### **1.4.1.3. Le substrat, sédiment et détritit :**

Pour la construction d'un marais artificiel, les substrats qu'on utilise est formé essentiellement de sol, sable, gravier, les roches et la matière organique compostable (sont définies comme étant des matières biodégradables par les microorganismes) (société québécoise de phyto technologie, 2014).

Suite à des vitesses basses d'eau usée qui traverse le filtre des sédiments et des détritit s'accumulent.

Les substrats, les sédiments, et le détritit sont importants pour plusieurs raisons :

- ils comprennent beaucoup d'organismes vivant dans le marais
- le mouvement d'eau à travers les marais est influencé par la perméabilité du substrat
- des transformations biologiques et spécialement microbiennes se produisent au niveau du substrat
- Les substrats fournissent un stockage pour plusieurs contaminants
- suite à l'accumulation des détritit ce qui augmente la quantité de la matière organique dans le marais, cette dernière favorise des sites pour l'échange de matériaux et l'attachement microbien c'est une source de carbone.

Les caractéristiques physiques et chimiques des sols et autres substrats sont altérés quand ils sont submergés. Dans un substrat saturé, l'eau remplace les gaz atmosphériques dans les espaces des pores et le métabolisme microbien consomme l'oxygène disponible. Dès que l'oxygène est consommé il peut être remplacé plus rapidement par diffusion à partir de l'atmosphère, les substrats deviennent anoxique (sans oxygène). Ce milieu réducteur est important dans le prélèvement des polluants tels que l'azote et les métaux (DUPOLDT et al, 1995).

### 1.4.1.4. Les plantes:

Les plantes vasculaires (les plantes supérieures) et les plantes non vasculaires (algues) jouent un rôle important dans les zones humides construites. La photosynthèse par les algues augmente la teneur en oxygène dissous de l'eau qui à son tour affecte les nutriments et les métaux.

Les plantes non vasculaires telles que les algues sont les derniers composants principaux à considérer. En plus d'être esthétiquement agréable, la vie végétale dans une zone humide construite comporte de nombreuses fonctions :

- Les plantes vasculaires empêchent l'érosion en ancrant le substrat et en minimisant le débit de canal
- Les plantes vasculaires réduisent la vitesse d'écoulement, Qui à son tour permet aux matières en suspension / nutriments de se stabiliser (se poser)
- Le cycle de vie des plantes se termine par la mort qui crée de la matière organique et de la litière, donc Poursuivre le cycle de vie dans la zone humide
- Plantes carbone d'absorption, de nutriments et d'éléments traces et de les incorporer dans leur Tissus.
- La vie végétale effectue des échanges de gaz entre l'atmosphère et les sédiments.

Le choix des végétaux à implanter comporte cinq critères importants :

- adaptation aux conditions climatiques locales
- durée du cycle de végétation
- vitesse de croissance
- Facilité d'exportation de la biomasse produite et efficacité d'épuration.

Plusieurs types des plantes qui sont utilisé dans ce processus : phragmites (roseaux), typha, jonc, massette, Bambous ....etc. (Torczon ; Davis ,1995).

### 1.4.1.5. Microorganismes:

Plusieurs variétés de microorganismes vivent dans les marais. Ceux-ci renferme généralement des bactéries, des algues, des mycètes, des protozoaires, des zooplanctons, des virus et des nématodes (Keith et al ,2003 ; Vymazal, 2008).

Du fait que les bactéries sont impliquées dans le processus épuratoire, elles sont le genre des microorganismes les plus étudiés

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique.

Ce sont eux qui assurent les différents processus d'oxydation et de réduction .ils génèrent grâce à la dégradation de la matière organique l'énergie nécessaire à la biosynthèse .ils minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes .ils assurent également les réactions de nitrification/dénitrification

Lorsqu' il est possible de maintenir des conditions séquentielles aérobies et anaérobies, les bactéries nitrifiantes vont transformer l'azote ammoniacal en nitrites et nitrates dans les zones aérées et les bactéries dénitrifiantes vont permettre la transformation des nitrates et nitrites en azote gazeux dans les zones anaérobies (Lienard ,1991).

Les microorganismes créent, de plus, des floccs biologiques qui facilitent la sédimentation des particules et ont donc un rôle non négligeable à jouer sur l'enlèvement de MES, principalement dans les systèmes à l'écoulement en surface.

### **1.5. Type des marais artificiels:**

On peut classer les marais filtrants selon le type d'écoulement et selon que l'eau soit libre ou sous la surface du substrat.

#### **1.5.1. Marais à écoulement sur la surface avec plantes (MESP) :**

Ce type de marais comprend un bassin d'eau libre peu profond où les eaux usées cheminent à travers les plantes émergentes et les plantes flottantes (Gagnon et al, 2013).

Sous le bassin, on retrouve une couche imperméable qui permet d'éviter l'infiltration d'eau dans le sol. Au-dessus, on retrouve une couche de sol servant de milieu pour l'enracinement des plantes (Vymazal, 2007).

L'écoulement se fait horizontalement de l'entrée vers la sortie du bassin par gravitation. Le design du marais doit donc inclure une pente de 1 à 3 % entre le début et la fin du système (Department of the environment, heritage and local government, 2010).

On retrouve un milieu en aérobie dans la mince couche d'eau qui demeure en contact avec l'air et dans la rhizosphère .Tout le reste du marais est un milieu anaérobie.

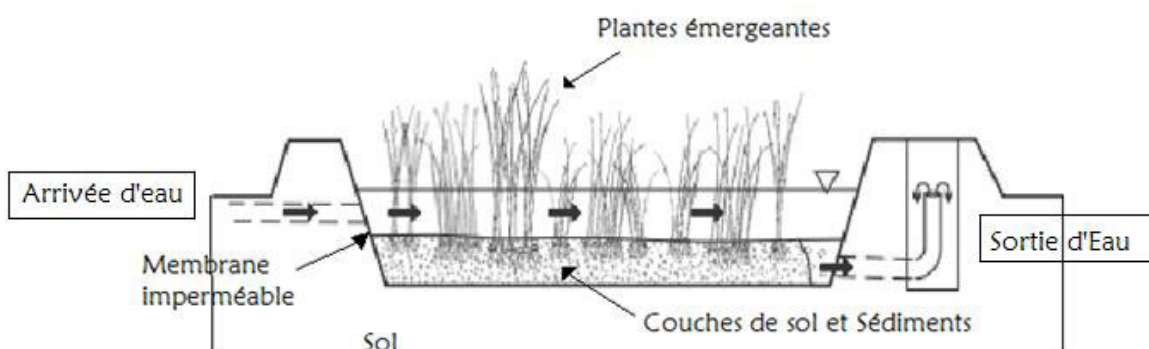
Le principal avantage du MESP est son faible coût d'installation et d'opération (Gagnon et Brisson, s.d.).

Par contre, pour avoir un même niveau d'efficacité et pouvoir traiter un même volume d'eau que les autres types de marais, il doit occuper une plus grande superficie. Il est peu approprié pour les climats nordiques où la température descend sous 0 °C, puisqu'une couche de glace se forme et le marais perd toute son efficacité (Gagnon et al, 2013).

De plus, les végétaux meurent, causant une augmentation de la vitesse d'écoulement de l'eau à travers le marais et une diminution du temps de rétention. Le métabolisme des bactéries responsables du traitement est ralenti, rendant le traitement de l'eau inefficace. Si le MESP est soumis à des charges organiques élevées, il devient plus propice à la prolifération d'insectes et au dégagement d'odeurs nauséabondes.



**Figure 1.1 :** Représentation schématique d'un marais filtrant à écoulement sur la surface avec plantes flottantes (Gagnon et al, 2013).



**Figure 1.2:** Représentation schématique d'un marais filtrant à écoulement sur la surface avec plantes émergentes

### 1.5.2. Marais à écoulement horizontal sous la surface (MEHS) :

Ce type de marais consiste en un bassin imperméable contenant un substrat poreux où sont enracinées des plantes émergentes (Gagnon et al, 2013; Stottmeister et al, 2003).

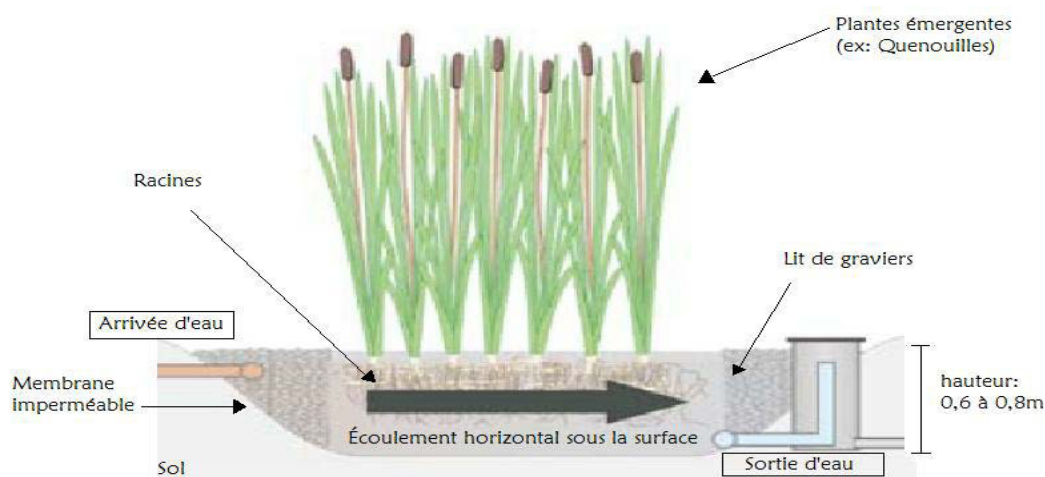
Sous le bassin, on retrouve une couche imperméable qui permet d'éviter l'infiltration d'eau dans le sol. Au-dessus, on retrouve 2 couches distinctes : une couche de graviers d'une épaisseur de 0,6 à 0,8 m et une couche de sable d'une épaisseur variable (Vymazal, 2007).

Des plantes sont transplantées dans le milieu graveleux pour permettre l'établissement des racines. Les effluents arrivant dans le marais ruissellent horizontalement à travers le gravier et les racines des plantes.

Ce marais est majoritairement constitué d'un milieu anaérobie, facilitant l'élimination de l'azote par les bactéries dénitrifiantes (Gagnon et al, 2013).

Le niveau d'eau doit être régulé pour demeurer stable sous le substrat de graviers en tout temps. Sinon des problèmes de débordements d'eau non traitée causent un court-circuitage et l'eau est rejetée sans traitement. De tels problèmes ont déjà été observés en Europe et cela inhibait la dénitrification. Par conséquent, on retrouvait de grandes concentrations d'azote ammoniacal à la sortie du marais.

Afin de limiter le colmatage du marais par les MES, il doit y avoir un prétraitement qui leur permet de sédimenter. En absence de prétraitement, le marais devient rapidement saturé et perd beaucoup en efficacité. C'est pourquoi il est souvent utilisé en association avec d'autres types de marais filtrants dans un système hybride, ou à un bassin de sédimentation, ou à une structure permettant de réguler le débit des effluents (Gagnon et al, 2013).



**Figure 1.3:** Représentation schématique d'un marais à écoulement horizontal sous la surface (Gagnon et al, 2013).

Le MEHS possède plusieurs avantages comparativement au marais à écoulement sur la surface avec plantes. Il résiste mieux aux températures froides et au gel, car l'effluent passe sous la

surface du marais et est ainsi protégé contre les basses températures de l'air ambiant (Gagnon et al, 2013; Wallace et al, 2001).

Pour une superficie donnée, il est plus efficace pour le traitement des effluents que les autres types de marais.

Le gravier fournit une plus grande superficie d'adsorption pour les nutriments et les MES. Par contre, l'achat, l'installation, la maintenance et la réparation d'une telle structure sont beaucoup plus coûteux.

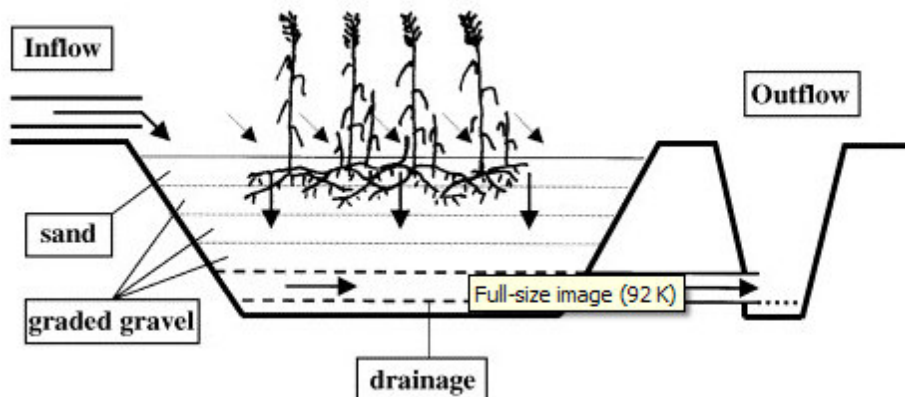
### 1.5.3. Marais à écoulement vertical sous la surface (MEVS) :

Ce type de marais consiste en un bassin imperméable constitué de plusieurs couches différentes. On retrouve une couche de sable sur le dessus et plusieurs couches de gravier en dessous, dont le diamètre augmente avec la profondeur des couches (Vymazal, 2007; Gagnon et al, 2013).

Ainsi, le diamètre du gravier est de 6 mm dans la couche en dessous du sable alors qu'il peut aller jusqu'à 30-60 mm pour celle se retrouvant au fond du marais (Dunne et autres, 2004).

Finalement, on retrouve une couche de membrane imperméable qui permet la rétention des couches de sol et de l'eau qui sera amenée dans le marais. On retrouve aussi des macrophytes plantées dans les couches de graviers (Dunne et al, 2004; Gagnon et al, 2013).

L'eau parvient au marais par un tuyau qui recueille l'eau de ruissellement et la disperse à la surface du marais. L'eau percole à travers les différents matériaux et les racines jusqu'à un réseau de drainage situé dans au fond du marais. L'eau est évacuée du marais par gravitation ou à l'aide d'une pompe par ce réseau de drainage.



**Figure 1.4 :** Représentation schématique d'un marais à écoulement vertical sous la surface (Vymazal, 2007).

Les résultats du traitement de l'eau après l'installation de ce type de marais sont mitigés. Contrairement au MEHS, ce type de marais est alimenté par l'eau de ruissellement de façon intermittente. Dès qu'il y a une pluie, il se remplit d'eau. Il n'est donc pas saturé en eau en tout temps, ce qui permet de garder le milieu oxygéné (Gagnon et al, 2013).

Le milieu aérobie permet de stimuler le métabolisme des microorganismes et le processus de nitrification (transformation de l'ammoniac et les ions ammonium en nitrate. À la suite du traitement par un MEVS, on retrouve moins de matières en suspension et de matières organiques, mais un surplus de nitrates dans l'eau (Vymazal, 2007; Dunne et al, 2004; Gagnon et al, 2013).

Le MEVS est donc souvent utilisé comme première étape dans un système hybride de traitement des eaux usées également composé de MEHS (Dunne et al, 2004).

Le MEHS permet de compléter le traitement et de transformer les nitrates en azote gazeux. Le MEVS ne retient que faiblement le phosphore et la rétention dépend du nombre de sites potentiels d'adsorption, surtout présents dans les couches d'argile. Or, ces marais possèdent très peu de particules d'argiles, donc la rétention du phosphore est très limitée.

Le MEVS ne nécessite qu'une faible superficie pour le niveau souhaité d'épuration de MES comparativement au MEHS (Dunne et al, 2004; Gagnon et al, 2013).

Les coûts de maintenance et d'achat sont supérieurs notamment à cause de la tuyauterie et des pompes qui peuvent être nécessaires pour le rejet des effluents (Dunne et al, 2004).

### **1.5.4. Système hybride :**

Il existe plusieurs types de systèmes hybrides dans la littérature, mais la plupart font mention de l'utilisation de marais à écoulement vertical sous la surface suivis de marais à écoulement horizontal sous la surface (Seo et al, 2008).

Il peut y avoir plusieurs bassins pour chacun des types de marais comme c'est le cas à la figure.

La combinaison de plusieurs types de marais permet de tirer avantage des forces de chacun et de minimiser les faiblesses. Par exemple, avec un traitement un MEVS, on retrouve des effluents avec beaucoup de nitrates, car le processus de nitrification (ammoniac → nitrates) est dominant (milieu aérobie).

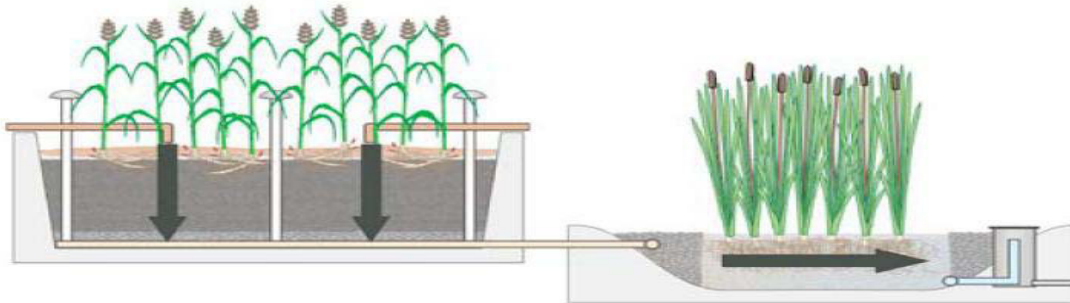
Ces effluents qui contiennent beaucoup de nitrates pourront alors être traités par le MEHS, qui transformera les nitrates en azote gazeux (Gagnon et al, 2013; Seo et al, 2008).



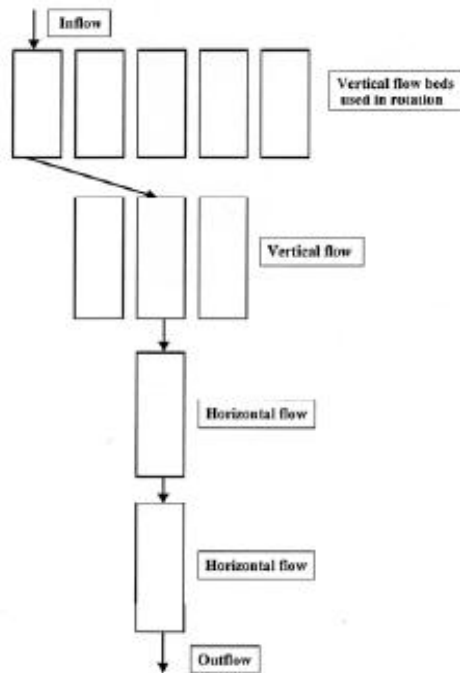
Les résultats sont meilleurs pour tous les paramètres physicochimiques importants avec un système hybride (DBO5, taux de MES, concentrations de phosphore total et d'azote total) (Dunne et al, 2004).

Par contre, les effluents doivent demeurer un jour ou deux dans les MEVS avant d'entrer dans les MEHS pour permettre la complétion de la nitrification et un meilleur rendement (Dunne et al, 2004).

a)-



b)-



**Figure 1.5 : a)** Système hybride de marais filtrants avec une cellule de MEVS suivi d'une cellule de MEHS (Gagnon et al)

**b)** Système hybride de marais filtrants avec 8 cellules de MEVS suivi de 2 cellules de MEHS (Vymazal, 2004)

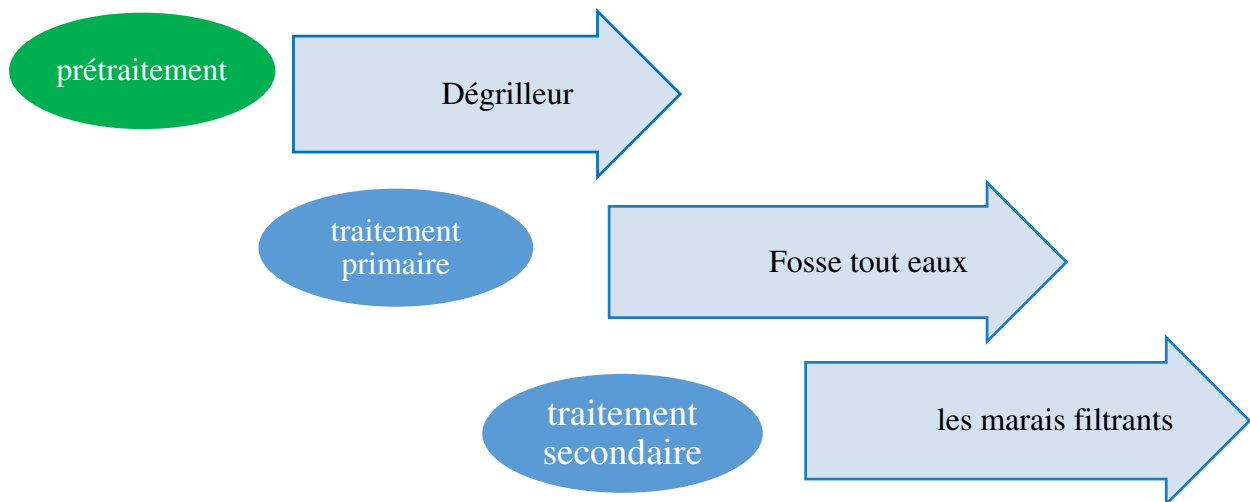
### 1.6. Les facteurs climatiques influent sur les marais artificiels :

Du moment que les marais artificiels sont peu profond et ouvert à l'atmosphère, ils sont fortement influencé par la pluviométrie et la température(Davis).

- La pluviométrie : ce facteur ayant un taux élevé, il peut diminuer l'efficacité des marais artificiels et cela en augmentant la vitesse d'écoulement de l'effluent ce qui causera une diminution du temps de séjours, ce qui engendra une diminution l'efficacité du système de traitement.
- La température : L'élévation de la température accroît l'activité des microorganismes dégradeurs, de plus la solubilité de l'oxygène dans l'eau sera fortement diminuée et sa consommation par les bactéries est accrue. Une faible température abaisse fortement l'activité de certains micro-organismes (Poulet et al, 2004 ; Davis, 1995).

### 1.7. Les étapes de traitement dans les marais filtrants :

L'ensemble des étapes de traitement dans la station de phytoépuration est présenté par le schéma suivant :



**Figure 1.6 :** schéma représentatif de traitement dans la station de phytoépuration

#### 1.7.1. Prétraitement :

Cette étape comporte toutes les opérations destinées à alléger les eaux usées des éléments solides et les particules les plus grossières qui peuvent gêner le déroulement de traitements ultérieurs, sachant que cette étape peut aussi réduire la DBO entre 25% et 40% (Imhoff et al. 2007).

Le choix du dégrilleur dépend du domaine d'application.

**1.7.1.1. Dégrillage :** a pour un objet d'éliminer des matières volumineuses des eaux, afin d'éviter les risques de colmatage.

Techniquement il existe de nombreuses types de grilles existant, dont les grilles :

- à barreaux droites, a nettoyage manuel, inclinés a 60-80 ° sur l'horizontale.
- à barreaux droites, a nettoyage automatique, par râteau ou brosses, montés sur câble, crémaillère ou chaîne sans fin.
- à grilles courbes, a nettoyage par peigne, dont la surface utile est plus importante pour une même section mouillée du canal d'alimentation (Thomazeau ,1981)

**1.7.2. Le traitement primaire :**

**1.7.2.1. Le traitement primaire :** consiste à une décantation primaire qui permet d'éliminer la majeure partie de MES, l'efficacité dépend du temps de séjours et la vitesse ascensionnelle (Belaid ,2013)

Dans cette étape, il est recommandé d'utiliser une fosse septique toutes eaux dans le cadre de traitement préliminaire.

**1.7.2.2. La fosse toutes-eaux :**

Fosse septique demeure un dispositif de prétraitement des eaux usées. Seulement, elle est désormais appelée fosse toutes eaux (FTE) puisque c'est une version améliorée de son prédécesseur.

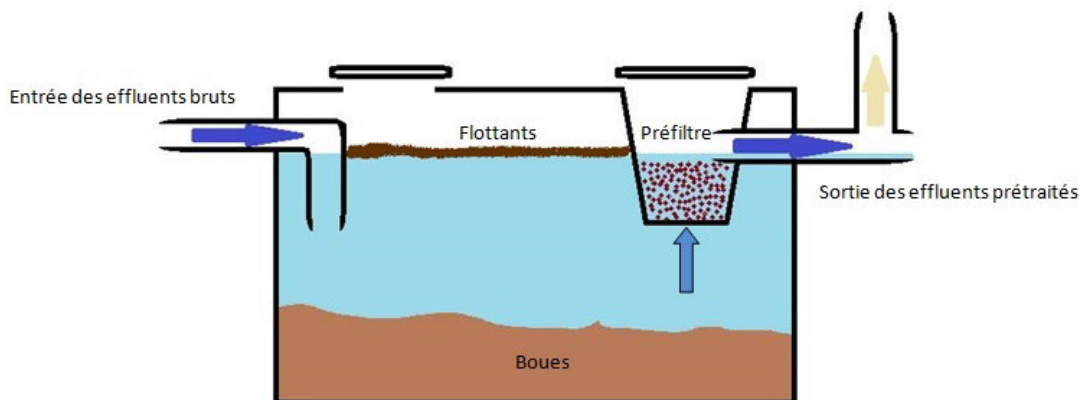
Contrairement à l'ancienne filière qui ne traite que les eaux des toilettes, la FTE peut collecter et prétraiter l'ensemble des eaux usées domestiques, incluant les eaux ménagères et les eaux-vannes.

**1.7.2.3. Le fonctionnement de la fosse toutes eaux :**

L'étape de prétraitement des effluents domestiques se fait en trois étapes :

- La collecte des eaux : Dans cette première phase, le dispositif va collecter les effluents, mais aussi retenir leurs matières polluantes,

- La liquéfaction : Il s'agit de liquéfier les éléments solides, ce qui implique une accumulation des graisses et des boues. Le but est d'optimiser le traitement ultérieur des eaux dans la filière de traitement précédente ;
- La rétention : Lors de cette phase, les matières solides ou boues de décantation se déposent au fond, tandis que les graisses flottent aux dessus de la cuve. Les eaux prétraitées peuvent alors être envoyées dans le dispositif de traitement (Green tech journal).



**Figure 1.7 :** fosse tout eaux (la communauté de commune , nièvre & somme).

### 1.7.3. Traitement secondaire :

**1.7.3.1. Le traitement secondaire :** Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées préliminaires .Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées. La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène) (FAO, 2003 ; Desjardins, 1997 ; Degremont, 1972).

### 1.7.3.2. Dimensionnement des marais artificiels :

#### 1.7.3.2.1. Dimensionnement du filtre vertical :

Pour le calcul du dimensionnement des bassins verticaux, il est nécessaire de calculer ce qui suit :

- la demande en oxygène sur la base de 1Kg d'O<sub>2</sub> par Kg de DBO<sub>2</sub> à éliminer, et de 4,3 kg d'O<sub>2</sub> par Kg de NH<sub>3</sub> à oxyder (Bulc, 2006)). Sachant que le coefficient d'aération

superficielle de  $Ka=30$  grammes d'O<sub>2</sub> par m<sup>2</sup> de surface par jour (Eric, 1999), et la hauteur du lit qui varie entre (0.45m à 1.20m) (Alexandros et al, 2014).

Il est recommandé d'utiliser une profondeur de substrat de 70 cm, qui permet une nitrification adéquate en plus de l'élimination des polluants organiques (UN-HABITAT, 2008).

La superficie obtenue est augmentée de 25% :

$$S_v = \frac{DO}{Ka} \times 1.25 \quad (1)$$

Tel que : DO : demande en oxygène en Kg/J

$$DO(kg / j) = C_{DBO5} (Kg / m^3) \times Q_{moy} \quad (2)$$

$Q_{moy}$  = le débit moyen journalier en m<sup>3</sup>/j.

$C_{DBO5}$  = le taux d'oxygène éliminé par le filtre vertical en Kg/m<sup>3</sup>

### 1.7.3.2.1.1. Le temps de rétention :

Le temps de rétention des eaux usées dans le filtre vertical sera calculé par la formule suivante :

$$T_v = \frac{S_v \times h \times n}{Q_{max}} \quad (3)$$

$S_v$  : la surface du filtre vertical en m<sup>2</sup>.

$h$  : La profondeur du filtre en m.

$n$  : la porosité du gravier en %.

$Q_{max}$  : le débit maximal en m<sup>3</sup>/j.

### 1.7.3.2.2. Dimensionnement des filtres horizontaux :

Il existe plusieurs méthode proposé pour le dimensionnement, parmi lequel on site : la méthode de Kadlec et Knight (1996), la méthode de l'USEPA (1999) et la méthode de Reed et al. (1995).

Dans notre cas d'étude, On a opté pour la méthode de Reed et al. (1995), qui consiste a déterminé la surface du filtre horizontal, cette méthode est crédible car elle prend en considération la

concentration des polluants et la température de l'eau comme des facteurs principaux qui influent sur le dimensionnement de ce type de filtre. La surface est déterminée par la formule suivante :

$$A_f = \frac{Q_{moy} \times [\ln(C_{DBO5e}) - \ln(C_{DBO5s})]}{h \times n \times K_T} \quad (4)$$

$C_{DBO5e}$  : La concentration moyenne journalière en DBO5 à l'entrée en (mg/l).

$C_{DBO5s}$  : La concentration moyenne journalière en DBO5 souhaitée à la sortie (mg/l).

$h$  : La profondeur du filtre en m.

$K_T$  : Constante cinétique à la température  $T_w$  en Jours-1; est déterminée par la relation suivante :

$$K_T = K_R \times \theta_R^{T_w - T_R} \quad (5)$$

Les valeurs de  $\theta_R$  et de  $K_R$  sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 1.1** : Les valeurs de  $\theta_R$  et de  $K_R$ .

GUIDE	$K_{20}$	$\theta_R$
WPCF (1990)	0,806	1,06
EPA (1993)	1,104	1,06

**1.7.3.2.2.1. Le temps de rétention :**

Le temps de rétention des eaux usées dans le filtre vertical sera calculé par la formule suivante :

$$Th = \frac{Sh \times h \times n}{Q_{max}} \quad (6)$$

$Sh$  : la surface du filtre vertical en  $m^2$ .

$h$  : La profondeur du filtre en m.

n : la porosité du gravier en %.

Q<sub>max</sub> : le débit maximal en m<sup>3</sup>/j.

**1.7.3.2.2. Evaluation de la géométrie du filtre :**

La géométrie du lit est dérivée de la loi de Darcy qui devra permettre un écoulement sous surfacique à travers le gravier dans des conditions d'écoulement moyennes. L'application de la formule repose sur deux facteurs importants:

- gradient hydraulique peut être utilisé à la place de la pente.
- la conductivité hydraulique.

L'équation est la suivante:

$$Ac = Q_s / K_s (dH/dL) \quad (7)$$

Ac = Section transversale du lit (m<sup>2</sup>).

Q<sub>s</sub> = débit moyen (m<sup>3</sup> / s).

K<sub>s</sub> = conductivité hydraulique du matériau saturé (m/j)

dH / dL = pente du fond du lit (m / m).

Pour un filtre à gravier (K élevé), le rapport L/l sera élevé et les filtres seront longs et étroits.

Tandis que pour un filtre à sable (K faible), les filtres seront larges et courts.

Selon l'EPA le rapport L/l doit varier en respectant l'intervalle 0,5 à 3.

La perméabilité est liée à la granulométrie du matériau utilisé et du colmatage progressif du massif, sachant que celui-ci est modéré par l'effet des rhizomes et des racines.

**Tableau 1.2 :** La porosité et la conductivité hydraulique du substrat (APAT, 2005).

type	dimension des grains (mm)	porosité (%)	conductivité hydraulique (KS) m/j
Sable	1-2	30-32	420-480
Gravier	8-16	35-38	500-800
Pierre	32-128	40-45	1200-1500

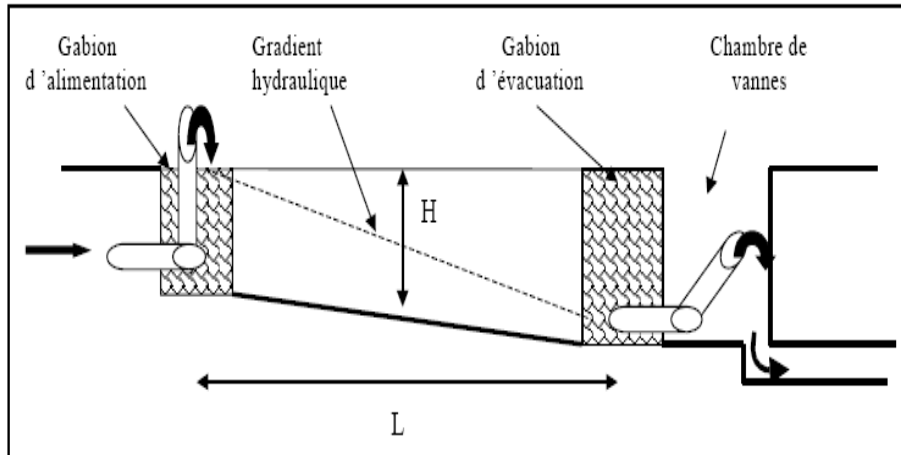


Figure 1.8 : Gradient hydraulique théorique d'un filtre horizontal

### 1.8. La technique de la mise en œuvre de la station de phytoépuration :

#### 1.8.1. Ouvrages et réseau d'alimentation :

Afin d'assurer une bonne ré-oxygénation du massif filtrant et une bonne répartition des eaux brutes, l'alimentation des filtres se fait avec un débit bien supérieur au débit entrant dans la station. Cette alimentation par bâchées se fait depuis un ouvrage qui stocke les effluents le temps que le volume d'une bâchée soit constitué, puis qui l'exporte rapidement avec un débit important vers le filtre en fonctionnement via le réseau d'alimentation (LATUNE et Molle, 2017).

#### 1.8.2. Alimentation gravitaire :

Trois types de dispositifs existent : les siphons auto-amorçant, les chasses à clapet et les chasses pendulaires. Les chasses à clapet sont toutefois à proscrire pour les eaux usées brutes (mais peuvent être utilisées pour un second étage).

Le dispositif choisi est mis en place dans une bache de stockage des eaux correspondant au volume recherché. La capacité est déterminée par le débit instantané que le dispositif peut délivrer et qui est calculé en prenant en compte les pertes de charge dans le réseau d'alimentation en aval. La vidange de la bache doit être complète pour éviter l'accumulation des dépôts en fond d'ouvrage (LATUNE et Molle, 2017).

#### 1.8.3. Alimentation par un poste de relevage :

Quand la topographie ou la présence d'une boucle de recirculation l'impose, l'alimentation des filtres se fait par un poste de relevage.



Ce dernier est équipé de deux pompes qui fonctionnent en alternance. En cas de panne de l'une, l'alternance des filtres doit pouvoir être maintenue par le biais d'un jeu de vannes.

Les pompes sont généralement déclenchées par des poires de niveaux. Le diamètre minimal des canalisations et des pompes est DN80. Le volume mort perdu dans les canalisations, qui revient au poste après chaque bâchée, doit être pris en compte dans le réglage des niveaux de déclenchement afin d'envoyer le bon volume sur le filtre en fonctionnement.

La pose de clapets anti-retour est envisageable, l'inconvénient étant que les effluents peuvent séjourner longtemps dans les canalisations lors de l'alternance.

Des compteurs horaires sont intéressants à installer sur les pompes et permettent après tarage des pompes une évaluation assez précise des volumes pompés (LATUNE et Molle, 2017).

### **1.8.4. Réseau d'alimentation :**

Pour optimiser la répartition des effluents à la surface du filtre alimenté, le nombre de points d'alimentation est déterminé de manière à avoir au minimum un point pour 50 m<sup>2</sup> de filtre. Pour des raisons de géométrie, ils sont généralement par paire, voire multiples de 4. Une plaque anti-affouillement est placée sur le filtre à l'aplomb de chaque point d'alimentation de manière à casser le flux d'eaux usées et protéger le massif.

En fonction du type d'ouvrage qui délivre les bâchées, les réseaux d'alimentation sont différents. Dans le cas d'une alimentation en gravitaire, le réseau est aérien. Il est entièrement inspectable et démontable. Il doit être réalisé en PEHD, voire en inox, de manière à résister aux UV.

Si l'alimentation se fait via un poste de relevage, le réseau peut être enterré. Seule la partie terminale est à protéger du soleil, le reste peut être en PVC. Le réseau prend généralement la forme d'un double H. Les canalisations ont un diamètre décroissant, DN100 minimum.

Le réseau est conçu pour se vider entièrement à chaque bâchée, évitant ainsi la stagnation, l'accumulation de matières, le développement d'odeurs ou le risque de colmatage. Les eaux usées brutes doivent circuler en tout point du réseau avec un débit supérieur à 0,6 m/s (vitesse d'auto curage) (LATUNE et Molle, 2017).



**Figure 1.9 :** Réseau d'alimentation aérien avec la plaque anti-affouillement (à gauche), ou enterré lors d'une bâchée (à droite) (Lombard et Molle, 2017).

### **1.9. Le filtre à écoulement vertical :**

Selon (Guide de l'utilisateur : Dispositif de traitement des eaux usées domestiques Phytostation Recycl'eau®6 EH, 2014)

#### **1.9.1. Étanchéité :**

L'étanchéité du filtre est assurée par une membrane souple en EPDM d'une épaisseur de 1,14 mm. La membrane souple en EPDM est protégée en sous-face par un géotextile anti-poinçonnant de 270 g/m<sup>2</sup> minimum assurant la protection contre la perforation de pierres ou de racines venant de l'extérieur.

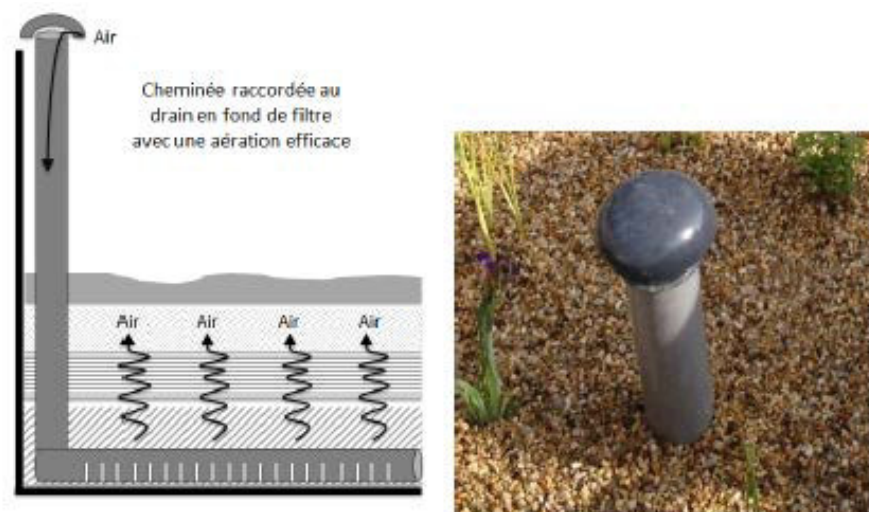
La traversée de paroi permet l'étanchéité du raccordement entre l'intérieur et l'extérieur du filtre.

#### **1.9.2. Drainage :**

Le drainage des eaux est assuré par un tuyau de collecte (Tuyau perforé PVC, DN 100 NF) posé au fond du lit. Le tuyau de collecte est perforé et posé avec les fentes vers le bas. Les eaux sont ainsi collectées dans ce tuyau puis dirigées vers le filtre horizontal.

#### **1.9.3. Ventilation :**

Deux cheminées d'aération sont posées verticalement dans le substrat en reliant le tuyau de collecte au fond du lit à la surface. Ils permettent d'aérer le fond du substrat.



**Figure 1.10:** Schéma présentant le principe de fonctionnement de cheminées d'aérations et photo d'une cheminée d'aération sur le filtre vertical.

### 1.9.4. Filtration (substrat) :

Le lit du filtre vertical est terrassé en pente droite. La profondeur du lit est de 1 m dont 0,7 m de substrat et 0,3 m de revanche. La filtration est assurée par 0,7 m d'épaisseur de substrat, qui se compose de trois types de matériaux:

- 40 cm de graviers de 4/10 mm,
- 15 cm de graviers de 16/22 mm,
- 15 cm de graviers de 20/31,5 mm.

### 1.10. Le filtre à écoulement horizontal :

Selon (Guide de l'utilisateur : Dispositif de traitement des eaux usées domestiques Phytostation Recycl'eau®6 EH, 2014)

#### 1.10.1. Étanchéité :

L'étanchéité du filtre est assurée par une membrane souple en EPDM d'une épaisseur de 1,14 mm. La membrane souple en EPDM est protégée en sous-face par un géotextile anti-poinçonnant de 270g/m<sup>2</sup> minimum assurant la protection contre la perforation de pierres ou de racines venant de l'extérieur.

La traversée de paroi permet l'étanchéité entre le système de drainage interne au filtre et la boîte de collecte.

### 1.10.2. Drainage :

Un tuyau de collecte de 100 mm de diamètre (Tuyau perforé PVC, DN 100 NF) est placé au fond du lit permettant le drainage des eaux, perpendiculairement au sens d'écoulement et à l'extrémité proche de la sortie. Ce tuyau de collecte est raccordé à une traversée de paroi puis à un tuyau PVC qui dirige les eaux collectées vers la boîte de collecte.

### 1.10.3. Filtration (substrat) :

Le lit du filtre horizontal est terrassé en pente droite. La profondeur du lit est de 0,6 m dont 0,5 m de substrat et 0,1 m de revanche. La filtration est assurée par le substrat, qui se compose de trois tranches avec des matériaux ci-dessous :

- 50 cm de graviers de 16/22 mm,
- 250 cm de pouzzolane de 7/15mm
- 100cm de graviers de 4/10 mm

### 1.11. Conclusion :

Au cours des dernières années des progrès énormes ont été faite dans le domaine de traitement des eaux usées surtout par l'utilisation des marais artificiels.

La simplicité de la conception et le coût réduit de ce système d'épuration et d'exploitation et de maintenance encourage les pays en développement à prendre cette initiative.

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur les types des marais artificiels ainsi que les facteurs influents sur ces marais.

Dans ce chapitre on a aussi abordé la méthode et les formules utilisées pour le dimensionnement de la station de phytoépuration et sa mise en oeuvre.

# **CHAPITRE 2 : la réutilisation des eaux usées et l'irrigation des espaces verts.**

### 2.1. Introduction :

Suite aux différents procédés utilisés pour épurer les eaux résiduaires on peut produire des quantités supplémentaires en eau pour différents usages afin de subvenir des déficits hydriques surtout dans les côtés urbains.

Tout système d'irrigation a pour fonction d'amener de l'eau depuis une source jusqu'à la zone à arroser pour baigner le système racinaire des plantes cultivées. Un système d'irrigation correctement conçu et exploité doit assurer une rentabilité économique maximale et soutenue, il doit permettre de réduire au minimum les pertes d'eau lors de l'amenée et de la distribution ; et il doit veiller à maintenir la production en empêchant l'érosion, la dégradation de la structure du sol, la salination et l'élévation de la nappe phréatique. Or, ces trois exigences dépendent du jeu de nombreux facteurs différent : il n'y a donc pas de systèmes tous faits qui s'appliquent à toutes les situations possibles. Dans chaque cas, il faut concevoir un nouveau système ou adapter un système existant en fonction des facteurs pertinents : l'étendue et la nature de la source d'eau ; la qualité d'eau ; la profondeur et la qualité d'eau souterraine ; les couts de matériel ; les conditions du terrain, sa préparation et la main –d'œuvre ; et la disponibilité et la compétence des ressources humaines.

Chaque espèce végétale à ces besoins en eau, l'excès ou le manque de celle-ci peut engendrer des séquelles nuisibles pour la végétation. Les exigences de chaque espèce sont décrites sur les étiquettes, dans les guides et catalogues. L'hiver correspond en général au repos végétatif des plantes ; dans le jardin, la pluie est souvent suffisante, voire excessive. Par contre, au printemps et en été, l'évapotranspiration importante du sol et des plantes, ainsi que l'absence de pluie doivent être compensées par des arrosages.

Les besoins varient également en fonction du stade de végétation. Les besoins sont ainsi plus importants lors du semis, de la plantation, du rempotage et lors des phases de croissance.

### 2.2. La réutilisation des eaux usées :

On appelle réutilisation des eaux l'emploi nouveau des « eaux de deuxième main » pour un usage différent de celui de son premier emploi grâce à des actions volontaires.

La réutilisation directe peut être de manière direct ou indirect :

- La réutilisation direct correspond à l'emploi immédiat des eaux déjà utilisées, après épuration, sans passage ni dilution de ces eaux dans le milieu naturel.
- La réutilisation indirecte correspond à l'emploi, sous forme diluée, des eaux déjà utilisées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel.

La définition stricte de la réutilisation exclut donc le recyclage. Il s'agit dans ce cas d'une réutilisation interne des eaux dans un cycle de production dans le but du contrôle de pollution et de l'économie des ressources en eau. Le recyclage est en conséquence l'affaire de l'utilisation initiale.

La réutilisation des eaux sert à des usages nouveaux par rapport aux usagers initiaux. Le nouvel usage nécessite en général un traitement des eaux pour les ramener à une qualité satisfaisante et compatible avec l'usage envisagé.

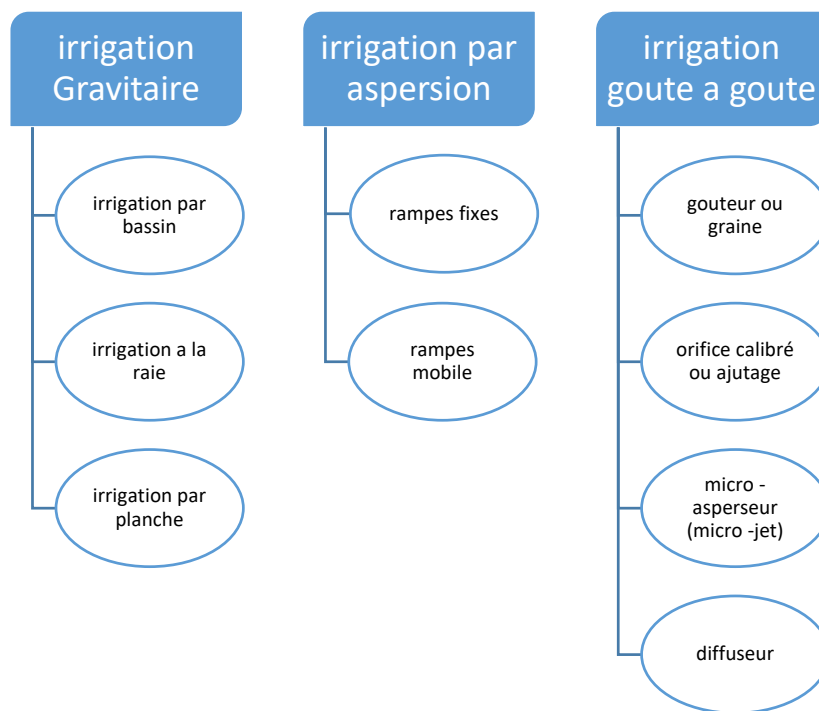
La réutilisation des eaux sert à des usagers nouveaux par rapport aux usagers initiaux. Le nouvel usage nécessite en général un traitement des eaux pour les ramener à une qualité satisfaisante et compatible avec l'usage envisagé.

### **2.3. Agriculture irriguée :**

Vue la présence d'éléments fertilisants tel que le phosphore, l'azote et le potassium dans les quantités des eaux usées rejetée ce qui incite les agriculteurs à utiliser cette source d'eau dans le développement de leur différents agriculture (fertilisation des sols, développement des plants) ce qui leur permettra d'économiser l'achat des engrais et d'augmenter la production agricole (Mara et Cairncross, 1989 ; Unesco 2017).

### **2.4. Modes et systèmes d'irrigation :**

L'utilisation de l'eau peut être faite de plusieurs façons correspondant chacune à un mode déterminé d'arrosage (ruissellement, submersion, infiltration, aspersion). Pour irriguer suivant un mode donné, on aménage le sol de différentes manières ; à chacune d'elle correspond un système d'irrigation .Les principales méthodes d'irrigation sont :



**Figure 2.1** : schéma de différents systèmes d'irrigation

### 2.4.1. L'irrigation Gravitaire :

L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface consiste à répartir l'eau sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol dans les sillons (irrigation a la raie) ou en nappe (irrigation par planche ou calant) ou encore par submersion contrôlée (irrigation par bassin).

Elle reste le mode le plus répandu dans les périmètres irrigués dans le monde, cette technique trouve sa large utilisation dans le fait qu'elle est adaptée aux parcelles de mauvais état de nivellement (Azzougagh, 2008).

### 2.4.2. L'irrigation par aspersion :

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle.



Il existe deux modes d'irrigation par aspersion à noter (irrigation par aspersion à rampes fixe et irrigation par aspersion à rampes mobile) (Brouwer, 1990).

### 2.4.3. L'irrigation localisée :

L'irrigation goutte à goutte est appelée aussi irrigation localisée ou micro irrigation. On l'appelle irrigation par infiltration lorsqu'elle est réalisée au moyen de tuyaux filtrants enterrés. L'irrigation goutte à goutte se développe de plus en plus dans le but de palier à la rareté de l'eau. Elle se caractérise par un apport d'eau localisé, fréquent et continu utilisant des débits réduits à des faibles pressions. Seule la fraction du sol exploitée par les racines est continuellement humectée. Cela permet une réduction de l'évaporation, une meilleure conservation de la structure du sol et une réduction des mauvaises herbes. Ce système permet aussi d'exploiter des champs à topographie et configuration irrégulières, des sols lourds qui se fissurent en été, ou des sols légers filtrants. La fréquence élevée des arrosages permet une dilution des sels présents dans la solution du sol sous le distributeur et un maintien des sels à la périphérie du bulbe humecté.

La goutte à goutte permet une économie de l'eau (50% à 70% par rapport au gravitaire et une réduction du coût de la main d'œuvre impliquée dans les opérations de l'irrigation et de la fertilisation, et une baisse des quantités d'eau et d'engrais utilisés) (ky thierry s. maurice, 2005-2006)

### 2.5. Besoin en eau de culture (ETm) :

C'est l'évapotranspiration d'une culture spécifique dans des conditions de densité et de fertilisation du sol optimales, culture croissante sur un sol bien alimenté en eau et placée dans les conditions adventives négligeables et des conditions climatiques de la région considérée.

Elle est liée à l'ETP de référence par la relation suivante:

$$ETM = K_c \cdot ETP$$

Kc: coefficient cultural qui dépend du stade de la culture et des conditions climatiques, il est généralement inférieur à 1 (MEBARKI, 2007).

### **2.6. L'évaporation :**

Est l'ensemble des phénomènes de transformation de l'eau en vapeur par un processus spécifiquement physique (LADLANI, 2006).

### **2.7. L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration est une combinaison de deux processus : l'évaporation et la transpiration. L'évaporation, ou plus précisément l'évaporation directe, désigne l'eau qui s'évapore à partir d'un sol (nu) ou d'un plan d'eau. Autrement, l'évaporation est un transfert de l'eau, à partir de la surface du sol, vers l'atmosphère. La transpiration désigne la transpiration des végétaux à travers les stomates (micropores par lesquels l'eau s'évapore) de leurs feuilles. Les racines des végétaux captent l'eau qui se trouve dans le sol. Une fois parvenue aux feuilles, une partie de l'eau va s'évaporer à travers les stomates des feuilles. L'autre partie va servir à la photosynthèse (TRAORE, 2007).

### **2.8. L'évapotranspiration potentielle ETP :**

Est le flux d'évaporation produit par un couvert végétal correspondant à une surface complexe, comprenant le sol et les plantes, à saturation, donc sans restriction, de sorte que L'ETP ne dépend que des conditions atmosphériques, de l'énergie disponible à la surface évaporant et des caractéristiques géométriques de la surface végétalisée telles que la résistance aérodynamique, la structure et la densité de la végétation (jensen et al 1990 ; pereira et al 1999).

### **2.9. L'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>) :**

L'ET<sub>0</sub> prend en compte les effets du climat sur les besoins en eau des cultures et fait référence à L'ET de la végétation au-dessus de biologiques et physiques impliqués dans le bilan énergétique d'un couvert végétal (pereira et al 1999).

### **2.10. L'évapotranspiration réelle :**

C'est l'évapotranspiration d'un couvert végétal dans des conditions réelles données :

L'alimentation en eau de la plante peut être limitée par des conditions d'ordre physique (suction du sol), chimique (concentration des solutions), biologique (régulation stomatique) (C.T.G.R.E.F).

### 2.11. Principales méthodes d'estimation de l'évapotranspiration :

Suite aux recherches combinés entre climatologues, hydrologues et agronomes, de grands progrès ont été apporté dans le domaine de l'estimation de l'ETP a partir des données météorologiques.

Dans les premiers temps l'ETP était mesuré à l'aide des bacs et d'évaporomètres « mesure directe », mais ces derniers instruments colossaux et couteux n'estiment que L'ETP physiologique qui se passe sur une surface restreinte et artificielle et il faut passer de leur données locales a L'ETP climatique qui se produit à grande échelle.

C'est pour quoi de nombreuses formules ont été établies pour calculer L'ETP « mesure indirect » à partir des quatre éléments fondamentaux : température, déficit de saturation, vent et radiation globale qui régissent sur ce phénomène.

#### 2.11.1. Mesure directe :

L'évaluation direct de l'ETP est mesuré à l'aide des stations évaporométriques équipées de matériel qui donne une lecture directe sur une durée importante, parmi ces instruments, nous avons : Bacs d'évaporation.

La diversité des problèmes à résoudre par les résultats des bacs les rend très différents sur le plan forme, dimension et caractéristiques. Il existe plusieurs types de bacs comme : Le bac de classe A- Les bacs enterrés "Bac Colorado" - Les bacs flottants - Evaporomètre Wild - L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique - Surface de papier humide "évaporomètre Piche" (VACHALA, 2008 ; AL DOMANY, 2013 ; ANRH –Juin 2002 ; G.Réméniéras ; AL DOMANY, 2013 ; ABIBSI, 2011).

#### 2.11.2. Mesure indirecte :

Pour prédire l'évapotranspiration, on utilise des formules basées sur des variables climatiques, car il est difficile d'obtenir des mesures directes et précises dans les conditions du terrain.

##### 2.11.2.1. Formule de Penman :

La méthode la plus utilisée aujourd'hui est celle de Penman, car elle donne les meilleures estimations de l'ETP et est entièrement basée sur les lois physiques des échanges d'énergie. Cette approche est la seule qui explicite réellement le phénomène d'évapotranspiration et qui permette de mettre en évidence l'importance relative des différents facteurs qui interviennent, mais elle a

l'inconvénient d'exiger la connaissance de paramètres climatiques qui sont rarement mesurés dans les stations. Elle demande en outre des calculs assez compliqués et impose des conditions d'emploi bien précises (Dubost, 1994).

La méthode de Penman est proposée pour calculer de façon simple

L'évapotranspiration surtout dans les régions sahariennes à partir des données météorologiques existantes (température, de l'air, humidité relative..), coefficient précis et plus cohérent que ceux que l'on obtient avec les formules classiques de BLANEY ET CRIDDLE OU DE TURC (Dubost, 1994).

La formule est la suivante :

$$ETP = p'(t) \frac{Rn}{L} + \sigma \frac{Ea}{P(t) + \sigma}$$

Dans laquelle :

Rn : Rayonnement net « climatique ».

Ea : pouvoir évaporant de l'air, fonction du vent et du déficit de saturation de l'air.

L : Chaleur latente de vaporisation (est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1kg d'eau Pour obtenir 1kg de vapeur saturée). (Joule /kg).

$\sigma$ : Constante psychrométrique (0, 65 h la/°C)

$p'(t)$  : Valeur de dérivée de la fonction de pression partielle de vapeur d'eau saturante en fonction de la pression de vapeur d'eau en fonction de la température, pour la température de l'air T.

L'obtention de l'ETM par les formules empiriques ou par les bacs se fait par

- l'introduction du coefficient cultural Kc et on aura:

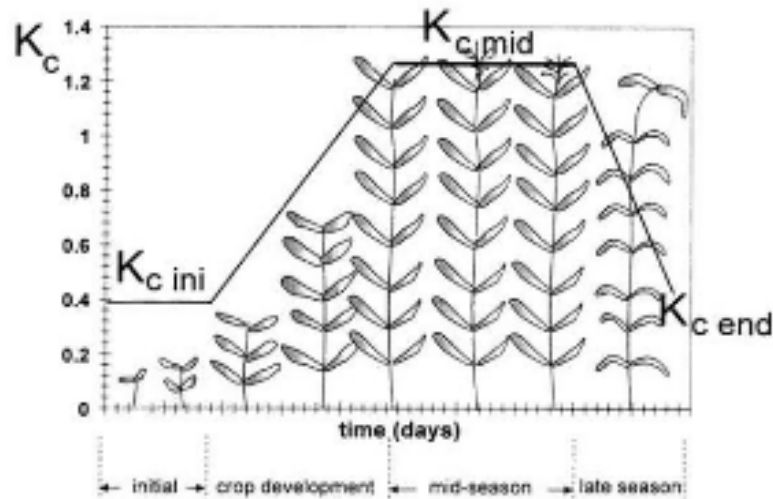
$$ETM = Kc .ETP$$

Le Kc traduit le rythme de consommation en eau de la culture selon le stade végétatif donné.

On appelle coefficient cultural Kc le rapport ETM / ETP. Ce coefficient varie avec le type de culture, le stade végétatif, la densité de plantation et à moindre degré avec la variété et le climat.

Les besoins d'une culture changent complètement en fonction des stades végétatifs et sont proportionnels à la surface foliaire, mais il y a en plus des périodes où l'alimentation en eau devient particulièrement importante. On appelle ces moments particuliers les phases critiques et les phases sensibles.

Dans une palmeraie, la phase la moins critique est celle du repos hivernal des arbres, de Novembre à Janvier, voire Février (VESCHAMBRE et al. 1980)



**Figure 2.2 :** Courbe de coefficients culturaux et définition des phases (Boudjellal et Bammoun, 2007).

### 2.12. Conclusion :

Dans ce chapitre il a été donné un aperçu sur la réutilisation des eaux usées avec les systèmes utilisés pour l'irrigation des espaces verts et particulièrement, le système d'irrigation localisé qui sera adopté pour les régions arides et semi arides.

Le système d'irrigation localisé est le plus avantageux du point de vue économique.

De plus on a cité les besoins en eau des plantes ainsi que la méthode de calcul de l'ETP, cette méthode s'avère celle qui donne des meilleures estimations de l'ETP, surtout dans les régions arides et semi arides.

**CHAPITRE3 : Calcul et  
dimensionnement de la station  
de phytoépuration.**

### 3.1. Introduction :

La réalisation d'une station de phytoépuration dépend essentiellement de plusieurs caractéristiques telles que la qualité et la quantité d'eau usée dans le réseau et le site choisi. De plus l'efficacité de notre station d'épuration dépend du système adéquat choisit.

Le but d'installer cette station est de réduire les paramètres de pollution des eaux usées qui seront par la suite réutilisées dans l'irrigation de l'espace vert choisi (jardin Landon).

### 3.2. Présentation du cas d'étude :

#### 3.2.1. Situation géographique de la ville de Biskra :

Située à l'est de l'Algérie, au sud des monts des Aurès, la wilaya de Biskra apparaît comme un véritable espace tampon entre le Nord et le Sud. Sa superficie est de 21671 km<sup>2</sup>, soit 0,91% du territoire national. Limitée par Batna au Nord, M'sila au Nord- Ouest, Khenchla au Nord-est, Djelfa au Sud-ouest, El Oued au Sud-est, Ouargla au sud.

Biskra est la Capitale de la région des Ziban. On désigne sous ce nom, qui signifie les villages, la zone de steppes constellée d'oasis qui s'étend, à l'Est et à l'Ouest de Biskra, au pied des derniers contreforts de l'Aurès et des monts du Zab, sur une longueur de 300km et une largeur de 50km.

Le territoire de la wilaya se subdivise en trois (03) zones à savoir :

**Zone Nord (ou Zone 1):** constituée principalement des communes situées sur les piedmonts des Aurès. Il s'agit d'Est en Ouest, de Kanguet Sidi Nadji, Zeribet El Oued, M'Zirâa, M'Chounèche, Djemourah, Ain Zâatout, Branis, El Kantara, El Outaya et Chaiba et la partie nord de M'Zirâa. A partir de Sidi Masmoudi la partie plaine appartient à une autre zone.

**Zone Sud (ou Zone 2):** comprend l'ensemble des communes de la limite sud de la wilaya. Ces communes dont la moitié ou les 2/3 (sud) de leur superficie appartiennent à cette zone sont : d'Est en Ouest El Feidh, El Haouch, Sidi Okba, Oumache, Ourelal, M'lili, Mekhadma, Lioua, Ouled Djellal, Sidi Khaled, Besbes et Ras El Miad.

**Zone Intermédiaire (ou Zone 3)** regroupe les plaines sud des communes appartenant à la zone (1) et les plaines nord des communes appartenant à la zone (2). En plus des communes de Sidi Okba, Chetma, Ain Naga, Biskra, El Hadjeb, Tolga, Bouchagroun, Lichana, El ghrous, Bordj Ben Azzouz, Foughala, Doucen (Maaoudi, 2014).



**Figure 3.1** : Les limites de la wilaya de Biskra (Andi.dz, la wilaya de Biskra).

### 3.2.2. La climatologie de la ville de Biskra :

La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales. Ces facteurs climatiques peuvent être classés en trois catégories : des facteurs énergétiques (L'insolation, lumière et température), des facteurs hydrauliques (précipitation et hygrométrie) et des facteurs mécaniques (vent par exemple). Pour étudier le climat d'une région, il faut faire intervenir les facteurs suivants :

- La température de l'air en °C.
- L'humidité relative.
- L'insolation
- Le mouvement de l'air, soit le vent mesuré en m/s.
- Les précipitations, mesurées en mm
- L'évaporation

(Le gisement lumineux à Biskra).



**3.2.2.1. Etude des précipitations en 1/10 mm :**

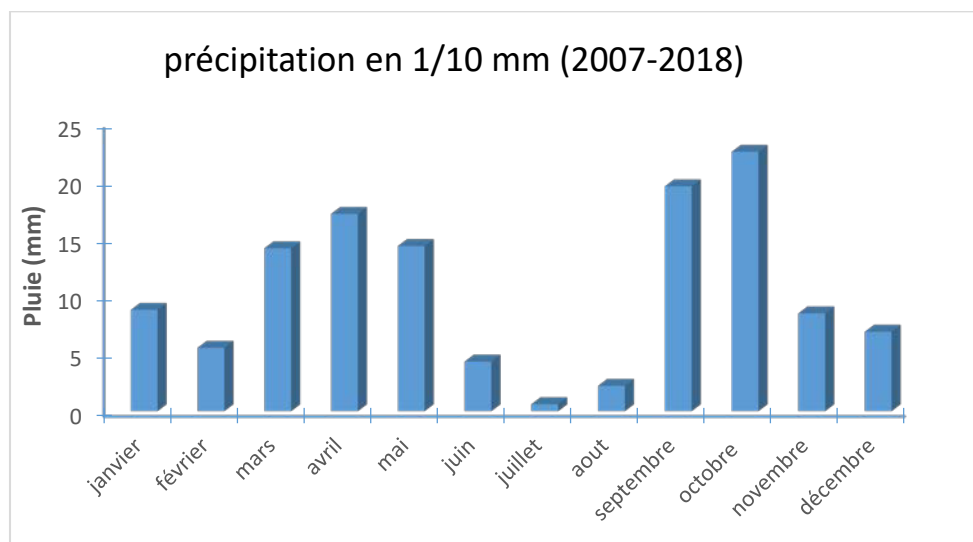
Le terme « précipitations » englobe toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, que ce soit sous forme liquide (pluie) ou sous forme solide (neige, grêle). Dans notre région d'étude, les précipitations sont faibles pendant (2007-2018).

**Tableau 3.1 :** Précipitations moyennes mensuelles en (mm) dans la ville de Biskra durant la Période (2007 – 2018).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	cumul
<b>P(1/10)</b>	8,8	5,5	14,1	17,1	14,3	4,3	0,6	2,2	19,5	22,5	8,5	6,9	124,4
<b>Pmoy</b>	88	55	141	171	143	43	6	22	195	225	85	69	1244

Source : Station météorologique de l'aéroport de Biskra

Durant la période (2007-2018) la période pluvieuse s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai, alors que durant l'année d'étude une irrégularité des pluies est remarquée avec un pic au mois de mai avec 49,4 mm ; et nulle durant les mois juin et juillet.



**Figure 3.2 :** Histogramme de précipitation en 1/10 mm de la période (2007-2018) de la station météorologique de l'aéroport de Biskra.

**3.2.2.2. Etude des températures:**

La température est le second facteur, après la précipitation qui conditionne le climat d'une région. Elle permet aussi d'estimer le déficit d'écoulement. La température moyenne annuelle est de 23,5°C. Le tableau donne les températures moyennes, pour une période de 12 ans (2007-2018).

**Tableau 3.2 :** Températures moyennes mensuelles (mm) dans la ville de Biskra durant la période (2007-2018).

Mois	jan	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aou	sep	oct	nov	dec	Moyenne
TC°	21,1	13,4	17,2	21,7	26,3	30,9	35,1	34	29,3	23,6	16,5	12,7	23,5

Source : Station météorologique de l'aéroport de Biskra

On note que la température moyenne, la plus élevée, est celle du mois de Juillet (35.1°C) alors que la température, la plus basse est celle du mois de décembre (12,6°C).

**Tableau 3.3 :** Valeurs des températures enregistrées à la station de l'aéroport de Biskra de la période (2007-2018).

Mois	jan	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aou	sep	oct	nov	dec	moy
TM	18,2	19,2	23,1	27,4	32,5	37,7	41,5	40,3	35,2	29,4	22,5	18,4	28,8
Tm	7,1	8	11,4	15,4	19,8	24,6	28,4	27	23,6	18,2	12	7,8	16,9
TMOY	21,1	13,4	17,2	21,7	26,3	30,9	35,1	34	29,3	23,6	16,5	12,7	23,5

Source : Station météorologique de l'aéroport de Biskra

TM en °C : températures maximales moyennes.

Tm en °C : températures minimales moyennes.

Tmoy en °C : Températures moyennes.

A partir du tableau, les variations des températures moyennes, minimales et maximales, montrent en général que le mois de Janvier est le mois le plus froid, avec une température de 7.1°C, et que

les mois de Juillet et Août sont les plus chauds, avec une température allant de 40.3°C et 41.5°C, respectivement.

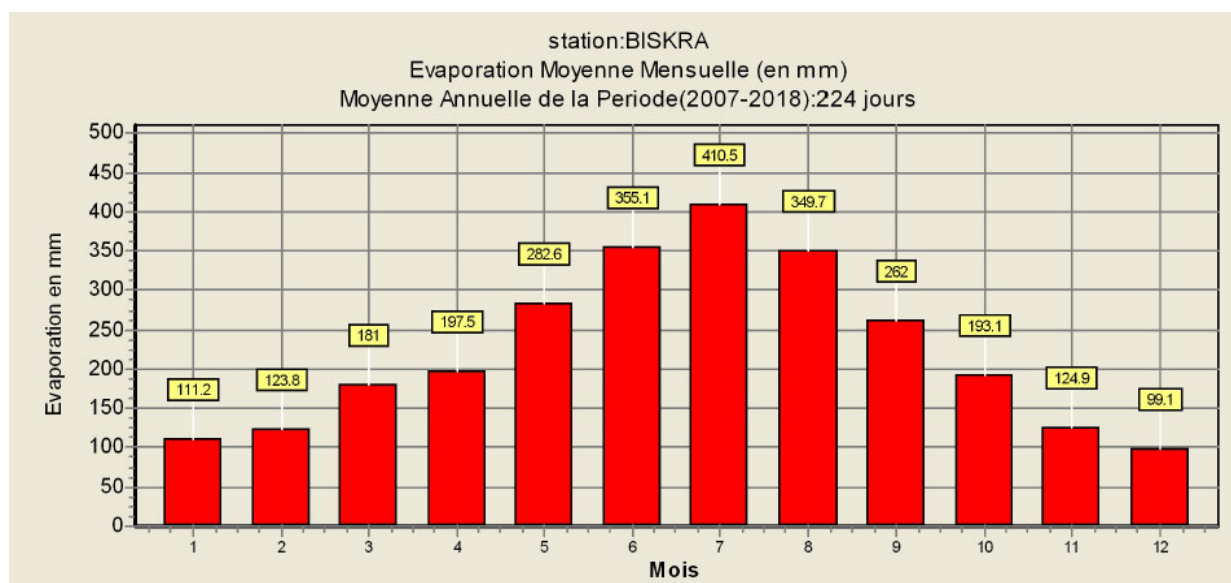
### 3.2.2.3. Etude d'évaporation :

Puisque la ville de Biskra est située dans une région chaude, la relation entre l'évaporation et la température montre que la quantité d'eau évaporée sera plus au moins grande, le tableau suivant :

**Tableau 3.4 :** l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) dans la ville de Biskra pendant la période (2007-2018).

Mois	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juillet	août	sept	oct	nov	Déc	tot	mo
Evap(moy)	111,2	123,8	181	197,5	282,6	355,1	410,5	349,7	262	193,1	124,9	99,1	2690	224,2

Source : Station météorologique de l'aéroport de Biskra



**Figure 3.3 :** l'évaporation moyenne mensuelle en (mm) dans la ville de Biskra pendant la période (2007-2018).

### 3.2.2.4. Etude de l'humidité relative :

Ce paramètre est relativement faible dans la zone d'étude ; la moyenne est de 43.2%. Cette faible valeur s'explique par l'aridité du climat et la concentration des masses d'air chaud du Sahara. Les valeurs moyennes mensuelles sont insérées dans le tableau, ci-dessous.

**Tableau 3.5 :** Humidités relatives moyennes, enregistrées à la station de l'aéroport de Biskra (2007-2018).

Mois	jan	fév	mar	avr	mai	jui	jui	aou	sep	oct	nov	dec	mo y
L'humidité relative en %	56,6	50,3	43,4	41,8	34,8	30,5	27,4	32,6	41,8	47,7	53,5	57,8	43,2

Source : Station météorologique de l'aéroport de Biskra

### 3.2.2.5. Etude du vent :

Le vent désigne le mouvement horizontal de l'air. Sa mesure comprend deux paramètres : sa direction et sa vitesse ou force. La vitesse est exprimée communément en km/h ou m/s.

La variabilité du vent (force, direction) en un endroit donné est généralement forte. C'est pourquoi les météorologues mesurent le vent « instantané » et le vent « moyen ». Le vent instantané est mesuré sur une période de 3s, alors que le vent moyen est calculé sur une période de 10 minutes (météo France).

Les vents sont fréquents et répartis sur toute l'année, avec une vitesse instantanée moyenne mensuelle de 20,7 m/s environ ; alors que les vitesses maximales sont enregistrées aux mois de mai et d'avril (respectivement 22,8 et 22,5m/s).

**Tableau 3.6 :** la vitesse instantanée du vent en m/s enregistrées à la station de l'aéroport de Biskra (2007-2018).

Mois	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juillet	août	sep	oct	nov	dec	moy
<b>La vitesse instantanée du vent en m/s</b>	19,6	21,6	21,9	22,5	22,8	20,4	21,7	20	21,7	17,9	19,3	18,8	20,7

Source : Station météorologique de l'aéroport de Biskra

**3.2.2.6. Etude d'enseillement (l'insolation) :**

C'est la période pendant laquelle le sol est exposée au soleil, le tableau suivant présent les valeurs de l'enseillement pendant (2007-2017) :

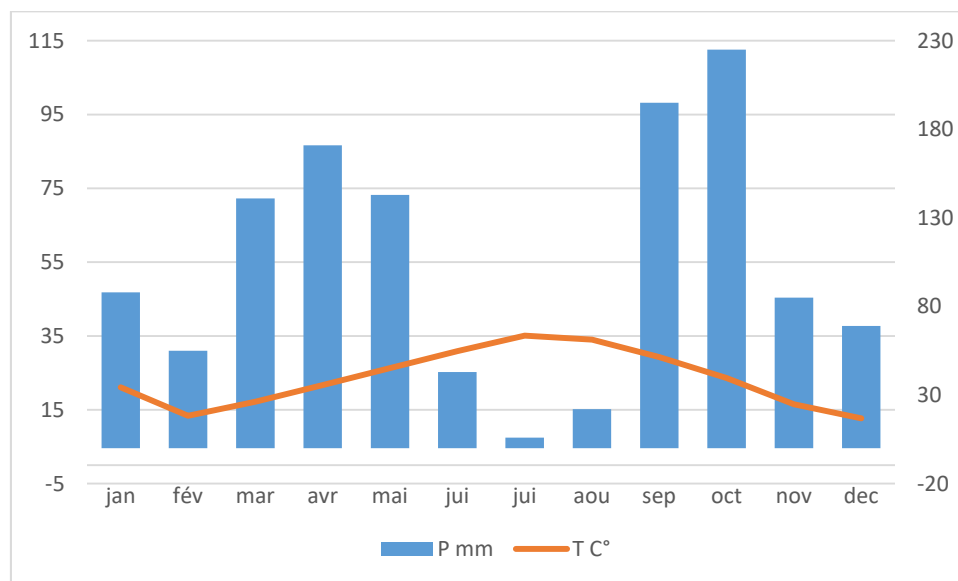
**Tableau 3.7 :** les valeurs d'Insolation moyenne mensuelle en 1/10 heure.

Mois	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juillet	août	sep	oct	nov	dec	moy
<b>Insolation moyenne mensuelle en 1/10 heure</b>	228,4	219,2	262,2	277,5	326,1	333,4	352,7	320,2	258,5	260,4	226,4	216,9	273,5

Source : Station météorologique de l'aéroport de Biskra

### 3.2.2.7. Diagramme Ombrothermique :

Le diagramme ombrothermique (du grec ombros= pluies et thermé= chaleur) est la représentation graphique dans un même repère de la température et des précipitations. Il permet d'établir un véritable bilan de l'eau et de la température (DIOP, antonyme).



**Figure 3.4:** le diagramme Ombrothermique du climat de la station de l'aéroport de la ville de Biskra.

### 3.3. Les types des plantes de la ville de Biskra :

Il existe de nombreuses plantes qui vivent et s'adaptent au climat de la région de Biskra, dont les principales plantes sont citées dans le tableau suivant :

**Tableau 3.8 : Les types des plantes de la ville de Biskra.**

<b>NOM</b>	<b>NOM COMMUN</b>	<b>FAMILLE</b>	<b>lieu</b>
Ficus elastica. Roxb. ex Hornem.,1819(Caoutchouc)	Ficus robusta	Moraceae	cit� des Moudjahidines (1 seul arbre)
Ligustrum vulgare L., 1753	Tro�ne commun	Ol�aceae	les anciens boulevards,jardin 05 juillet , jardin landon , jardin zidane brahim
Phoenix canariensis Hort. ex Chabaud, 1882	Palmier des Canaries	Arecaceae	jardin 05 juillet, jardin landon , jardin 20 aout , jardin de la mairie
Ipomoea alba L.	Fleur de lune/ Calonyction aculeatum Ipomoea bona-nox	Convolvulaceae	Center ville
Fargesia rufa T.P.Yi 1985	Bambou	Poaceae	jardin 05 juillet, jardin landon, jardin de la mairie
Aptenia cordifolia (L. f.)	Fico�ide/	Aizoaceae	jardin 05 juillet



Schwantes, 1928	Mesembryanthemum cordifolium L.F. Litocarpus cordifolia		
-----------------	---	--	--

(Maaoui, 2014)

#### 3.4. Présentation de la région d'étude :

On ce qui concerne notre étude on a choisi le jardin Landon afin de procéder à la possibilité de réutiliser les eaux usées épurer par filtre planté a macrophytes pour l'irrigation de cet espace vert



**Figure 3.5** : allée principal de l'intérieur du jardin.



### 3.4.1. L'historique du jardin Landon :

Le comte Albert Landon de Longueville acclimatera à Biskra, dans un magnifique jardin, des essences méditerranéennes et tropicales, et d'arbres de grand prix – comme les bougainvillées violacées, le ficus, le cassier, l'acacia et les laurier-rose et blancs, les palmiers, le duranta, le jasmin, le lys, l'hibiscus, le bigaradier, le palmier nain, de phœnix dactylifera, le platane, le pin, le chêne, le caroubier, l'eucalyptus et d'autres végétaux exotiques ... qui représentent la strate arborescente du parc. Ce jardin, appelé Garden of Allah par le romancier anglais Robert Hitchens, est un havre de paix et un lieu de rêveries pour les artistes. Lors d'un séjour effectué en 1880, l'écrivain Fernand Philippe tient à marquer son étonnement devant l'œuvre réalisée par un passionné du désert et un amoureux de la nature, en l'occurrence le comte Landon. « Ce millionnaire a créé quelque chose de féérique et qui rappelle tout à fait les mille et une nuits, souligne l'auteur d'Etapes sahariennes. Il est rare de voir un jardin plus beau que le sien : toute la flore des tropiques et des pays équatoriaux s'y trouve à profusion : lataniers, bananiers, bambous, cocotiers, ficus de l'Inde y croisent et s'y enchevêtrent à l'instar d'une forêt vierge... » Dans son testament, le comte Landon de Longueville lègue son jardin à la commune de Biskra, d'une superficie de 5 hectares.

« Issu d'une propriété dite Parc Landon, le jardin Landon a été créé en 1872 par le comte Landon de Longueville. Propriété de l'Algérie en vertu de l'acquisition qui en a été faite par Mme Jane Albertine veuve de Jacques André de Ganay suivant acte administratif du 14/05/1937 transcrit à la conservation des hypothèques de Batna du 10/07/1937 Vol : 480 N°34, le jardin a été cédé gratuitement à la commune de Biskra en date de 30/04/1955. Ce jardin a été classé – comme site protégé désigné « Jardin Botanique en 1959».

Nombreux sont les poètes, artistes, écrivains, historiens, philosophes à y avoir séjourné. On évoque Ibn Khaldoun ou encore André Gide, et d'autres figures illustres, comme Robert Smythe Hitchens, Francis James, Oscar Wilde ou les frères Tharaud, Béla Bartok, Scott et Zelda Fitzgerald, Nasreddine Dinet, Eugène Fromentin, L. Rousseau, Karl Marx, Anatole France, Henri Matisse et bien d'autres noms connus du monde des arts et des lettres. Certains y trouveront même l'inspiration, c'est le cas par exemple de Robert Hitchens qui y écrit son célèbre Garden of Allah, ou encore d'André Gide qui s'en inspira pour commencer l'écriture des Nourritures terrestres, car il avouera avoir découvert dans ce lieu «des fruits de saveur sauvage et

subite».

Situé en bordure de l'oued Sidi Zarzour, dans le quartier Châtenier, le parc, a été conçu pour être un paradis sur terre par celui qui l'a créé, le comte Landon de Longueville, Le jardin Landon, cet espace le long de l'oued Sidi Zarzour, est un véritable trésor écologique doté d'une richesse floristique exceptionnelle, constituée de 52 espèces végétales rustiques et tropicales, rares ou en voie de disparition, importées des quatre coins du monde. Ce jardin botanique, d'une superficie de 5 ha, est classé site protégé. Ce joyau, abandonné pendant plusieurs dizaines d'années, a bénéficié d'une opération de requalification décidée par le ministère de l'Aménagement du territoire dans le cadre d'un programme visant la création d'un pôle vert dans chaque wilaya pour contribuer à rattraper le retard dans ce domaine et portant « sur la rénovation des systèmes d'irrigation, l'entretien des arbres et la création d'une pépinière ». Cette remise en état est prise en charge par des spécialistes italiens en collaboration avec des techniciens et des jardiniers locaux, en plus de l'aménagement et l'équipement d'une école verte dans le jardin (EL DJAZAIR).

Voici quelques photos montrant la beauté du jardin :



**Figure 3.6** : Une photo qui montre le lac artificiel du jardin Landon.





**Figure 3.7 :** Une photo qui représente la maison de l'art dans le jardin Landon.



**Figure 3.8:** Deux photos qui représentent l'esthétique du jardin Landon.

### 3.4.2. Situation géographique du jardin Landon :

Le jardin Landon limité à l'Est par le boulevard du 08 mars et au Nord par la Rue Gouassmi Mohamed et l'Ouest par la Rue de Ben Yahya Ahmed et au sud par Dar El Bay (la résidence de la wilaya de Biskra).



Figure 3.9 : Les délimitations du jardin Landon de Biskra (Google earth pro).

### 3.4.3. Situation topographique du jardin Landon :

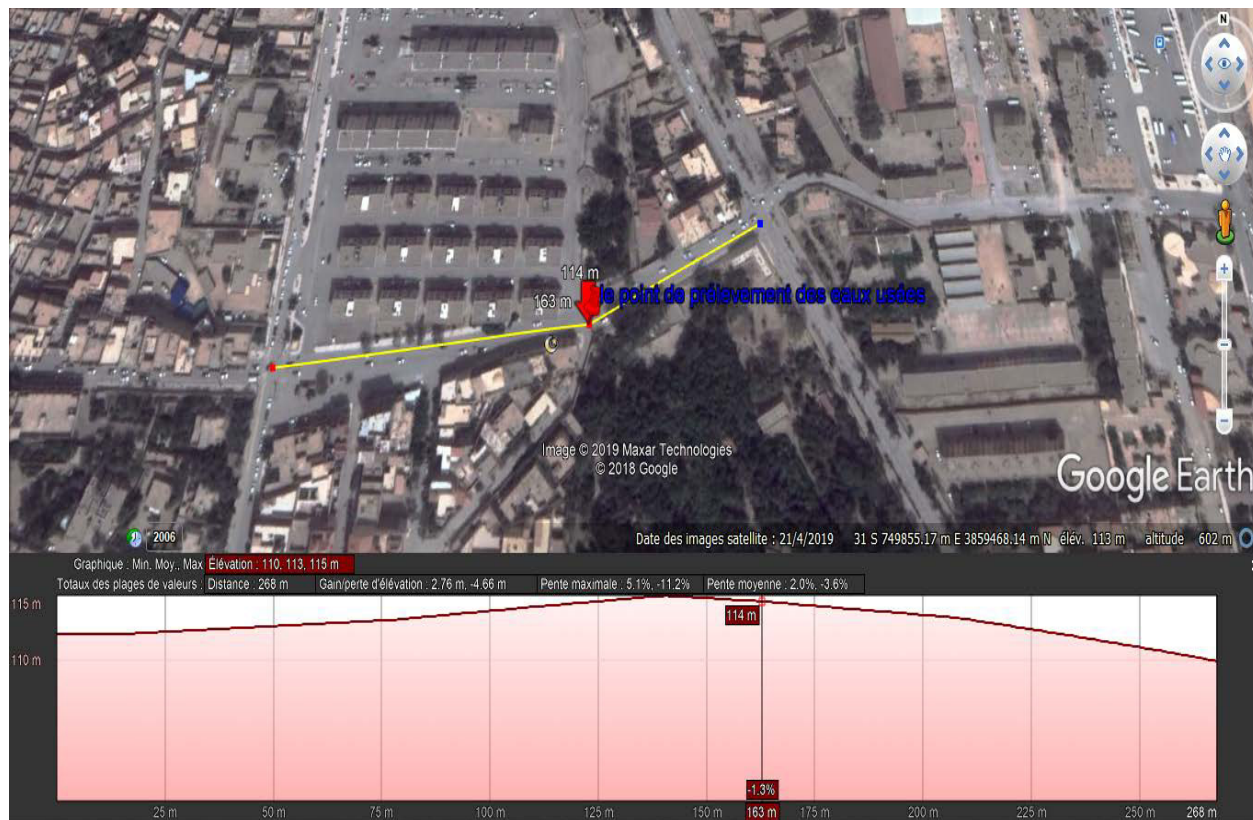
On procédant au levé topographique du jardin Landon a l'aide de l'appareil de Niveau, on a constaté qu'il y'a une différence de niveau de trois mètre entre le point le plus haut (90.00m) et le point le plus bas (87.02m), le terrain est généralement avec une pente régulière comme indiqué dans l'annexe.

### 3.4.4. Réseau d'assainissement alimentant le jardin Landon :

Le réseau d'assainissement du boulevard Gouassemi Mohamed a été créé afin de diviser la quantité des eaux assainies dans le collecteur principal de l'avenue Hakim Saadane.



Ce nouveau collecteur est en béton armé ordinaire CAO de diamètre 500mm et de type unitaire. Les altitudes du terrain naturel avec les pentes de ce boulevard est présenté dans la figure suivante :



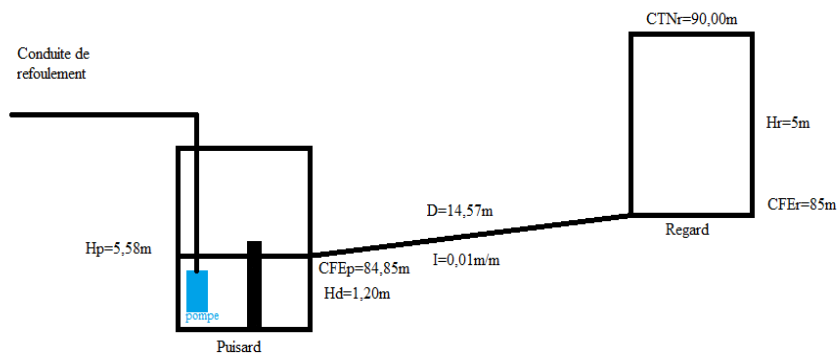
**Figure 3.10** : les altitudes du terrain naturel avec les pentes du boulevard Gouassemi Mohamed (Google Earth pro).

### 3.4.5. La prise des eaux usées (le regard choisi) :

La prise des eaux usées provient d'un regard situé au nord-ouest du jardin à 3.09m de la clôture du jardin et 248.27m du site proposé de la station de phytoépuration.

La profondeur de ce regard est de 5m.

Vue la dénivelé existante entre le regard de la prise et la station de phytoépuration comme indiqué dans l'annexe, ce qui nécessite l'installation d'une station de relevage celle-ci est composée d'un puisard contenant une pompe submersible avec un seuil au fond du puisard pour la décantation des sédiments transporté par les eaux usées , puis les eaux déversées par-dessus le seuil seront pompé vers la station comme indiquez par le schéma ci-dessous :



**Figure 3.11 :** Figure montrant le branchement à partir du regard d'amené vers le puisard.

**NB :**

CFE : la cote fille d'eau.

CTN : la cote de terrain naturel.

CTNp: la cote de terrain naturel du puisard.

La dénivelé = la distance  $\times$  la pente proposé.

La distance = 14,57m

La pente proposé=10/1000

La dénivelé=14,57 $\times$ 0,01=0,1457.

CFEentrée-puisard= CFERegard- la dénivelé=84,85m

H puisard= CTNp-(CFE-Hd)

Avec Hd= la hauteur de décantation = 1.20m.

Hp= hauteur de puisard=89,23-(85-1,20)=5,58m.

Alors la hauteur d'aspiration Ha=83,65m.



**Figure 3.12 :** Une photo qui représente le regard de prélèvement de 5 m de profondeur.

### **3.4.6. Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées :**

Des prélèvements d'échantillons d'eau usée ont été effectués au niveau du regard de picage choisi afin de procéder aux analyses des paramètres physico-chimiques, il est à noter que ces analyses ont été effectuées dans trois laboratoires :

Le laboratoire de recherche en Génie Civil et hydraulique, développement durable et Environnement de l'université de Biskra, et le Laboratoire de contrôle de la qualité et de conformité- Darinmoub de Batna, et finalement le laboratoire de CR ASTRA (centre de Recherche scientifique et technique sur le régions aride) de Biskra.



**Figure 3.13 :** Une photo qui représente les deux échantillons destinés pour les analyses (à droite pour la matinée et à gauche pour l'après midi).

**NB :** Les échantillons prélevés matin et après-midi au niveau du regard choisi ont été analysés dans le même jour.

**Tableau 3.9 :** les résultats des analyses des eaux usées pendant la matinée et l'après-midi.

Les paramètres	La matinée	L'après-midi
T(C°)	16	/
PH a 17 C°	7,9	7,8
Conductivité (µs/cm)	2,52	2,40
La turbidité FTU	401,7	331,5
MES en (mg/l)	371,84	306,88
DCO en (mg/l)	150,5	92,7
DBO <sub>5</sub> en (mg/l)	112	78
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en (mg/l)	453	444
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en (mg/l)	13,78	6,432



### Chapitre3 : Calcul et dimensionnement de la station de phytoépuration

<b>Ortho phosphate (mg/l)</b>	4,705	0,635
<b>Azote ammoniacal en (mg/l)</b>	28,15	23,20
<b>La couleur</b>	2382	2367

Vu les résultats obtenus des analyses des eaux usées faites par les laboratoires, et en les comparant aux normes internationales des eaux usées destinés à la réutilisation, il ressort que les eaux usées du site d'étude doit subir un traitement pour réduire la pollution au maximum afin de permettre sa réutilisation.

**Tableau 3.10 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.**

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO (1985)	OMS (1989)	JORA(2012)
<b>pH</b>	ds/m	6,5-8,4		6,5-8,5
<b>CE</b>	mg/l	<0,7 Aucune restriction 0,7 – 3,0 restriction légère à modérée > 3,0 Forte restriction		3
<b>MES</b>	mg O2/ l	<30		30
<b>DCO</b>	mg O2/ l	< 40		90
<b>DBO5</b>	mg/l	<10		30
<b>NO3<sup>-</sup></b>	mg/l	50		30
<b>NO2<sup>-</sup></b>	mg/l	< 1		Non disponible
<b>NH4<sup>+</sup></b>	mg/l	< 2		Non disponible

### Chapitre3 : Calcul et dimensionnement de la station de phytoépuration

<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	mg/l	< 0,94	Non disponible
<b>SAR</b>	meq/l	<3 Aucune restriction 3-9 restrictions légères à modérée >9 Forte restriction	Non disponible
<b>Coliformes totaux</b>	UFC/100ml	Non disponible	Non disponible
<b>Streptocoque Fécaux</b>	UFC/100ml	1000	Non disponible
<b>Salmonelles</b>	UFC/ 1L	Absence	Non disponible

(MRE, 2007 ; JORA, 2012).

DBO<sub>5</sub> (moyenne) = (DBO<sub>5</sub> (matinée) + DBO<sub>5</sub> (l'après-midi)) / 2 = 95 mg/l.

DCO (moyenne) = (DCO (matinée) + DCO (l'après-midi)) / 2 = 121,6 mg/l.

Le rapport DCO / DBO<sub>5</sub> = 121,6 / 95 = 1,23 < 3, donc il y a la possibilité de dégradation par un traitement d'oxydation biologique.

#### 3.4.7. Mesure du débit des eaux usées :

Le débit a été déterminé par la méthode volumétrique à partir d'un regard de chute existant au niveau du collecteur d'assainissement, le débit moyen = 1,217 l/s, le débit max = 1,601 l/s.

**Tableau 3.11** : les mesures du débit moyen d'eau usée en l/s.

<b>v=1 l</b>						
<b>nbr</b>	<b>heur (9 :00)</b>	<b>heur (13:30)</b>	<b>heur (18 :00)</b>	<b>Q1 (l/s)</b>	<b>Q2 (l/s)</b>	<b>Q3 (l/s)</b>
	<b>Temps mesuré (sec)</b>	<b>Temps mesuré (sec)</b>	<b>Temps mesuré (sec)</b>			
<b>1</b>	1,068	0,5905	2,425	0,936	1,695	0,412
<b>2</b>	1,093	0,603	2,568	0,915	1,658	0,389
<b>3</b>	1,234	0,689	2,758	0,810	1,451	0,363
<b>Les débits moyens (l/s)</b>	0,887	1,601	1,164			
<b>Le débit moyen</b>	1,217					

### 3.4.8. Plantes utilisées dans les marais :

D'après les recherches menées par le laboratoire LARGHYDE de l'université de Biskra, Il s'avère que les phragmites australis, le Typha latifolia et la Papyrus Cypurus ont donné les meilleures performances épuratoires (Mimech ,2014).

Dans notre cas d'étude on propose d'utiliser le typha comme une plante principale pour l'épuration des eaux usées.

Le typha est une plante très résistante qui peut être utilisée pour les cas de pollution les plus désespérés. Elle est capable de dépolluer des eaux usées très polluées à la limite de l'asphyxie (lisiers, eaux de décharges). Elle est très performante dans les milieux à la limite de l'anoxie (peu d'oxygène). Elle biodégrade très bien les produits pétroliers, les composés chlorés, et résiste à tout : métaux lourds, sels, excès de DCO et DBO5, aussi pour conserver la valorisation esthétique dans le jardin et son rendement épuratoire dans le traitement des eaux usées de la région de Biskra.

Le Typha latifolia est une plante vivace de 1à2 mètres, glabre, à tige robuste ; feuilles largement linéaires (6 à 18 mm.), planes, glaucescentes, dépassant la tige ; épis proches ou à peine espacés et qui colonise les marées, étranges, rivière dans presque toute la France, l'Europe, l'Asie, l'Afrique et l'Amérique boréale (Quezal et al. 1962 – 1963).

On peut aussi proposer un notre type de plantes épuratrices comme Cyperus papyrus et les phragmites australis



**Figure 3.14** : Une photo de la plante typha.

Il est possible aussi de proposer quelque type des plantes épuratrice qui intègrent dans le paysage esthétique du jardin comme : pontédérie (pontediria cordata) - Acore odorant.



**Figure 3.15 :** la plante épuratrice pontédérie (pontediria cordata) (plantes et nature).



**Figure 3.16 :** la plante épuratrice Acore odorant (Jean – paul thouny).

**NB :** Il est à noter qu'on peut utiliser ces plantes à la bordure des marais filtrants.

### 3.5. Le substrat choisi :

Pour le filtre à écoulement vertical, le choix de la granulométrie est très important, car elle agit sur l'efficacité du système hydraulique filtrant.

Il est recommandé d'utiliser un gravier d'une granulométrie élevée dans la partie inférieure à celle de la partie supérieure (gravier fin) du fond du filtre.

Pendant la période d'alimentation le débit doit être supérieur à la capacité d'infiltration du gravier fin, ce qui favorise une répartition uniforme des eaux usées sur toute la surface des filtres et contrôle le débit

Concernant les filtres horizontaux, le substrat utilisé doit être formé essentiellement de gravier uniforme dont le coefficient de perméabilité est supérieur à  $10^{-1}$  cm/s.

Pour notre cas d'étude on a choisi le gravier alluvionnaire roulé (inerte) ayant un diamètre de 8 à 16 mm afin d'éviter le colmatage des conduites perforées, on étale sur une longueur de 1 m au début et à la fin du bassin des pierres de 32 à 128 mm

La perméabilité est liée à la granulométrie du matériau utilisé et du colmatage progressif du massif, sachant que celui-ci est modéré par l'effet des rhizomes et des racines (la couche active est du gravier de 8 à 16 mm sur 60 cm de profondeur, avec une perméabilité  $K_s = 500$  m/j et une porosité  $n = 35-38\%$ ) (Mimech, 2014).

### 3.6. Lieu d'installation de la station de phytoépuration:

Le site qu'on propose pour la réalisation de la station de phytoépuration est situé au sud du jardin Landon comme indiqué dans l'image ci-dessous, avec une superficie de 3350.5165 m<sup>2</sup>



Figure 3.17 : une vue aérienne du site de projet par Google Earth pro.



### 3.7. Les étapes de traitement dans la station de phytoépuration :

#### 3.7.1 Prétraitement :

##### 3.7.1.1 Le dégrillage :

Dans notre cas d'étude on propose d'utiliser dans le puisard à l'entrée de la station de relevage une vanne murale avec un dégrilleur de type panier dégrilleur en acier inoxydable.

##### 3.7.1.2 Domaine d'emploi :

Le panier dégrilleur permet de protéger les pompes de l'arrivée de déchets volumineux transportés par les eaux usées ou pluviales qui pourraient nuire au bon fonctionnement du poste de relevage. Il évite le blocage de la roue de la pompe par des particules qu'elle n'est pas en mesure d'évacuer et supprime le colmatage en retenant les gros flottants(Motralec).

##### 3.7.1.3 Exécution :

Panier de dégrillage avec fond ouvrant et guidage double barre.



**Figure 3.18** : un dégrilleur de type panier dégrilleur en acier inoxydable (hydro-technique).

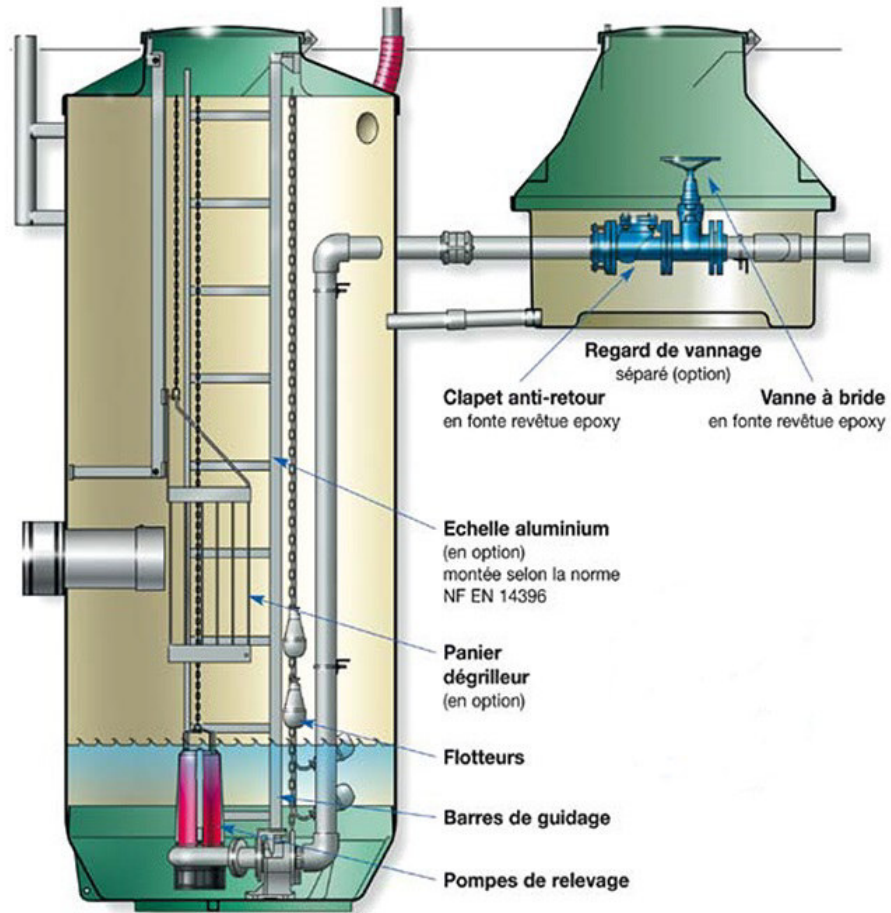


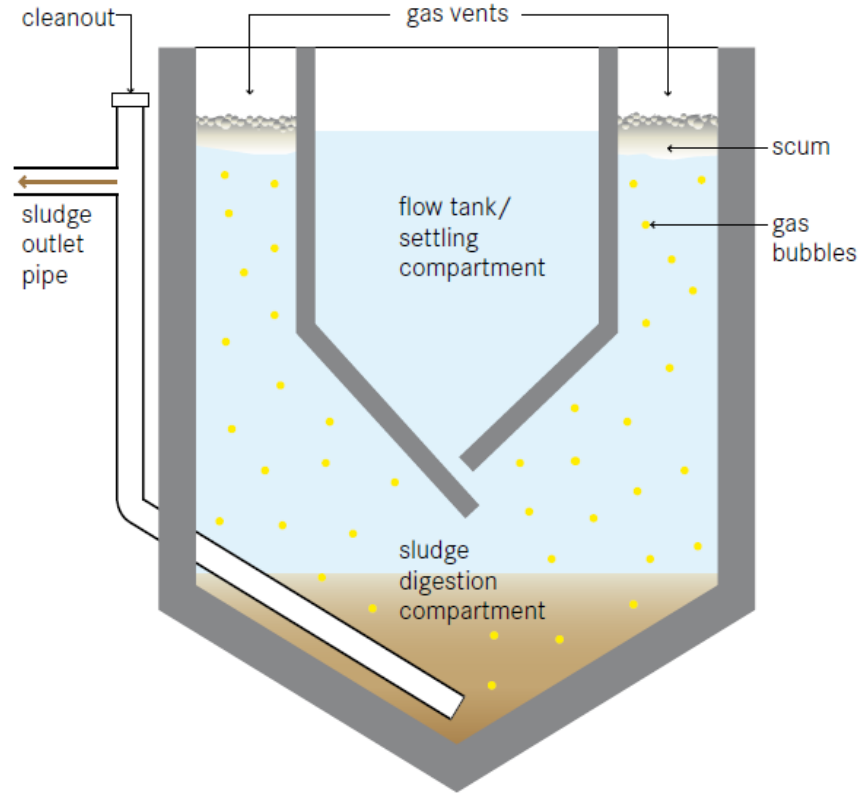
Figure 3.19 : l'installation de la station de relevage (puit) (Google image, 2019).

### 3.7.2 Traitement primaire :

#### 3.7.2.1 La fosse toutes eaux :

On propose dans notre cas d'étude d'utiliser une fosse toutes eaux de type Imhoff.





**Figure 3.20** : fosse toutes eaux de type Imhoff (Tilley et al, 2014).

Les fosses de type Imhoff sont recommandés pour les flux d'eaux usées domestiques ou mixtes comprises entre 50 et 20 000 équivalents habitants. Ils sont capables de traiter des charges organiques élevées et résistent aux charges de choc organiques. Les besoins d'espace sont faibles. Les réservoirs Imhoff peuvent être utilisés dans les climats chauds et froids. Comme le réservoir est très haut, il peut être construit sous terre si la nappe phréatique est basse et si l'emplacement n'est pas sujet aux inondations (Tilley et al, 2014).

$$NEH = \frac{Q_{moy}}{d \times 0,8}$$

Avec d : la dotation =200l/j/hab

Q<sub>moy</sub> : le débit moyen d'eau usée=105,15 m<sup>3</sup>/j.

D'où le nombre équivalent d'habitant 'NEH' = 660 EH.

### 3.7.2.2 Volume utile de la fosse :

D'après la recommandation de LIENARD 1991, l'utilisation de la fosse septique qui a un temps de rétention relativement court (12 heures) dans le but d'éviter la création des conditions anaérobiques et de diminuer les mauvaises odeurs qui peuvent créer en surface des marais.

### 3.7.2.3 Géométrie de la fosse toutes eaux :

Le temps de séjour  $t_s=0,5$  jour pour un débit moy de  $1,217 \text{ l/s}=105,15 \text{ m}^3/\text{j}$

$$V(\text{m}^3) = Q_{\text{moy}} \times t_s = 105,15 \times 0,5 = 52,58 \text{m}^3$$

Soit :  $V= 53\text{m}^3$

On propose une profondeur  $H=1,5$  m, pour cette valeur on aura une superficie égale  $35,05 \text{ m}^2$ , de plus on peut partager cette fosse en deux partie égales, afin de facilité l'opération de nettoyage de la fosse.

Sachant que ces deux parties de la fosse auront une forme rectangulaire avec une surface de  $17,53 \text{ m}^2$ , largeur de 3m et 6m de longueur Chacune.

### 3.7.2.4 Regard de répartition :

Le regard de répartition est un ouvrage qui permet de distribuer l'apport de l'effluent des eaux usées équitablement vers les marais, il est situé en amont et en aval de la fosse toutes eaux.



**Figure 3.21** : regard de répartition (Multimat).

### 3.7.2.5 Filtre de finition :

Il est a noter que ce dispositif est installé a l'amont du système a flux horizontal , Ce genre de filtre a pour role essentielle de filtrer les eaux afin d'obtenir une meilleur qualité d'eau.



**Figure 3.22 :** filtre de finition (Abebsi,2011).

### 3.7.3 Traitement secondaire :

Les marais construit permettent de traiter les eaux usées biologiquement par l'élimination de la matière organique et tous les polluants microbiologique.

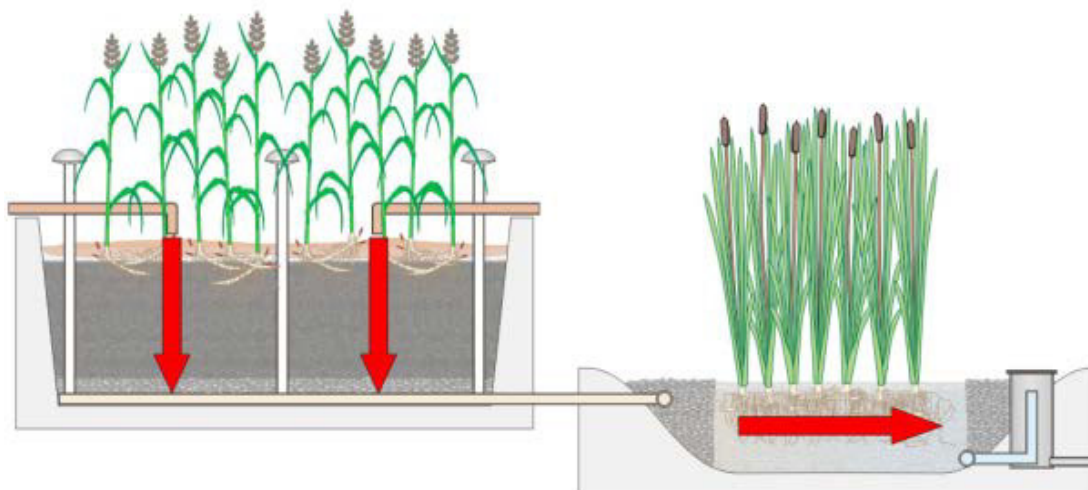
#### 3.7.3.1 Dimensionnement des filtres :

##### 3.7.3.1.1 Choix d'un système de marais artificiel :

le choix d'un système de marais à écoulement horizontal ou vertical dépendra des analyses des eaux usées .Dans notre cas d'étude on remarque que les résultats des analyses obtenus montrent que le teneur de la DBO<sub>5</sub> et de l'azote ammoniacal sont nettement supérieures aux Normes de réutilisation des eaux usées épurées ,d'où la nécessité d'utiliser un système hybride de marais qui sera composé de deux filtre respectivement, le premier sera un filtre à écoulement vertical qui aura pour rôle de dégrader la matière organique et la transformée en matière minérale (par son aération qui permet la transformation de l'azote ammoniacal en nitrite et nitrate « nitrification » ) le second sera un filtre à écoulement horizontal qui aura pour fonction d'enlever la matière

minéral (opération de transformation des nitrates en azote gazeux appelé ‘dénitrification’ en raison des conditions anaérobiques de ce type de système).

Il est à noter que suite à l’existence d’une surface suffisamment étroite cela nous permettra d’installer ce type de système de traitement (filtre vertical et deux filtres horizontaux) (ABIBSI, 2011 ; société québécoise de phyto technologie, 2014).



**Figure 3.23 :** Vue en coupe d’un marais filtrant hybride avec la combinaison d’un marais sous-surface à flux vertical suivi d’un marais sous-surface à flux horizontal (Gagnon et al, 2013).

#### 3.7.3.1.2 Données numériques du jardin Landon:

La concentration moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> à l’entrée de la station DBO<sub>5e</sub>=95 mg/l.

La porosité du gravier  $n=0,35$

La profondeur du filtre horizontal  $h=0,6m$ .

Le débit moyen journalier  $Q_{moy} = 1,217 \text{ l/s} = 105,15 \text{ m}^3/\text{j}$ .

Le débit maximal journalier  $Q_{max} = 1,601 \text{ l/s} = 138,33\text{m}^3/\text{j}$ .

### 3.7.3.1.3 Détermination des caractéristiques des filtres :

#### 3.7.3.1.3.1 Dimensionnement du filtre vertical :

D'après la formule (2) citée dans le premier chapitre :

$Q_{moy}$  = le débit moyen journalier et repartie sur les cinq cellules proposées. (21,03 m<sup>3</sup>/j pour chaque cellule).

$C_{DBO5}$  = le taux d'oxygène éliminé par le filtre vertical en Kg/m<sup>3</sup> (élimination de 40% de la DBO<sub>5</sub> qui est de 38mg/l). 0,038 kg/m<sup>3</sup>

On trouve  $DO = 0,80$  Kg/j.

Et à l'aide de la formule (1) citée dans le premier chapitre, on obtient une surface du filtre vertical de  $S_v = 33,33$  m<sup>2</sup>, pour une forme géométrique rectangulaire, la longueur de ce filtre sera 8,33 m et sa largeur sera 4 m.

#### 3.7.3.1.3.1.1 Le temps de rétention :

Le temps de rétention des eaux usées dans le filtre vertical sera calculé par la formule (3) citée dans le premier chapitre :

$Q_{max}$  = le débit maximal journalier et repartie sur les cinq cellules proposé (27,67m<sup>3</sup>/j pour chaque avec  $h = 0,7$ m).

Alors le temps de rétention dans le filtre vertical est : 0,3 jours, c'est-à-dire 7,2heures, on prend 12heures.

Inclinez le fond le long de la direction d'écoulement de l'entrée à la sortie pour permettre un drainage facile lorsque la maintenance est requise. Aucune recherche n'a été menée pour déterminer une pente optimale, mais une pente de 0,5 à 1% est recommandée pour faciliter la construction et assurer un drainage adéquat (UN-HABITAT, 2008).

#### 3.7.3.1.3.2 Dimensionnement des filtres horizontaux :

La surface est déterminée par la formule (4) citée dans le premier chapitre :

La concentration moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> à l'entrée (mg/l) est de 57 mg/l.

La concentration moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> souhaitée à la sortie du premier filtre horizontal (41mg/l).

La concentration moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> souhaitée à la sortie du deuxième filtre horizontal est (mg/l) 30mg/l (JORA 2012).

**NB :** On peut améliorer la qualité des eaux usées épuré destiné à l'irrigation (concentration moyenne journalière enDBO5 de 30 mg/l qui est une norme nationale à 9 mg/l qui est une norme internationale si on avait une surface plus importante que notre surface disponible).

La porosité du gravier, d'après (US EPA) et pour un filtre planté)  $n=0,35$

La profondeur du filtre  $h= 0,6$  m

Le débit maximal journalier  $Q_{max} : 1,601 \text{ l / s} = 138,33 \text{ m}^3 / \text{j}$

Le débit moyen journalier  $Q_{moy} : 1,217 \text{ l / s} = 105,15 \text{ m}^3 / \text{j}$

On se basera sur notre étude sur les guides de l'EPA, et de l'APAT, pour cela, on prendra dans notre cas les valeurs :  $K_{20} = 1,104$  et  $\theta = 1,06$ .

$T_w$  = température de la zone humide =  $16^\circ\text{C}$ .

$T_R$  = température de référence =  $20^\circ\text{C}$ .

D'après la formule (5),  $K_T$  égal :  $0,87$ .

Comme les filtres verticaux, les filtres horizontaux sont en nombre de 5, alors  $Q_{max} = 27,67 \text{ m}^3/\text{j}$  et  $Q_{moy} = 21,03 \text{ m}^3/\text{j}$ .

Donc la surface du premier filtre horizontal est  $Sh = 37,93 \text{ m}^2$  et celle du deuxième filtre est  $Sh = 35,96 \text{ m}^2$ .

#### **3.7.3.1.3.2.1 Le temps de rétention :**

D'après la formule (6) citée dans le premier chapitre, le temps de rétention dans le premier filtre horizontal est de 0.3jours, on prendra 12 heures, et pour le deuxième filtre : 0.3jours, on prendra aussi 12 heures. (Akratos et Tsihrintzis, 2007; Gikas et al. 2013; Fu et al. 2014).

#### **3.7.3.1.3.2.2 Evaluation de la géométrie du filtre :**

La géométrie des deux filtres serrant déterminé à l'aide de la formule (7) citée dans le premier chapitre, tel que :

La conductivité hydraulique du milieu saturé (m/j)  $K_S = 500 \text{ m/ j}$ .

Dans tous les cas la pente du fond doit être supérieur à 0.5% (Groupe Macrophytes de Traitement des Eaux Usées, 2005).

**3.7.3.1.3.2.3 La géométrie du premier filtre horizontal :**

D'après le débit moyen qui transite à travers le premier filtre (5 cellules) qui est de l'ordre de :  
21,03 m<sup>3</sup>/j.

dh/dL = la pente choisie est 0.7%.

En appliquant la formule de calcul de la section transversale, on obtient  $A_c = 6,01\text{m}^2$ .

Si on considère la profondeur  $h=0,6$  m, la longueur sera calculer par la méthode suivante :

$$A_c = h \times L$$

Alors :

$$L = 10,02 \text{ m}$$

La largeur sera déterminée à l'aide de la section horizontal du premier filtre :

$$\text{La largeur} = \frac{\text{section horizontal}}{\text{longueur}} = \frac{37,93}{10,02} = 3,79 \text{ m.}$$

Le rapport  $\frac{L}{l}$  égal : 2,64 est comprise entre 0,5 et 3.

**3.7.3.1.3.2.4 La géométrie du deuxième filtre horizontal :**

D'après le débit moyen qui transite à travers le deuxième filtre (5 cellules) qui est de l'ordre de :  
21,03 m<sup>3</sup>/j.

dh/dL = la pente choisie est 0.7%.

En appliquant la formule de calcul de la section transversale, on obtient  $A_c = 6,01 \text{ m}^2$ .

Si on considère la profondeur  $h=0,6$  m, la longueur sera calculer par la méthode suivante :

$$A_c = h \times L$$

Alors :

$$L = 10,02 \text{ m}$$

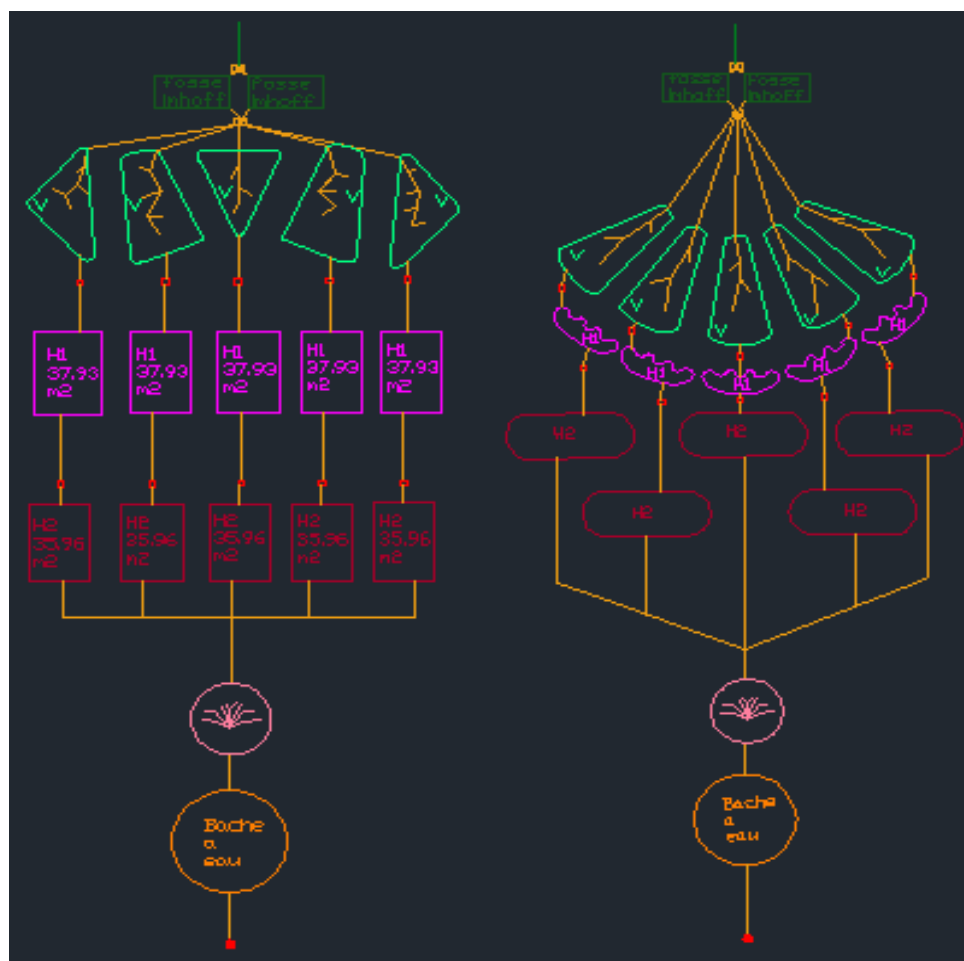
La largeur sera déterminée à l'aide de la section horizontal de deuxième filtre:

$$\text{La largeur} = \frac{\text{la section horizontal}}{\text{la longueur}} = \frac{35,96}{10,02} = 3,59 \text{ m.}$$

Le rapport  $\frac{L}{I}$  égal : 2,79 est comprise entre 0,5 et 3.

### 3.7.4 Les formes des filtres proposés :

Pour des raisons esthétiques du jardin Landon, on propose deux stations de formes géométriques différentes.



**Figure 3.24 :** les deux formes proposées de la station (capture d'écran obtenu à partir l'autocad 2013)

### 3.8. Le bassin d'accumulation :

Pour la bonne exécution du projet on propose la mise en place d'une bache à eau enterrée avec une forme circulaire d'une superficie de 70,1 m<sup>2</sup> et de 3 m de profondeur.



### Chapitre3 : Calcul et dimensionnement de la station de phytoépuration

Cette Bâche a pour objectif de stocker les eaux usées traitées après la station d'une part, et d'autre part on propose aussi un Bassin d'accumulation circulaire surélevé avec une hauteur de 4m qui recevra les eaux de la bâche par pompage pour qu'il puisse les distribués pour l'irrigation du jardin.

$$Q_{\text{moy}} = V/t_s$$

$$V = Q_{\text{moy}} \times t_s$$

$Q_{\text{moy}}$  = le débit moyen = 105,15 m<sup>3</sup>/j.

$T_s$  = le temps de séjours = 2 jours.

Alors le volume du bassin d'accumulation est 210,3 m<sup>3</sup>.

La hauteur du bassin sera  $H = 4\text{m}$  pour assurer une pression suffisante dans tout le réseau d'irrigation dans le jardin.

Alors la surface du bassin est :

$$s = \frac{V}{H} \quad \longrightarrow \quad s = 52,58\text{m}^2$$

$$s = \frac{\pi D^2}{4} \quad \longrightarrow \quad D = 8,18\text{m}.$$

#### 3.9. Proposition de réalisation d'un jet d'eau :

Sachant que le jardin Landon est un site de loisir, on peut donc proposer la réalisation d'un jet d'eau alimenté par les eaux épurées avant la Bâche à eau.

L'alimentation se fait par une conduite en PEHD de diamètre 63mm.

Le jet d'eau proposé est de type jet d'eau en cascade, il sera construit en forme de pyramide à l'aide d'un massif de roche bien taillé, à l'intérieur d'un caniveau circulaire qui aura un rôle de récupérer les eaux écoulé sur le massif rocheux en cascade puis les acheminées vers la Bâche à eau.

Le fonctionnement de ce jet est assuré par une pompe horizontale de 1 à 1,2 l/s y compris les pièces spéciales, les grilles en PVC de diamètres 0,5×0,5m posés sur le caniveau circulaire.

Ce jet d'eau aura pour rôle essentiel d'oxygéner l'eau traité par notre station qui sera bénéfique pour l'irrigation de notre jardin.

#### **3.10. Conclusion :**

Pour La réutilisation des eaux usées épurées par les filtres plantés de macrophytes , pour l'irrigation de l'espace vert du jardin Landon dans la ville de Biskra, on a procédé dans ce chapitre au dimensionnement d'une station de phytoépuration composé d'un système hybride constitué de trois filtre , un filtre vertical et de deux filtre horizontaux, de plus on a proposé aussi comme une phase de prétraitement , un dégrilleur de type panier dégrilleur inoxydable avec une fosse toutes eaux de type imhoff.

Ces eaux épurées seront acheminées à partir de la bêche à eau vers le bassin d'accumulation pour l'irrigation du jardin ou on peut aussi proposer une irrigation directe à partir de la Bêche à eau par pompage.

Dans le cas où le jardin n'a pas besoin de ces eaux traitées on peut les réinjectées au réseau d'assainissement passant près du jardin.

Pour joindre l'utile à l'agréable on a proposé la réalisation d'un jet d'eau qui sera alimenté par les eaux traités de la station.

**CHAPITRE 4 : Calcul des  
besoins en eau pour l'irrigation  
du jardin Landon.**

**4.1. Introduction :**

Chaque espèce de plante a besoin d'une irrigation permanente, sachant que chacune de ces espèces a un besoin en eau différent à l'autre, et ces besoins sont liés directement à l'évapotranspiration. Cette dernière dépend de quelques paramètres, notamment l'humidité, la température, les précipitations ... Etc.

Les besoins en eau des plantes ainsi que leur régime d'irrigation seront évalués, en se basant sur le phénomène d'évapotranspiration de notre région d'étude.

**4.2. Les types des plantes existant dans l'espace vert du jardin Landon:**

Les différentes plantes existantes au jardin Landon sont citées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 4.1 : Les types des plantes existant dans l'espace vert du jardin Landon**

<b>NOM</b>	<b>NOM COMMUN</b>	<b>FAMILLE</b>
Acacia farnesiana	/	Fabaceae
Acacia cianophylla	/	Fabaceae
Adhatodavastica	Nois de Malabar	Acanth+aceae
Agave ferox	Agave feroce	Agavaceae
Bougainville glabre	Bougainville	Nyctaginaceae
Bougainville	Bougainville	Nyctaginaceae
Bombussavulgaris	Bambou	Poaceae
Casuarina equisetifolia	Casuarina pond'australie	Casuarinaceae
Ceratoniasiliqua	caroubier	Fabaceae
Chamerops humilis	Palmier nain	Araceae
Cupressus sempervirens	Cypres commun	Cupressaceae
Coronillaémerus L	/	/
Durantaplumeri	Duranta du plumier	Varbenaceae
Eucaliptuscarnaldolensis	Gommier	Myrtaceae
Ficus microcarpa	Bananière de Malaisie	Moraceae
Ficus longifolia	/	Moraceae
Ficus religiosa	Figuier des pagodes	Moraceae
Lataniacamara	Latana	Verbenaceae
Lataniaantaroides	Latanier	Aracaceae
Leucaenaglauca	/	/
Medicagoarborea	Luzerne Arborescente	Papilionaceae

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

Neriumoleander	Laurier rose	Apocynaceae
Oleaeuropea	Olivier	Oleaceae
Olea locale	Olivier	Oleaceae
Phoenixcanariensis	Palmier des canaries	Aracaceae
Phoenixdactilifera	Palmier dattier	Aracaceae
phyllostachys	Bambou	Poaceae
Pinushalepensis	Pin d'alg	Pinaceae
Populus alba	Peuplier blanc	Salicaceae
Punicagramatum	Grenadier	Punicaceae
Rosa damascena	Rosier	Rosaceae
Rosa SPP	Rosier	Rosaceae
Schinus mollis	Faux poivrier	Meliaceae
Schistusterebinthifolius	/	/
Thuja orientalis	Thuja d'orient	Cupressaceae
Vitex agnus castus	/	/
Washingtonia robusta	Palmier du mexique	Aracaceae
Washingtonia filifera	Washingtonia	Aracaceae
Zizyphus paliurus wild	Paliurus spina christi	Rhamnaceae
Albiziajulibrissin	Acacia de Constantinople	Fabaceae

(Dossier des espaces verts, Ministère de l'aménagement des territoires et de l'environnement,  
Landon parc)

### 4.3. Le système d'irrigation actuel dans le jardin landon :

Le jardin landon est actuellement irrigué par deux systèmes qui sont :

- **L'irrigation par rigole :** est constitué d'une seguia étalée tout le long du jardin, alimenté par une conduite de 100 mm de diamètre en PVC, provenant d'un forage existant à la périphérie du jardin.



Figure 4.1 : Photo montrant l'alimentation du jardin à partir du forage



Figure 4.2 : Photo montrant d'une seguia étalée tout le long du jardin

- **L'irrigation par submersion** : est présenté par l'inondation de la parcelle à irriguer en eau, ces parcelles sont alimentés par la seguia à l'aide d'une conduite de 150 mm de diamètre (ce système d'irrigation n'est pas économique car il nécessite des volumes d'eau énorme).





**Figure 4.3 :** Photo montrant l'irrigation des parcelles par submersion



**Figure 4.4 :** Photo montrant la conduite alimentant les parcelles à partir de la seguia

#### **4.4. Choix du système d'irrigation :**

Suite aux inconvénients des systèmes d'irrigation utilisés actuellement (par rigole et par submersion), on propose une irrigation localisée, en utilisant des conduites en PEHD ayant une pression nominale de 10 bars en raison de leur résistance mécanique (en cas de fouille).

**4.5. Estimation de la surface des espaces verts étudiés :**

La surface totale plantée de notre projet est de 22928.06 m<sup>2</sup>, formé de 95 parcelles.

Les surfaces de chaque parcelle sont présentées dans les tableaux suivants :

**Tableau 4.2 : Les surfaces de chaque parcelle dans le jardin Landon.**

parcelle	surface	parcelle	surface	parcelle	surface	parcelle	surface
1	477.3143	19	30.6255	37	710.2335	55	196.4620
2	8.9737	20	149.7969	38	394.5531	56	247.4543
3	10.3066	21	209.8700	39	199.3989	57	236.7272
4	121.7075	22	112.9753	40	88.9388	58	237.5707
5	132.1446	23	104.6970	41	189.5704	59	259.4937
6	198.7682	24	586.1507	42	80.2688	60	128.8286
7	204.3180	25	1125.1101	43	235.1402	61	126.4875
8	26.6352	26	39.7958	44	178.5521	62	130.8207
9	15.9284	27	97.0373	45	1408.2689	63	228.6145
10	3.0541	28	166.4062	46	1177.6801	64	149.3214
11	14.1197	29	103.1427	47	166.0827	65	374.2313
12	8.3449	30	140.7806	48	235.3448	66	170.4923
13	95.8409	31	40.2751	49	686.0037	67	837.7458
14	137.5717	32	502.3349	50	509.0949	68	358.0963
15	86.1252	33	94.4598	51	1003.2165	69	118.3638
16	102.8656	34	156.3525	52	365.7788	70	112.6835
17	143.4489	35	584.5447	53	279.3303	71	92.3375
18	162.0624	36	443.2570	54	81.8128	72	295.4552
				parcelle	surface	parcelle	surface
				73	249.7113	84	120.7082
				74	91.0718	85	56.4085
				75	242.2018	86	79.1289
				76	122.8898	87	171.8311
				77	71.4188	88	77.3158
				78	166.7701	89	83.5665
				79	175.5384	90	258.5970



80	57.9601	91	60.3407
81	143.6987	92	68.8860
82	297.2120	93	374.1038
83	169.1787	94	215.4129
95	149.9150		

### 4.6. Calcul des besoins en eau des espaces verts du jardin landon :

Généralement les besoins d'une culture sont déterminés par la formule citée dans le chapitre N° 2 tel que :

$$ETM = ETP \cdot Kc$$

Puisque notre cas d'étude s'appuie sur l'irrigation de plusieurs espèces plantées dans le jardin, et pour le dimensionnement du réseau d'irrigation qui est lié aux besoins des plantes en irrigation pour cela on s'appuiera principalement sur les besoins du palmier Dattier vu sa consommation élevée en eau par rapport à d'autres espèces.

Pour les calculs des besoins en irrigation on prendra le coefficient cultural  $Kc$  du palmier Dattier qui est le plus élevé.

D'après Dubost (1994), a déterminé le coefficient  $Kc$  pour les palmiers, la valeur de 0,7 pour les mois de novembre à février, et de 0,9 à 1 à partir du mois de mars jusqu'au mois d'août et 0,8 pour les mois de septembre à novembre.

### 4.7. Calcul de l'ETP :

En mesurant les caractéristiques climatiques de la région de Biskra, Dubost, en 1983 a déterminé les valeurs d'ETP (l'évapotranspiration potentielle) selon la relation de PENMAN. La superficie du jardin Landon, lieu de notre étude, étant  $A = 22928.06 \text{ m}^2$

Nous déterminerons les besoins totaux en eau comme suit :

$$ETM = ETP \cdot Kc \text{ (mm)} \text{ (Rappel : } 1\text{mm} = \text{L/m}^2\text{/mois} = 10\text{m}^3\text{/hac)}$$

$$ETM \text{ (l/s)} = ETM \text{ (l/m}^2\text{/ heure)} \times A \text{ (m}^2\text{)} / 3600 \text{ (s)}$$

**Tableau 4.3 : calcul des besoins en eau d'une culture**

les mois	KC	ETP	ETM (l/m2/mois)	ETM (l/s)
octobre	0.8	159.03	127.224	1.089083
novembre	0.7	77.4	54.18	0.47926
décembre	0.7	57.04	39.928	0.341798
janvier	0.7	66.96	46.872	0.401241
février	0.7	84.56	59.192	0.54165
mars	0.9	130.2	117.18	1.003103
avril	0.9	178.8	160.92	1.42345
mais	0.9	226.92	204.228	1.748265
juin	0.9	231.9	208.71	1.846186
juillet	0.9	238.7	214.83	1.839021
aout	0.9	229.71	206.739	1.76976
septembre	0.8	207.3	165.84	1.466971

Donc les besoins maximal en eau pour l'irrigation du jardin Landon est 1.85 l/s.

**4.8. Programme d'irrigation:**

Concernant le programme d'irrigation du jardin et suite au débit soutiré puis traité qui est de l'ordre 1.217 l/s et en le comparant au débit calculé 1.850 l/s et pour compenser ce manque en propose de partager le jardin en deux parties sachant que chaque partie sera irrigué pendant 4 heures.

**4.9. Calcul du débit d'irrigation:**

Sachant que l'irrigation de l'espace vert du jadrin Landon est partagée en deux parties et que l'irrigation de celles-ci sera effectuée pendant 4 heures séparément, le calcul du débit d'irrigation qui est le même pour les deux parties sera calculé par la méthode suivante :

A partir du volume calculé du bassin d'accumulation qui est égal à 210.3 m<sup>3</sup>, on détermine le débit d'irrigation par la méthode suivante :

$$Q_{irr} = \frac{V}{T}$$

**NB :**

$Q_{\text{irr}}$  : le débit d'irrigation en l/s.

V : le volume du bassin d'accumulation en m<sup>3</sup>.

T : la durée d'irrigation égal à 4 heures.

$$Q_{\text{irr}} = \frac{210.3}{4} = 52.575 \text{ m}^3/\text{h}.$$
$$= 0.0146 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Alors le débit d'irrigation  $Q_{\text{irr}} = 14.60$  l/s.

### 4.10. Calcul du débit spécifique:

Le calcul du débit spécifique de chaque partie est proportionnel à la surface à irriguer.

NB : chaque partie est formé de plusieurs parcelles

- Calcul du débit spécifique de la première partie est donné par le tableau suivant :

**Tableau 4.4:** les surfaces de la première partie

les parcelles	surface m <sup>2</sup>	les parcelles	surface m <sup>2</sup>
1	477.3143	26	39.7958
2	8.9737	27	97.0373
3	10.3066	28	166.4062
5	132.1446	29	103.1427
6	198.7682	30	140.7806
7	204.318	31	40.2751
8	26.6352	32	502.3349
9	15.9284	33	94.4598
10	3.0541	34	156.3525
11	14.1197	35	584.5447
12	8.3449	36	443.257
13	95.8409	37	710.2335
14	137.5717	38	394.5531
15	86.1252	39	199.3989

16	102.8656	59	259.4937
17	143.4489	60	128.8286
18	162.0624	61	126.4875
19	30.6255	68	358.0963
20	149.7969	79	175.5384
21	209.87	91	60.3407
22	112.9753	92	68.886
23	104.697	cumule	8997.29
24	586.1507		
25	1125.11		

Alors le débit spécifique de cette partie est égal :  $Q_{sp1} = \frac{Q_{irr}}{Scum1}$

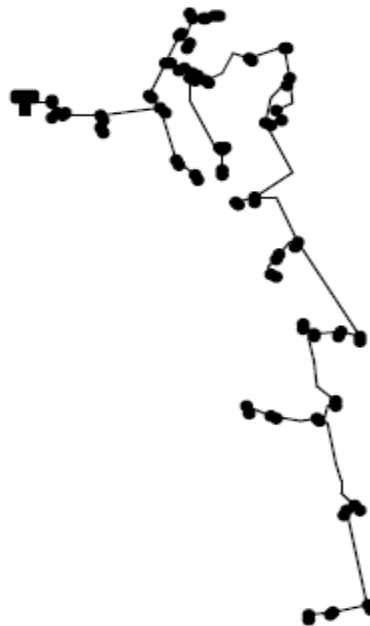
Telque :

$Q_{sp1}$  = le débit spécifique de la première partie en l/s/m<sup>2</sup>.

$Q_{irr}$  = le débit d'irrigation 14.60 l/s.

$Scum1$  = le cumule des surface de la première partie 8997.29 m<sup>2</sup>.

Alors :  $Q_{sp1} = 0.001623$  l/s/m<sup>2</sup>.



**Figure 4.5:** le réseau de distribution de la première partie du jardin sur EPANET.

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

➤ Calcul du débit spécifique de la deuxième partie est donné par le tableau suivant :

**Tableau 4.5:** les surfaces de la deuxième partie

parcelles	surface m2	parcelles	surface m2	parcelles	surface m2
1	477.3143	54	81.8128	76	122.8898
2	8.9737	55	196.462	77	71.4188
3	10.3066	56	247.4543	78	166.7701
4	121.7075	57	236.7272	80	57.9601
40	88.9388	58	237.5707	81	143.6987
41	189.5704	62	130.8207	82	297.212
42	80.2688	63	228.6145	83	169.1787
43	235.1402	64	149.3214	84	120.7082
44	178.5521	65	374.2313	85	56.4085
45	1408.269	66	170.4923	86	79.1289
46	1,177.68	67	837.7458	87	171.8311
47	166.0827	69	118.3638	88	77.3158
48	235.3448	70	112.6835	89	83.5665
49	686.0037	71	92.3375	90	258.597
50	509.0949	72	295.4552	93	374.1038
51	1003.217	73	249.7113	94	215.4129
52	365.7788	74	91.0718	95	149.915
53	279.3303	75	242.2018	cumule	13930.77

Alors le débit spécifique de cette partie est égal :  $Q_{sp2} = \frac{Q_{irr}}{S_{cum2}}$

Telque :

$Q_{sp1}$  = le débit spécifique de la première partie en l/s/m<sup>2</sup>.

$Q_{irr}$  = le débit d'irrigation égal 14.60 l/s.

$S_{cum2}$  = le cumule des surface de la première partie égal 13930.77 m<sup>2</sup>.

Alors :  $Q_{sp1} = 0.001048$  l/s/m<sup>2</sup>.

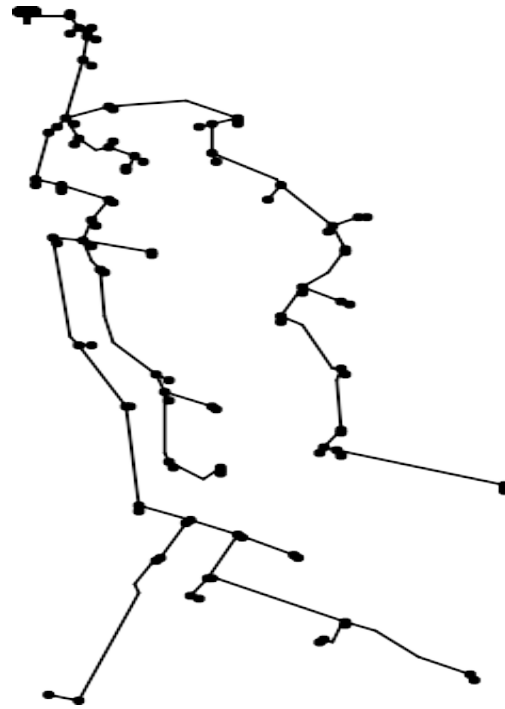


Figure 4.6 : le réseau de distribution de la deuxième partie du jardin sur EPANET.

#### 4.11. Calcul des débits d'irrigation des parcelles pour chaque partie:

Le débit d'irrigation de chaque parcelle par la méthode suivante :

$$Q_{\text{irr},p} = S_p \times Q_{\text{spi}}$$

Telque :

$Q_{\text{irr},p}$  :le débit d'irrigation de chaque parcelle en l/s.

$S_p$  : la surface de parcelle en  $\text{m}^2$ .

$Q_{\text{spi}}$  : le débit spécifique de chaque partie en  $\text{l/s/m}^2$ .

➤ La partie 1 : la partie 1 est donnée par le tableau suivant :

**Tableau 4.6** : calcul des débits d'irrigation de chaque parcelle pour la partie 1.

Parcelles	Surface m2	Débit spécifique l/s/m2	Débit d'irrigation de la parcelle	Noeuds Ni-Nf
1	477.3143	0.001623	0.7747	k2-n2
2	8.9737	0.001623	0.0146	k1-n1
3	10.3066	0.001623	0.0167	k3-n3
5	132.1446	0.001623	0.2145	k54-n54
6	198.7682	0.001623	0.3226	k55-n55
7	204.3180	0.001623	0.3316	k56-n56
8	26.6352	0.001623	0.0432	k59-n59
9	15.9284	0.001623	0.0259	k60-n60
10	3.0541	0.001623	0.0010	k66-n66
11	14.1197	0.001623	0.0229	k62-n62
12	8.3449	0.001623	0.0135	k61-n61
13	95.8409	0.001623	0.1555	k63-n63
14	137.5717	0.001623	0.2233	k67-n67
15	86.1252	0.001623	0.1398	k64-n64
16	102.8656	0.001623	0.1670	k65-n65
17	143.4489	0.001623	0.2328	k72-n72
18	162.0624	0.001623	0.2630	k73-n73
19	30.6255	0.001623	0.0497	k75-n75
20	149.7969	0.001623	0.2431	k74-n74
21	209.8700	0.001623	0.3406	k68-n68
22	112.9753	0.001623	0.1834	k69-n69
23	104.6970	0.001623	0.1699	k70-n70
24	586.1507	0.001623	0.9513	k77-n77
25	1125.1101	0.001623	1.8261	k76-n76
26	39.7958	0.001623	0.0646	k71-n71
27	97.0373	0.001623	0.1575	k79-n79
28	166.4062	0.001623	0.2701	k78-n78
29	103.1427	0.001623	0.1674	k81-n81

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

30	140.7806	0.001623	0.2285	k80-n80
31	40.2751	0.001623	0.0654	k83-n83
32	502.3349	0.001623	0.8153	k84-n84
33	94.4598	0.001623	0.1533	k85-n85
34	156.3525	0.001623	0.2538	k87-n87
35	584.5447	0.001623	0.9487	k91-n91
36	443.2570	0.001623	0.7194	k92-n92
37	710.2335	0.001623	1.1527	k93-n93
38	394.5531	0.001623	0.6404	k94-n94
39	199.3989	0.001623	0.3236	k95-n95
59	259.4937	0.001623	0.4212	k88-n88
60	128.8286	0.001623	0.2091	k89-n89
61	126.4875	0.001623	0.2053	k90-n90
68	358.0963	0.001623	0.5812	k86-n86
79	175.5384	0.001623	0.2849	k82-n82
91	60.3407	0.001623	0.0979	k58-n58
92	68.8860	0.001623	0.1118	k57-n57
	8997.29		14.60	

➤ La partie 2 : la partie 2 est donnée par le tableau suivant :

**Tableau 4.7** : calcul des débits d'irrigation de chaque parcelle pour la partie 2.

les parcelles	la surface m <sup>2</sup>	le débit spécifique l/s/m <sup>2</sup>	le débit d'irrigation de la parcelle	Les noeuds Ni-Nf
1	477.3143	0.001039	0.4959	k2-n2
2	8.9737	0.001039	0.0093	k1-n1
3	10.3066	0.001039	0.0107	k3-n3
4	121.7075	0.001039	0.1265	k4-n4
40	88.9388	0.001039	0.0924	k53-n53
41	189.5704	0.001039	0.1970	k51-n51
42	80.2688	0.001039	0.0834	k52-n52



## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

43	235.1402	0.001039	0.2443	k50-n50
44	178.5521	0.001039	0.1855	k47-n47
45	1408.2689	0.001039	1.4632	k48-n48
46	1,177.68	0.001039	1.2236	k43-n43
47	166.0827	0.001039	0.1726	k44-n44
48	235.3448	0.001039	0.2445	k45-n45
49	686.0037	0.001039	0.7128	k46-n46
50	509.0949	0.001039	0.5289	k22-n22
51	1003.2165	0.001039	1.0423	k21-n21
52	365.7788	0.001039	0.3800	k20-n20
53	279.3303	0.001039	0.2902	k39-n39
54	81.8128	0.001039	0.0850	k38-n38
55	196.4620	0.001039	0.2041	k42-n42
56	247.4543	0.001039	0.2571	k36-n36
57	236.7272	0.001039	0.2460	k37-n37
58	237.5707	0.001039	0.2468	k19-n19
62	130.8207	0.001039	0.1359	k18-n18
63	228.6145	0.001039	0.2375	k35-n35
64	149.3214	0.001039	0.1551	k41-n41
65	374.2313	0.001039	0.3888	k34-n34
66	170.4923	0.001039	0.1771	k17-n17
67	837.7458	0.001039	0.8704	k15-n15
69	118.3638	0.001039	0.1230	k16-n16
70	112.6835	0.001039	0.1171	k14-n14
71	92.3375	0.001039	0.0959	k12-n12
72	295.4552	0.001039	0.3070	k31-n31
73	249.7113	0.001039	0.2595	k33-n33
74	91.0718	0.001039	0.0946	k32-n32
75	242.2018	0.001039	0.2516	k40-n40
76	122.8898	0.001039	0.1277	k28-n28
77	71.4188	0.001039	0.0742	k29-n29
78	166.7701	0.001039	0.1733	k30-n30
80	57.9601	0.001039	0.0602	k13-n13

81	143.6987	0.001039	0.1493	k11-n11
82	297.2120	0.001039	0.3088	k10-n10
83	169.1787	0.001039	0.1758	k26-n26
84	120.7082	0.001039	0.1254	k23-n23
85	56.4085	0.001039	0.0586	k27-n27
86	79.1289	0.001039	0.0822	k25-n25
87	171.8311	0.001039	0.1785	k9-n9
88	77.3158	0.001039	0.0803	k24-n24
89	83.5665	0.001039	0.0868	k6-n6
90	258.5970	0.001039	0.2687	k8-n8
93	374.1038	0.001039	0.3887	k5-n5
94	215.4129	0.001039	0.2238	k49-n49
95	149.9150	0.001039	0.1558	k7-n7
	13930.77		14.47	

#### 4.12. La simulation par EPANET2.0 FR :

Pour un débit traité qui est de l'ordre 1.217 l/s on doit procéder au lancement de la simulation par le biais du logiciel EPANET2.0 FR, dans le but est d'assurer les conditions hydraulique favorables qui sont (vitesse – pression- les pertes de charge), et cela pour les trois phases qui sont :

- Phase 1 : remplissage de la station
- Phase 2 : remplissage du bassin d'accumulation
- Phase 3 : l'irrigation de la première partie du jardin
- Phase 3 : l'irrigation de la deuxième partie du jardin

Les données de base pour la simulation sont : les longueurs des tronçons et les côtes du terrain naturel obtenu par le levé topographique.

Les longueurs sont obtenues à partir du réseau d'irrigation proposé par le schéma général exécuté par nos soins dans un fichier autocad 2013, ce fichier sera transformé par un logiciel EPACAD vers un fichier EPANET pour saisir les données et faire les simulations.

4.12.1 Les rapports de la simulation :

La phase 1: remplissage de la station

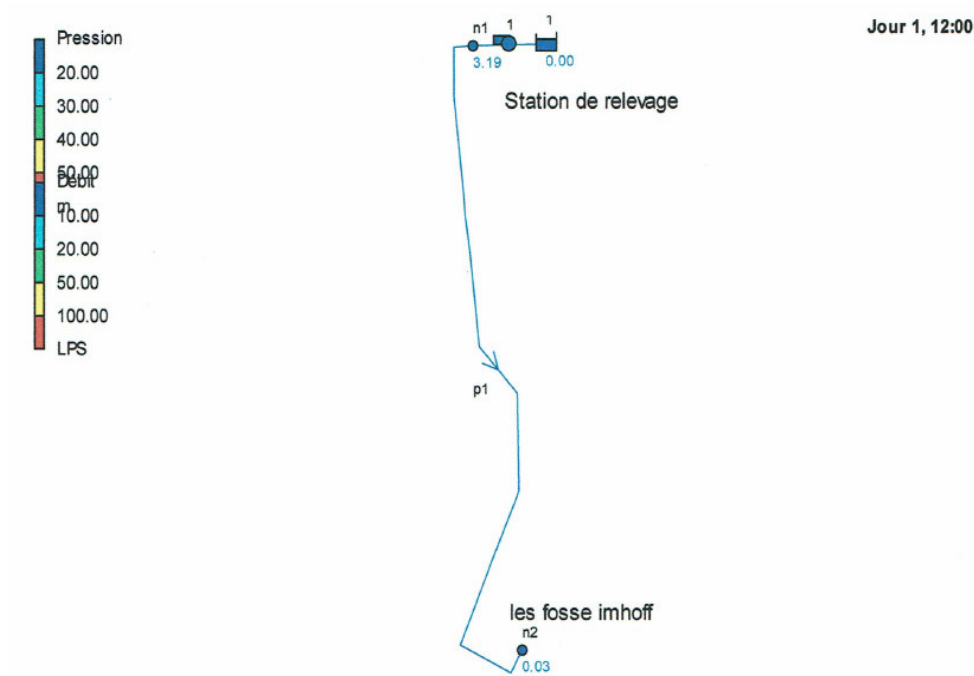


Figure 4.7 : schéma de simulation de la phase remplissage de la station.

Tableau 4.8: Les tableaux de simulation

Tableau des noeuds - arcs:

ID	Nœud	Noeud	Longueur	Diamètre
Arc	Initial	Final	m	mm
p1	n1	n2	282.1	125
1	1	n1	Sans Valeur	Sans Valeur Pompe

Consommation et coût d'énergie:

Pourc.	Rendem.	kWhP.Moyen.	P.Maxim	Coût		
Pompe	Utilis.	Moyen	/m3	kW	kW	/jour
1	100.00	75.00	0.02	0.19	0.19	0.00

Prix Demande Maximale: 0.00

Coût Total: 0.00

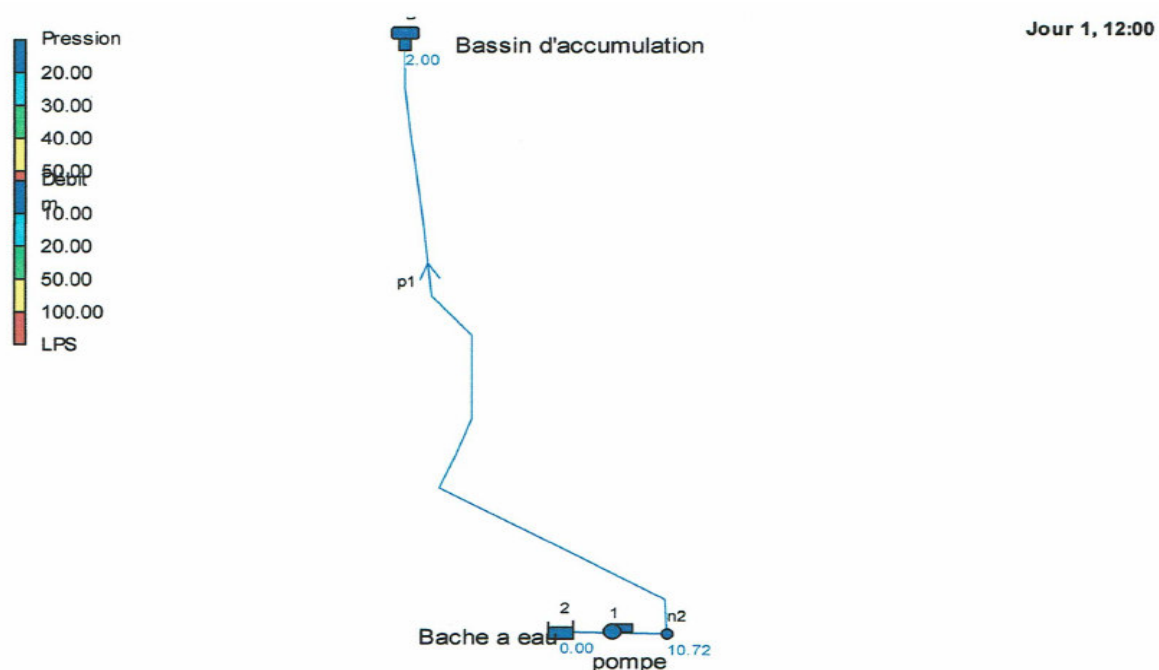
Résultats aux noeuds:

ID Noeud	Demande LPS	Charge m	Pression m	Qualité
n1	1.22	89.53	0.30	0.00
n2	1.22	89.49	1.73	0.00
1	-2.43	83.65	0.00	0.00 Bâche

Résultats aux arcs:

ID Arc	Débit LPS	Vitesse m/s	P.Charge U. m/km	État
p1	1.22	0.10	0.12	Ouvert
1	2.43	0.00	-5.88	Marche Pompe

### La phase 2: remplissage du bassin d'accumulation



**Figure 4.8 :** schéma de simulation de la phase remplissage du bassin d'accumulation

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

Tableau des noeuds - arcs:

ID	Nœud	Noeud	Longueur	Diamètre
Arc	Initial	Final	m	mm
p1	B	n2	335.9	75
1	2	n2	Sans Valeur	Sans Valeur Pompe

Consommation et coût d'énergie:

Pourc. Pompe	Rendem.	kWhP.Moyen.	P.Maxim	Coût		
	Utilis.	Moyen	/m3	kW	kW	/jour
1	100.00	75.00	0.05	0.43	0.43	0.00
Prix Demande Maximale:					0.00	
Coût Total:					0.00	

Résultats aux noeuds:

ID	Demande	Charge	Pression	Qualité
Noeud	LPS	m	m	
n2	1.22	98.32	10.72	0.00
2	-2.42	84.60	0.00	0.00 Bâche
B	1.20	97.88	2.00	0.00 Réservoir

Résultats aux arcs:

ID	Débit	Vitesse	P.Charge U.	État
Arc	LPS	m/s	m/km	
p1	-1.20	0.27	1.31	Ouvert
1	2.42	0.00	-13.72	Marche Pompe

La phase 3: l'irrigation du jardin (1ère partie)

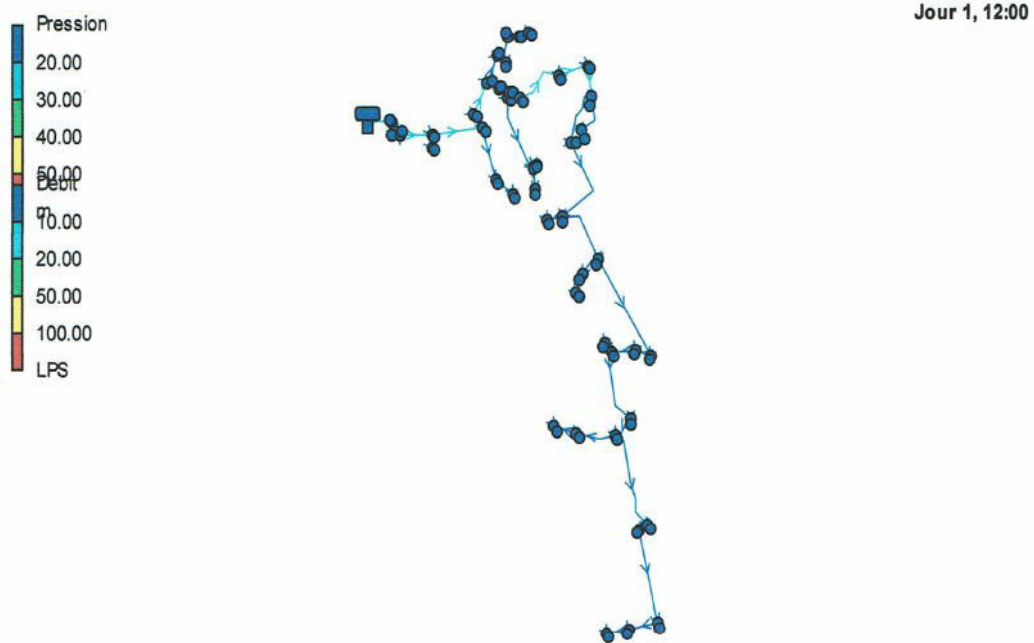


Figure 4.9 : schéma de simulation de l'irrigation du jardin (1ère partie)

Tableau des noeuds - arcs:

ID Arc	Noeud Initial	Noeud Final	Longueur m	Diamètre mm
p1	k1	n1	1.573	20
p2	k2	n2	2.011	40
p3	k3	n3	1.419	20
p42	k95	n95	1.842	32
p43	B	k1	10.71	125
p44	k1	k2	3.919	125
p45	k2	k3	2.733	125
p78	k54	n54	1.694	32
p79	k55	n55	1.56	32
p80	k59	n59	1.413	20
p81	k56	n56	2.852	32
p82	k60	n60	2.297	20
p83	k66	n66	1.767	20

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p84	k68	n68	2.107	40
p85	k67	n67	1.759	32
p86	k72	n72	1.996	32
p87	k61	n61	1.178	20
p88	k63	n63	1.874	32
p89	k64	n64	1.05	32
p90	k65	n65	1.861	32
p91	k73	n73	1.69	32
p92	k75	n75	4.143	20
p93	k69	n69	1.732	32
p94	k70	n70	1.561	32
p95	k57	n57	2.229	32
p96	k3	k54	15	125
p97	k54	k55	5.482	40
p98	k54	k56	22.38	125
p99	k56	k59	6.499	125
p100	k56	k57	22.49	32
p101	k66	k67	5.448	125
p102	k67	k68	2.676	125
p103	k68	k69	32.31	40
p104	k69	k70	1.139	32
p105	k58	n58	1.769	20
p106	k57	k58	10	32
p107	k59	k60	14.65	110
p108	k60	k66	5.723	125
p109	k61	k60	12.84	40
p110	k61	k63	10.36	63
p111	k63	k64	4.896	32
p112	k64	k65	4.257	32
p113	k68	k72	5.863	125
p114	k72	k73	23.52	125
p115	k74	n74	0.9738	32
p116	k73	k74	14.27	125
p117	k74	k75	12.2	110

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p118	k77	n77	2.806	63
p119	k75	k77	22.32	110
p120	k76	n76	4.184	63
p121	k75	k76	17.89	75
p122	k62	n62	1.682	20
p123	k61	k62	5.054	32
p124	k71	n71	2.413	20
p125	k70	k71	8.242	20
p127	k78	n78	2.053	32
p128	k79	n79	1.58	32
p129	k80	n80	2.648	32
p130	k81	n81	2.372	32
p131	k77	k78	41.16	110
p132	k78	k79	7.132	32
p141	k82	n82	2.267	32
p142	k78	k80	27.95	110
p143	k80	k81	9.762	40
p144	k81	k82	9.121	32
p145	k83	n83	1.675	20
p146	k84	n84	1.737	40
p147	k85	n85	1.686	32
p148	k86	n86	1.64	32
p149	k80	k83	47.01	90
p150	k83	k84	7.421	90
p151	k84	k85	10.32	90
p152	k85	k86	4.906	40
p155	k90	n90	2.971	32
p156	k89	n89	2.562	32
p157	k88	n88	1.743	32
p158	k87	n87	2.355	32
p159	k90	k89	10.59	40
p160	k89	k88	17.95	40
p161	k88	k87	11.23	90
p177	k85	k87	32.59	90



## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p178	k88	k91	42.22	90
p179	k91	n91	2.092	50
p181	k92	n92	1.709	40
p182	k91	k92	4.205	90
p183	k94	n94	1.548	40
p184	k93	n93	1.934	50
p185	k92	k93	40.65	90
p186	k93	k94	14.01	40
p187	k94	k95	9.809	32

Résultats aux noeuds:

---

ID	Demande	Charge	Pression	Qualité
Noeud	LPS	m	m	
k1	0.00	97.77	8.07	0.00
n1	0.01	97.77	8.07	0.00
k2	0.00	97.74	8.09	0.00
n2	0.77	97.71	8.06	0.00
k3	0.00	97.71	8.06	0.00
n3	0.02	97.71	8.06	0.00
k95	0.00	94.58	7.41	0.00
n95	0.32	94.57	7.40	0.00
k54	0.00	97.58	8.13	0.00
n54	0.21	97.57	8.12	0.00
k55	0.00	97.56	8.11	0.00
n55	0.32	97.55	8.10	0.00
k59	0.00	97.34	8.23	0.00
n59	0.04	97.34	8.23	0.00
k56	0.00	97.39	8.28	0.00
n56	0.33	97.37	8.26	0.00
k60	0.00	97.13	8.13	0.00
n60	0.03	97.13	8.13	0.00
k66	0.00	97.09	8.82	0.00

#### Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

n66	0.00	97.09	8.82	0.00
k68	0.00	97.04	8.29	0.00
n68	0.34	97.03	8.28	0.00
k67	0.00	97.05	8.78	0.00
n67	0.22	97.05	8.78	0.00
k72	0.00	97.00	8.78	0.00
n72	0.23	96.99	8.77	0.00
k61	0.00	97.06	9.06	0.00
n61	0.01	97.06	8.06	0.00
k63	0.00	97.06	8.10	0.00
n63	0.16	97.05	8.09	0.00
k64	0.00	97.02	9.34	0.00
n64	0.14	97.02	9.34	0.00
k65	0.00	97.01	9.05	0.00
n65	0.17	97.01	9.05	0.00
k73	0.00	96.86	8.88	0.00
n73	0.26	96.85	8.87	0.00
k75	0.00	96.66	8.48	0.00
n75	0.05	96.65	8.47	0.00
k69	0.00	96.90	9.20	0.00
n69	0.18	96.90	9.20	0.00
k70	0.00	96.90	9.20	0.00
n70	0.17	96.89	9.19	0.00
k57	0.00	97.31	8.41	0.00
n57	0.11	97.31	8.41	0.00
k58	0.00	97.30	8.52	0.00
n58	0.10	97.29	8.51	0.00
k74	0.00	96.78	8.75	0.00
n74	0.24	96.78	8.75	0.00
k77	0.00	96.51	8.86	0.00
n77	0.95	96.50	8.85	0.00
k76	0.00	96.61	8.96	0.00
n76	1.83	96.59	8.94	0.00
k62	0.00	97.06	8.06	0.00

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

n62	0.02	97.06	8.06	0.00
k71	0.00	96.86	9.14	0.00
n71	0.06	96.85	9.13	0.00
k78	0.00	96.28	8.62	0.00
n78	0.27	96.27	8.61	0.00
k79	0.00	96.26	8.60	0.00
n79	0.16	96.26	8.60	0.00
k80	0.00	96.14	8.33	0.00
n80	0.23	96.13	8.32	0.00
k81	0.00	96.09	8.14	0.00
n81	0.17	96.08	8.13	0.00
k82	0.00	96.03	8.05	0.00
n82	0.28	96.02	8.04	0.00
k83	0.00	95.61	8.11	0.00
n83	0.07	95.61	8.11	0.00
k84	0.00	95.53	7.73	0.00
n84	0.82	95.51	7.71	0.00
k85	0.00	95.44	7.55	0.00
n85	0.15	95.44	7.55	0.00
k86	0.00	95.41	7.41	0.00
n86	0.58	95.37	7.37	0.00
k90	0.00	95.07	7.13	0.00
n90	0.21	95.06	7.12	0.00
k89	0.00	95.09	7.15	0.00
n89	0.21	95.08	7.14	0.00
k88	0.00	95.16	7.36	0.00
n88	0.42	95.14	7.24	0.00
k87	0.00	95.23	7.38	0.00
n87	0.25	95.22	7.37	0.00
k91	0.00	94.98	7.58	0.00
n91	0.95	94.97	7.57	0.00
k92	0.00	94.97	7.57	0.00
n92	0.72	94.95	7.55	0.00
k94	0.00	94.66	7.49	0.00

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

n94	0.64	94.64	7.47	0.00
k93	0.00	94.91	7.73	0.00
n93	1.15	94.89	7.71	0.00
B	-14.60	97.88	2.00	0.00 Réservoir

Résultats aux arcs:

ID Arc	Débit LPS	Vitesse m/s	P.Charge U. m/km	État
p1	0.01	0.05	0.39	Ouvert
p2	0.77	0.62	12.25	Ouvert
p3	0.02	0.05	0.45	Ouvert
p42	0.32	0.40	7.66	Ouvert
p43	14.60	1.19	9.88	Ouvert
p44	14.59	1.19	9.86	Ouvert
p45	13.81	1.13	8.93	Ouvert
p78	0.21	0.27	3.74	Ouvert
p79	0.32	0.40	8.81	Ouvert
p80	0.04	0.14	1.46	Ouvert
p81	0.33	0.41	7.99	Ouvert
p82	0.03	0.08	0.69	Ouvert
p83	0.00	0.02	0.13	Ouvert
p84	0.34	0.27	2.90	Ouvert
p85	0.22	0.28	4.01	Ouvert
p86	0.23	0.29	4.32	Ouvert
p87	0.01	0.04	0.36	Ouvert
p88	0.16	0.19	2.15	Ouvert
p89	0.14	0.17	1.80	Ouvert
p90	0.17	0.21	2.43	Ouvert
p91	0.26	0.33	5.33	Ouvert
p92	0.05	0.16	2.20	Ouvert
p93	0.18	0.23	2.86	Ouvert
p94	0.17	0.21	2.51	Ouvert

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p95	0.11	0.14	1.23	Ouvert
p96	13.80	1.12	8.91	Ouvert
p97	0.32	0.26	2.63	Ouvert
p98	13.26	1.08	8.29	Ouvert
p99	12.72	1.04	7.68	Ouvert
p100	0.21	0.26	3.60	Ouvert
p101	12.15	0.99	7.07	Ouvert
p102	11.92	0.97	6.83	Ouvert
p103	0.42	0.33	4.13	Ouvert
p104	0.23	0.29	4.93	Ouvert
p105	0.10	0.31	8.99	Ouvert
p106	0.10	0.12	0.97	Ouvert
p107	12.68	1.33	14.21	Ouvert
p108	2.15	0.99	7.07	Ouvert
p109	-0.50	0.40	5.63	Ouvert
p110	0.46	0.15	0.57	Ouvert
p111	0.31	0.38	6.97	Ouvert
p112	0.17	0.21	2.43	Ouvert
p113	11.16	0.91	6.06	Ouvert
p114	10.93	0.89	5.84	Ouvert
p115	0.24	0.30	4.65	Ouvert
p116	10.67	0.87	5.58	Ouvert
p117	10.42	1.10	9.95	Ouvert
p118	0.95	0.31	2.00	Ouvert
p119	8.55	0.90	6.94	Ouvert
p120	1.83	0.59	6.36	Ouvert
p121	1.83	0.41	2.75	Ouvert
p122	0.02	0.07	0.61	Ouvert
p123	0.02	0.03	0.09	Ouvert
p124	0.06	0.21	4.42	Ouvert
p125	0.06	0.21	4.42	Ouvert
p127	0.27	0.34	5.59	Ouvert
p128	0.16	0.20	2.20	Ouvert
p129	0.23	0.28	4.18	Ouvert

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p130	0.17	0.21	2.44	Ouvert
p131	7.60	0.80	5.60	Ouvert
p132	0.16	0.20	2.20	Ouvert
p141	0.28	0.35	6.13	Ouvert
p142	7.17	0.75	5.05	Ouvert
p143	0.45	0.36	4.75	Ouvert
p144	0.28	0.35	6.13	Ouvert
p145	0.07	0.21	4.51	Ouvert
p146	0.82	0.65	13.41	Ouvert
p147	0.15	0.19	2.10	Ouvert
p148	0.58	0.72	21.48	Ouvert
p149	6.49	1.02	11.12	Ouvert
p150	6.42	1.01	10.92	Ouvert
p151	5.61	0.88	8.54	Ouvert
p152	0.58	0.46	7.37	Ouvert
p155	0.21	0.26	3.47	Ouvert
p156	0.21	0.26	3.58	Ouvert
p157	0.42	0.52	12.16	Ouvert
p158	0.25	0.32	5.01	Ouvert
p159	-0.21	0.16	1.21	Ouvert
p160	-0.41	0.33	4.07	Ouvert
p161	-4.62	0.73	6.02	Ouvert
p177	4.87	0.77	6.63	Ouvert
p178	3.78	0.59	4.21	Ouvert
p179	0.95	0.48	6.02	Ouvert
p181	0.72	0.57	10.74	Ouvert
p182	2.84	0.45	2.51	Ouvert
p183	0.64	0.51	8.74	Ouvert
p184	1.15	0.59	8.50	Ouvert
p185	2.12	0.33	1.49	Ouvert
p186	0.96	0.77	18.08	Ouvert
p187	0.32	0.40	7.66	Ouvert

L'irrigation du jardin (2<sup>ème</sup> partie) :

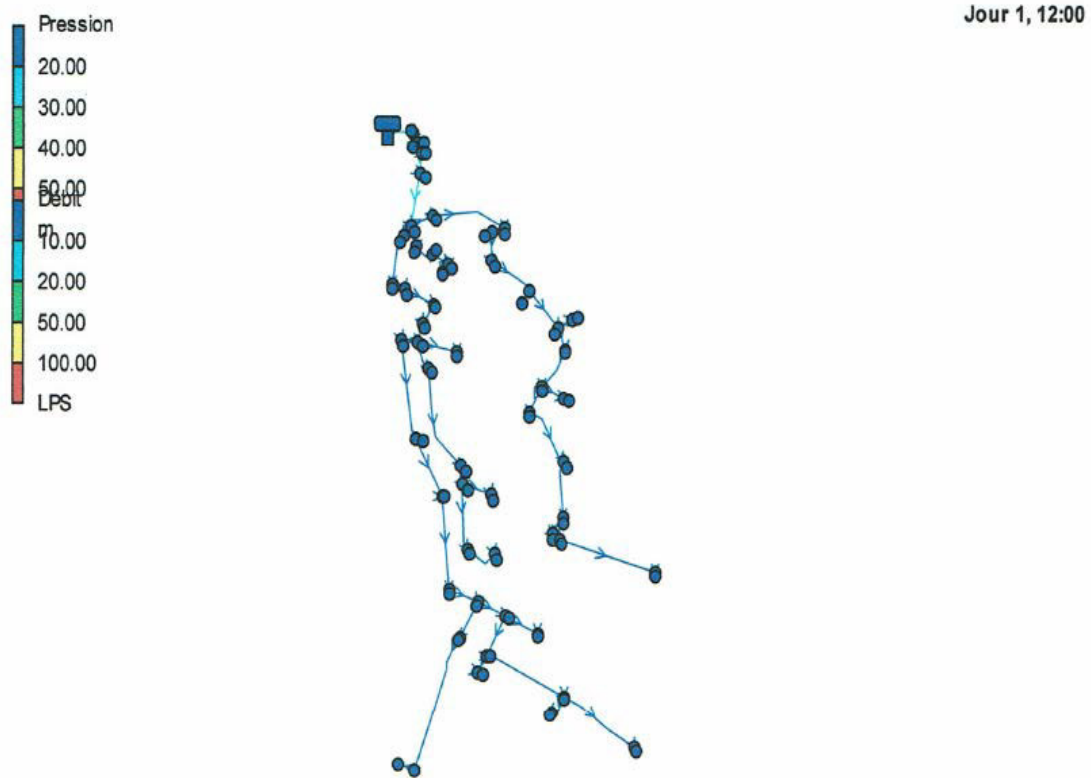


Figure 4.10 : schéma de simulation de l'irrigation du jardin (2<sup>ème</sup> partie)

Tableau des noeuds - arcs:

ID Arc	Nœud Initial	Noeud Final	Longueur m	Diamètre mm
p1	k1	n1	1.573	20
p2	k2	n2	2.011	40
p3	k3	n3	1.419	20
p4	k4	n4	1.899	32
p5	k5	n5	2.928	40
p6	k27	n27	2.543	20
p7	k6	n6	2.666	20
p8	k7	n7	1.994	32
p9	k9	n9	3.353	32
p10	k8	n8	2.3	32
p11	k23	n23	2.395	20

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p12	k24	n24	2.556	20
p13	k25	n25	2.718	20
p14	k10	n10	2.707	32
p15	k28	n28	1.67	32
p16	k29	n29	2.1	20
p17	k26	n26	0.9825	20
p18	k30	n30	1.495	32
p19	k31	n31	2.315	40
p20	k40	n40	2.604	32
p21	k32	n32	3.096	20
p22	k33	n33	1.939	40
p23	k34	n34	2.171	40
p24	k41	n41	2.75	32
p25	k42	n42	1.169	32
p26	k43	n43	1.674	50
p27	k38	n38	2.18	32
p28	k36	n36	3.101	32
p29	k35	n35	2.775	32
p30	k37	n37	1.794	32
p31	k39	n39	2.121	32
p32	k48	n48	7.372	63
p33	k44	n44	1.415	32
p34	k47	n47	1.504	32
p35	k45	n45	1.737	32
p36	k49	n49	1.995	32
p37	k50	n50	2.137	32
p38	k46	n46	1.211	50
p39	k51	n51	1.135	32
p40	k52	n52	1.34	20
p41	k53	n53	1.465	20
P43	B	k1	10.71	125
p44	k1	k2	3.919	125
p45	k2	k3	2.733	125
p46	k3	k4	2.378	125



## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p47	k4	k5	8.21	125
p48	k5	k6	20.96	125
p49	k6	k27	4.299	110
p50	k6	k7	10.6	90
p51	k6	k23	7.637	40
p52	k23	k24	8.993	40
p53	k24	k25	7.52	40
p54	k25	k26	4.038	32
p55	k27	k28	20.02	110
p56	k28	k29	6.29	110
p57	k29	k30	13.41	110
p58	k30	k31	8.585	110
p59	k31	k32	7.469	110
p60	k32	k40	7.117	110
p61	k32	k34	11.18	63
p62	k32	k33	17.3	40
p63	k7	k8	33.08	90
p64	k8	k9	6.017	90
p65	k9	k10	11.21	90
p66	k11	n11	5.414	32
p67	k10	k11	20.13	90
p68	k11	k12	19.07	90
p69	k12	n12	3.408	20
p70	k13	n13	2.038	20
p71	k12	k13	6.465	20
p72	k40	k41	39	90
p73	k41	k42	24.5	90
p74	k42	k43	36.36	90
p75	k34	k35	42.42	63
p76	k35	k36	6.486	63
p77	k36	k37	13.17	40
p126	k36	k38	25.11	32
p133	k12	k14	9.039	75
p134	k14	n14	1.365	32

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p135	k15	n15	1.735	50
p136	k14	k15	17.26	75
p137	k16	n16	2.014	32
p138	k15	k16	11.09	32
p139	k17	n17	1.832	32
p140	k15	k17	11.53	75
p153	k17	k18	24.93	63
p154	k18	n18	2.646	32
p162	k19	n19	1.747	32
p163	k20	n20	2.252	40
p164	k18	k19	21.66	63
p165	k19	k20	7.593	63
p166	k38	k39	15.4	32
p167	k43	k44	13.02	90
p168	k44	k45	12.94	63
p169	k45	k46	15.47	50
p170	k45	k49	17.22	50
p171	k49	k50	7.263	40
p172	k44	k47	15.54	63
p173	k49	k51	37.23	50
p174	k51	k52	10.36	32
p175	k51	k53	36.67	32
p176	k47	k48	56.18	63
p180	k22	n22	1.344	40
p188	k21	n21	1.837	50
p189	k20	k21	3.318	63
p190	k21	k22	2.81	40

Résultats aux noeuds:

---

ID	Demande	Charge	Pression	Qualité
Noeud	LPS	m	m	
k1	0.00	97.78	8.08	0.00

---

#### Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

n1	0.01	97.78	8.08	0.00
k2	0.00	97.74	8.09	0.00
n2	0.50	97.73	8.08	0.00
k3	0.00	97.71	8.06	0.00
n3	0.01	97.71	8.06	0.00
k4	0.00	97.69	8.04	0.00
n4	0.13	97.69	8.04	0.00
k5	0.00	97.62	8.22	0.00
n5	0.39	97.61	8.21	0.00
k27	0.00	97.41	8.16	0.00
n27	0.06	97.40	8.15	0.00
k6	0.00	97.44	8.19	0.00
n6	0.09	97.42	8.17	0.00
k7	0.00	97.37	8.37	0.00
n7	0.16	97.37	8.37	0.00
k9	0.00	97.13	8.43	0.00
n9	0.18	97.12	8.42	0.00
k8	0.00	97.17	8.47	0.00
n8	0.27	97.15	8.45	0.00
k23	0.00	97.40	8.20	0.00
n23	0.13	97.37	8.17	0.00
k24	0.00	97.38	8.20	0.00
n24	0.08	97.36	8.18	0.00
k25	0.00	97.36	8.19	0.00
n25	0.08	97.34	8.17	0.00
k10	0.00	97.08	8.34	0.00
n10	0.31	97.06	8.32	0.00
k28	0.00	97.29	8.06	0.00
n28	0.13	97.29	8.06	0.00
k29	0.00	97.25	8.03	0.00
n29	0.07	97.24	8.02	0.00
k26	0.00	97.35	8.18	0.00
n26	0.18	97.33	8.16	0.00
k30	0.00	97.17	8.00	0.00

#### Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

n30	0.17	97.17	8.00	0.00
k31	0.00	97.13	7.97	0.00
n31	0.31	97.12	7.96	0.00
k40	0.00	97.06	8.09	0.00
n40	0.25	97.05	8.08	0.00
k32	0.00	97.09	7.94	0.00
n32	0.09	97.06	7.91	0.00
k33	0.00	97.05	8.45	0.00
n33	0.26	97.05	8.45	0.00
k34	0.00	97.04	7.94	0.00
n34	0.39	97.03	7.93	0.00
k41	0.00	96.77	8.09	0.00
n41	0.16	96.77	8.09	0.00
k42	0.00	96.60	8.45	0.00
n42	0.20	96.60	8.45	0.00
k43	0.00	96.36	8.86	0.00
n43	1.22	96.35	8.85	0.00
k38	0.00	96.66	8.98	0.00
n38	0.09	96.66	8.98	0.00
k36	0.00	96.91	8.61	0.00
n36	0.26	96.90	8.60	0.00
k35	0.00	96.92	8.52	0.00
n35	0.24	96.91	8.51	0.00
k37	0.00	96.89	8.79	0.00
n37	0.25	96.88	8.78	0.00
k39	0.00	96.57	8.99	0.00
n39	0.29	96.55	8.97	0.00
k48	0.00	95.99	8.31	0.00
n48	1.46	95.96	8.28	0.00
k44	0.00	96.31	8.91	0.00
n44	0.17	96.31	8.91	0.00
k47	0.00	96.23	8.46	0.00
n47	0.19	96.22	8.45	0.00
k45	0.00	96.23	8.47	0.00

#### Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

n45	0.24	96.22	8.46	0.00
k49	0.00	96.15	8.39	0.00
n49	0.22	96.14	8.38	0.00
k50	0.00	96.14	8.38	0.00
n50	0.24	96.13	8.37	0.00
k46	0.00	96.18	8.39	0.00
n46	0.71	96.17	8.38	0.00
k51	0.00	96.10	8.30	0.00
n51	0.20	96.10	8.30	0.00
k52	0.00	96.10	8.50	0.00
n52	0.08	96.09	8.49	0.00
k53	0.00	96.07	8.45	0.00
n53	0.09	96.06	8.44	0.00
k11	0.00	96.98	8.30	0.00
n11	0.15	96.97	8.29	0.00
k12	0.00	96.90	8.61	0.00
n12	0.10	96.88	8.59	0.00
k13	0.00	96.88	8.59	0.00
n13	0.06	96.87	8.58	0.00
k14	0.00	96.82	8.66	0.00
n14	0.12	96.82	8.66	0.00
k15	0.00	96.67	8.71	0.00
n15	0.87	96.66	8.70	0.00
k16	0.00	96.65	8.70	0.00
n16	0.12	96.65	8.70	0.00
k17	0.00	96.61	8.46	0.00
n17	0.18	96.61	8.46	0.00
k18	0.00	96.37	8.32	0.00
n18	0.14	96.36	8.31	0.00
k19	0.00	96.17	8.37	0.00
n19	0.25	96.17	8.37	0.00
k20	0.00	96.12	8.30	0.00
n20	0.38	96.11	8.29	0.00
k22	0.00	95.84	8.26	0.00

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

n22	0.53	95.83	8.25	0.00
k21	0.00	96.10	8.28	0.00
n21	1.04	96.09	8.27	0.00
B	-14.47	97.88	2.00	0.00 Réservoir

Résultats aux arcs:

ID Arc	Débit LPS	Vitesse m/s	P.Charge U. m/km	État
p1	0.01	0.03	0.25	Ouvert
p2	0.50	0.39	5.58	Ouvert
p3	0.01	0.03	0.28	Ouvert
p4	0.13	0.16	1.51	Ouvert
p5	0.39	0.31	3.64	Ouvert
p6	0.06	0.19	3.58	Ouvert
p7	0.09	0.28	7.31	Ouvert
p8	0.16	0.19	2.16	Ouvert
p9	0.18	0.22	2.73	Ouvert
p10	0.27	0.33	5.54	Ouvert
p11	0.13	0.40	13.78	Ouvert
p12	0.08	0.26	6.40	Ouvert
p13	0.08	0.26	6.66	Ouvert
p14	0.31	0.38	7.05	Ouvert
p15	0.13	0.16	1.54	Ouvert
p16	0.07	0.24	5.59	Ouvert
p17	0.18	0.56	24.81	Ouvert
p18	0.17	0.22	2.59	Ouvert
p19	0.31	0.24	2.41	Ouvert
p20	0.25	0.31	4.94	Ouvert
p21	0.09	0.30	8.48	Ouvert
p22	0.26	0.21	1.80	Ouvert
p23	0.39	0.31	3.64	Ouvert
p24	0.16	0.19	2.14	Ouvert

#### Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p25	0.20	0.25	3.43	Ouvert
p26	1.22	0.62	9.46	Ouvert
p27	0.09	0.11	0.66	Ouvert
p28	0.26	0.32	5.13	Ouvert
p29	0.24	0.30	4.47	Ouvert
p30	0.25	0.31	4.75	Ouvert
p31	0.29	0.36	6.33	Ouvert
p32	1.46	0.47	4.28	Ouvert
p33	0.17	0.21	2.58	Ouvert
p34	0.19	0.23	2.91	Ouvert
p35	0.24	0.30	4.70	Ouvert
p36	0.22	0.28	4.03	Ouvert
p37	0.24	0.30	4.69	Ouvert
p38	0.71	0.36	3.63	Ouvert
p39	0.20	0.24	3.23	Ouvert
p40	0.08	0.27	6.83	Ouvert
p41	0.09	0.29	8.14	Ouvert
p43	14.47	1.18	9.72	Ouvert
p44	14.46	1.18	9.71	Ouvert
p45	13.97	1.14	9.11	Ouvert
p46	13.96	1.14	9.10	Ouvert
p47	13.83	1.13	8.95	Ouvert
p48	13.44	1.10	8.50	Ouvert
p49	8.05	0.85	6.22	Ouvert
p50	4.84	0.76	6.54	Ouvert
p51	0.46	0.37	4.96	Ouvert
p52	0.34	0.27	2.86	Ouvert
p53	0.26	0.21	1.79	Ouvert
p54	0.18	0.22	2.66	Ouvert
p55	7.99	0.84	6.15	Ouvert
p56	7.87	0.83	5.97	Ouvert
p57	7.79	0.82	5.87	Ouvert
p58	7.62	0.80	5.63	Ouvert
p59	7.31	0.77	5.23	Ouvert

## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p60	5.45	0.57	3.08	Ouvert
p61	1.50	0.48	4.50	Ouvert
p62	0.26	0.21	1.81	Ouvert
p63	4.68	0.74	6.17	Ouvert
p64	4.41	0.69	5.55	Ouvert
p65	4.24	0.67	5.15	Ouvert
p66	0.15	0.19	2.01	Ouvert
p67	3.93	0.62	4.50	Ouvert
p68	3.78	0.59	4.19	Ouvert
p69	0.10	0.31	8.68	Ouvert
p70	0.06	0.19	3.82	Ouvert
p71	0.06	0.19	3.82	Ouvert
p72	5.20	0.82	7.46	Ouvert
p73	5.05	0.79	7.06	Ouvert
p74	4.84	0.76	6.55	Ouvert
p75	1.12	0.36	2.65	Ouvert
p76	0.88	0.28	1.74	Ouvert
p77	0.25	0.20	1.65	Ouvert
p126	0.38	0.47	9.92	Ouvert
p133	3.62	0.82	9.36	Ouvert
p134	0.12	0.15	1.33	Ouvert
p135	0.87	0.44	5.17	Ouvert
p136	3.50	0.79	8.82	Ouvert
p137	0.12	0.15	1.44	Ouvert
p138	0.12	0.15	1.44	Ouvert
p139	0.18	0.22	2.69	Ouvert
p140	2.51	0.57	4.85	Ouvert
p153	2.33	0.75	9.86	Ouvert
p154	0.14	0.17	1.71	Ouvert
p162	0.25	0.31	4.78	Ouvert
p163	0.38	0.30	3.50	Ouvert
p164	2.20	0.71	8.85	Ouvert
p165	1.95	0.63	7.15	Ouvert
p166	0.29	0.36	6.33	Ouvert



## Chapitre 4 : Calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon

---

p167	3.62	0.57	3.88	Ouvert
p168	1.80	0.58	6.18	Ouvert
p169	0.71	0.36	3.63	Ouvert
p170	0.84	0.43	4.86	Ouvert
p171	0.24	0.19	1.63	Ouvert
p172	1.65	0.53	5.30	Ouvert
p173	0.37	0.19	1.17	Ouvert
p174	0.08	0.10	0.62	Ouvert
p175	0.09	0.11	0.84	Ouvert
p176	1.46	0.47	4.29	Ouvert
p180	0.53	0.42	6.24	Ouvert
p188	1.04	0.53	7.11	Ouvert
p189	1.57	0.50	4.86	Ouvert
p190	0.53	0.42	6.24	Ouvert

### 4.13. Conclusion :

Dans ce chapitre on a procédé au calcul des besoins en eau pour l'irrigation du jardin Landon, mais après avoir constaté que les résultats obtenue de l'étude des besoins ne peuvent satisfaire l'irrigation de l'espace vert, alors on a proposé un programme d'irrigation partiel qui se compose de deux parties pendant 4 heures chacune tous les deux jours. En choisissant le système d'irrigation localisé et en utilisant le logiciel EPANET 2.0 FR, et en lançant plusieurs simulations jusqu'à obtenir les conditions hydraulique les plus favorables.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

Dans notre mémoire de fin d'étude on a proposé une technique d'épuration des eaux usées domestique par des processus naturel à l'aide d'une station de phytoépuration (filtre planté de macrophytes), celle-ci est facile et moins couteuse pour la construction par rapport aux stations d'épuration classique.

Ce mémoire a pour objectif de proposer une étude de réalisation et faisabilité d'une station de phytoépuration ayant deux formes géométrique différentes pour chaque filtre planté choisi, en utilisant des plantes épuratrices en respectant l'esthétique du site, afin de réutiliser les eaux épurées pour l'irrigation de l'espace vert.

Cette station ne sera satisfaisante que si elle est précédée des prétraitements, dans notre cas on a proposé un dégrilleur de type panier dégrilleur en acier inoxydable et une fosse de toutes eaux de type imhoff.

Pour joindre l'utile à l'agréable, on a aussi proposé un jet d'eau de type pyramide rocheux en cascade afin d'oxygéner l'eau traité provenant de notre station qui sera bénéfique pour l'irrigation de notre espace vert.

Notre station proposée peut dégrader la pollution jusqu'à 30 mg/l de DBO5 ce qui correspond à la norme nationale pour les eaux usées épurées destinées à l'irrigation.

Par cette action on va résoudre les problèmes d'impact sur la pollution dans les rejets de la ville de Biskra d'une part et une minimisation de la consommation de l'eau potable destinée pour l'irrigation d'autre part.

**LA LISTE DES  
RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUE**

## La liste des références bibliographique

**A HANDBOOK OF CONSTRUCTED WETLANDS**, a guide to creating wetlands for: AGRICULTURAL WASTEWATER DOMESTIC WASTEWATER COAL MINE DRAINAGE STORMWATER in the Mid-Atlantic Region, volume 1, general considerations.

**APAT MAZZONI, M.** (2005): Guide pour la conception et gestion des zones humides artificiels pour le traitement des eaux usées civiles.

**Ammar Boudjellal Anhar et Bammoun Riad**, 2007, école nationale supérieure agronomique EL HARRACH – ingénieur hydraulique, Mémoire online, Détermination des besoins des cultures à l'aide de l'outil cropwat 4.3 dans la wilaya de Tipaza, <http://www.memoireonline.com/12/09/2003/Determination-des-besoin-en-eau-des-cultures-a-laide-de-logiciel-cropwat-43-dans-l.html>.

**Andi.dz, la wilaya de Biskra** (invest in Algeria), consulté en : 20/1/2019, <http://www.andi.dz/PDF/monographies/Biskra.pdf>.

**Abdelkader Gaid.** (1984). p27, épuration biologique des eaux usées urbaines tome 1, office des publications universitaires, 1.place centrale de ben aknoun (alger).

**Azzougagh M**, juin 2008 « transfert de technologie en agriculture bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA .MADREEF »/DERD N81.**AL DOMANY M**, 2013, L'évaporation des étangs : le cas du Centre-Ouest de la France, mémoire de Master 2 en géographie et aménagement, Université d'Orléans, 129 p.

**Abibsi Nadjet**, 2011. Ingénieur d'Etat en Hydraulique, MEMOIRE DE MAGISTER : REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES PAR FILTRES PLANTES, (PHYTOEPURATION) POUR L'IRRIGATION DES ESPACES VERTS APPLICATION Á UN QUARTIER DE LA VILLE DE BISKRA.

**Alexandros Stefanakis, Christos S. Akratos, Vassilios A. Tsihrintzis, first edition**, 2014. Vertical flow constructed wetlands, eco- engineering système for wastewater and sludge treatment.

**Akratos, C.S. et Tsihrintzis V.A.**, 2007. Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. Ecological Engineering, 29:173–191.

**Bulc, T.G.** 2006. Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment, Ecological Engineering, Editor. Wetlands: Leiden, the Netherlands: Backhuys Publishers; 39. p. 237–58.

**Belaid,** 2013 : contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une STEP, étude de cas : STEP d'Ain el houtz, mémoire de master en hydraulique, Univ de Tlemcen.

**CENTRE RÉGIONAL POUR L'EAU POTABLE ET L'ASSAINISSEMENT À FAIBLE COÛT,** 2007, Centre collaborant de l'OMS: Control et suivi de la qualité des eaux usées, protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et biologiques.

**Cluus Bliefert., Robert Perraud,** 2010. Chimie de l'environnement air au sol déchets. Edition DE Boeck.

**Courault D., Seguin B., Oliosio A,** 2005. Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: from empirical to numerical modeling approaches. Irrigation and Drainage Systems 19 (2005) : 223-249.

**C. Brouwer,** GESTION DES EAUX EN IRRIGATION Manuel de formation n° 5 Méthodes d'irrigation ; p3, FAO 1990.

**C.T.G.R.E.F.** Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Edit : Ministère de l'agriculture. CTGREff. France, 204p.

**Daouda DIOP,** Prof d'HG au CEM parcelles Assainies de Thiès, diagramme ombrothermique.

**Department of the environment, heritage and local government,** 2010.

**Dunne, E.J., Reddy, K.R. et Carton, O.T.** 2004. Nutrient management in agricultural watersheds: a wetland solution. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 284 p.

**Dunne, E.J. ET Reddy, K.R.** 2004. Phosphorus Biogeochemistry of Wetlands in Agricultural Watersheds. In Dunne, E.J., Reddy, K.R. et Carton, O.T. (red). Nutrient management in agricultural watersheds: a wetland solution. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p.105-120.

**Dugniolle H.** 1980. L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC - revue n°3- septembre, pp. 44-52.

**Dubost, D., Haddad, A., Kafi, H. and Naame** 1983 : le Bulletin d'agronomie saharienne, L'institut National de la Recherche Agronomique d'Algerie.

**Dubost, D.** 1994 : Référence pratique de l'irrigation au Sahara Algérienne, cours spécialisé: diagnostic rapide et stratégies de développement en imbienausien ; C.I.H.E.A.M/I.A.M 11.

**Eric Tousignant, Olivier Fankhauser Sarah Hurd**, 1999. Guidance manual for the design, construction and operations of constructed wetlands for rural applications in Ontario funded by the Canada program of the agricultural adaptation council, ONTARIO, Stantec. Research and Technology Transfer Group 497 pp.

**FAO.** (2003)., L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p.

**Guide de l'utilisateur**, Dispositif de traitement des eaux usées domestiques Phytostation Recycl'eau@6 EH, 25/02/2014, [www.recycleau.fr](http://www.recycleau.fr).

**Gagnon, V., Brisson, J. et les membres du CA de SQP**, 2013. Les Marais filtrants (Eaux usées). Montréal, Société québécoise de Phytotechnologie, 12 p.

**Goldmine M. et Moncel C.** 1998. Une station d'épuration écologique, ça existe. Vie et Santé p: 58–61.

**Gagnon, V. et Brisson, J. (s.d.)**. Les marais filtrants artificiels pour le traitement des polluants de source agricole. *In* Agri-reseau. horticulture-pepinierie.

<http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-pepinierie/documents/vincentgagnonjacquesbrissonirbv.pdf> (Page consultée le 21 Septembre 2013).

**Green techjournal**, fosse tout eaux ou fosse septique, consulté en : 6/5/2019, <https://www.greentechjournal.fr/fosse-toutes-eaux-ou-fosse-septique/>.

**Groupe Macrophytes et Traitement des Eaux.** 2005. Recommandations techniques pour la conception et la réalisation. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. 200pp.

**Hydro-technique**, panier dégrilleur, consulté en : 9/6/2019., <https://www.hydro-techniques.fr/nos-metiers/chaudronnerie/>.

**Hammer, D.A. and Bastian, R.K.**, 1989. Wetland Ecosystem Natural Water Purifiers. In Constructed Wetlands for Wastewater Purifiers. In: Hammer, D.A., Ed., Constructed Wetlands for Waste Water Treatment: Municipal, Industrial and Agriculture, Proceedings, First

International Conference of Constructed Wetlands for Waste Water Treatment, Chattanooga, 13-17 June 1988, 508-514.

**Imhoff's, K., Novotny, V. , Olthof, M., Healy M.G., Rodgers M., Mulqueen J.** 2007.

Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters  
Bioresource Technology 98, p. 2268–2281.

**Jensen ME, Burman RD, Allen RG ,ed,** 1990 , evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and reports on Engineering practices No 70 Am Soc Civil engrs , New York, NY, 360p.

**Jean- Paul,**thouny, thérapeute énergétique, Acore Odorant ,28 sep 2019, <https://www.jean-paul.thouny.fr/acore-odorant/>.

**Journal Officiel De La République Algérienne,** 2012. Annexe, spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. N° 41, 18-21.

**Keith R.Hench,garyK.Bissonettea ,Alan J.sexstonea ,Jerry G, colemanb ,Keith Garbuttb, Jeffery G, Skousena ,**2003.fate of physical ,chemical and microbial contaminants in domestic wastewater following treatment by small constructed wetlands water research.

**kythierry s. maurice** « système photovoltaïque dimensionnement pour pompage d'eau pour une irrigation goutte à goutte », DEA en physique appliquée option : semi – conducteurs année universitaire 2005-2006.

**Keck G. et Vernus E,** 2000. « Déchets et risques pour la santé », Techniques de L'Ingénieur, Paris, 2450p.

**Le magazine promotionnel de l'Algérie, EL DJAZAIR. N° 121-** juin 2019. Le jardin Landon – Biskra. [http://www.eldjazaircom.dz/index.php?id\\_rubrique=326&id\\_article=4071](http://www.eldjazaircom.dz/index.php?id_rubrique=326&id_article=4071).

**La communauté de commune, nivière& somme,** Installations et fonctionnement de la fosse tout eaux. <http://www.nievresomme.fr/pages/environnement/anc/installations-et-fonctionnement.html>.

**Luise davis ,** 1995 , A HANDBOOK OF CONSTRUCTED WETLANDS,a guide to creating wetlands for agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine draining and stormwater in the MID-Atlantic Region, V1.



**Lombard Latune R.**, Molle P., 2017. Les filtres plantés de végétaux pour le traitement des eaux usées domestiques en milieu tropical. Guide de dimensionnement de la filière tropicalisée. Agence française pour la biodiversité, collection *Guides et protocoles*, 72 pages.

**LADLANI IBTISSEM**, 2006, Ingénieur en hydraulique, Contribution à la gestion optimale de la ressource en eau mobilisée «choix de formule empirique pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle "ETP" dans les régions de Tébessa et Annaba».

**Lienard, Alain**, 1991. Traitement des eaux usées domestiques par lit d'infiltration percolation sur sable, étude expérimentale du site de saint Symphorien de Lay suivie et rapport définitif.

**Maaoudi Moufida**, 2014, Atlas : plantes ornementales des Ziban.

**Mark Torczon**, the Use of Constructed Wetlands to Treat Effluent.

**Makkink, G.F.**, 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. J. InstnWat. Engrs, 11: 277-288.

**Mara D.D. ET Cairncross S**, 1989: Guideline for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture; OMS ET PNUE, Geneve, 202p.

**MEBARKI Mohamed Tahar**, 2007, les principaux déprédateurs du palmier dattier inventaire de leur auxiliaire dans la région d'Ouargla.

**Météo France**, consulté en 3/1/2019, comprendre tout savoir sur la météo, le climat et Météo – France, le vent. <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/parametres-observe/vent>.

**Mimeche Leila**, 2014, Thèse de doctorat : Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride - Application à la région de Biskra.

**MRE**, 2007. Étude réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4 : Norme de réutilisation des eaux usées épurées, D.A.P.E.

**Motralec**, consulté en 6/5/2019, [https://www.motralec.com/Telecharger-2/Ksb\\_PANIER\\_DE\\_DEGRILLAGE.pdf](https://www.motralec.com/Telecharger-2/Ksb_PANIER_DE_DEGRILLAGE.pdf)

**Multimat.**, les pros des matériaux, regard de répartition, consulté en : 7/5/2019,  
<http://www.multimat76.com/p317/regard-de-repartition-40-40-20>.

**Parmele, L.H. et McGuinness, J.L.**, 1974. Comparisons of measured and estimated daily potential evapotranspiration in a humid region. *Journal of Hydrology*, 22: 239-251).

**Plantes et nature**, vente en ligne de plantes & articles de jardin, pontederiacordata (Pontédérie) Lot de 3 unités, 9/6/2019, <https://www.plantes-et-nature.fr/37778-pontederia-cordata-pontederie-lot-de-3-unites.html>.

**Pereira LS, Perrier A, Allen RG, Alves**, 1999. Evapotranspiration: concept and future trends .*J irrig Drain Eng ASCE*, 125(2):45-51.

**P. Molle**, 2012. Les filtres plantés de roseaux : évolution de la recherche et tendances actuelles. *Sciences Eaux and Territoires : la Revue du IRSTEA*, IRSTEA, p. 24 - p. 31. <hal-00772874>.

**POULET, J. B., TERFOUS, A., DAP, S. et GHENAIM, A.** 2004 : station d'épuration a lit filtrants plantes de macrophytes. *Courier du savoir* n° 05 juin 2004. Université Mohamed Khider Biskra.

**Quezal, P., Santa L.**, 1962-1963 : Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. Edition CNRS, tome 2. Paris. 1170p.

**REMENIERAS, G.** l'hydrologie de l'ingénieur. Edit : Collection de la direction des études et recherche d'électricité. France, 266 p.

**Reed, S.C., R. W. C&es B.J. Middlebrooks**, 1995. *Natural Systems for Wastewater Management and Treatment*, McGraw-Hill, NY. 140pp.

**Shuttleworth, W.J.**, 1993. Evaporation. In: D.R. Maidment (Editor), *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, New-York.

**Siti kamariah binti md sa'at**, 2006, subsurface flow and free water surface flow constructed wetland with magnetic field for leachate treatment, master of engineering (civil-wastewater) universititeknologimalaysia.

**Société québécoise de phytotechnologie**, Fiches techniques de la SQP. 1. LES MARAIS FILTRANTS. 28 mai 2014. [www.phytotechno.com](http://www.phytotechno.com).

**Stottmeister, U., Wiebner, A., Kuschik, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O., Müller, R.A. et Moormann, H.** 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*, Vol.22, p.93-117.

**Seo, D.C., Hwang, S.H., Cho, J.S., DeLaune, R.D., Jugsujinda, S., Lee, S.T., Seo, J.Y. et Heo, J.S.** 2008. Evaluation of 2- and 3-stage combinations of vertical and horizontal flow constructed wetlands for treating greenhouse wastewater. *Ecological Engineering*, Vol.32, n01, p.121-132.

**Sébastien ilovic, Vincent Bonnarme,** 2012, ces plantes qui guérissent l'habitat phytoépuration et génie végétale, p132.

**SEBASTIEN VACHALA,** 25 September 2008. Évaporation sur les retenues EDF du sud de la France, L'organisation Météorologique Mondiale (OMM) a recensé bon nombre de bacs (WMO, 1994) Cécile carre Sébastien. pp07 – 08.

**Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph. and Zurbrügg, C,** 2014, Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2nd revised edition.

**TRAORE Farid,** Méthodes d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant du Kou au Burkina Faso, p :4, Mémoire de fin d'étude de Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Sciences et Gestion de l'Environnement 2006-2007.

**UN-HABITAT,** 2008. Constructed Wetlands Manual. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu.

**U.S.EPA /625/R-99/010,** September, 1999. Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268.

**U.S. Environmental Protection Agency "US EPA",** 1988. Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, 92 pp.

**U.S. Environmental Protection Agency "US EPA",** 1993. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, a Technology Assessment, 87 pp.

**U.S. Environmental Protection Agency "US EPA",** 2000. Manual Constructed Wetlands Treatment. A Technology Assessment, 200 pp.

**Vymazal, J.** 2004. Constructed Wetlands for Wastewater treatment in Europe. In Dunne, E.J., Reddy, K.R. et Carton, O.T. (red). Nutrient management in agricultural watersheds: a wetland solution. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p.230-244.

**Vymazal, J.** 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. Science of The Total Environment, Vol. 230, n02007, p.48-65.

**VESCHAMBRE et VAYSSE**, 1980, cité dans : **MEBARKI Mohamed Tahar**, 2007, les principaux déprédateur du palmier dattier inventaire de leur auxiliaire dans la région de Ouargla.

**Vymazal J.**, 2008, constructed wetlands for wastewater treatment: review.

**Wallace, S., Parkin, G.ET Cross, C.** (2001). Cold Climate Wetlands: Design & Performance. In Wallace, S., Parkin, G. ET Cross, C., 7th International Conference on Wetland systems for Water Pollution Control (p.1-14). Lake Buena Vista, Florida, USA, 11-16 Novembre 2000.

# **ANNEXE**

## **Annexe**

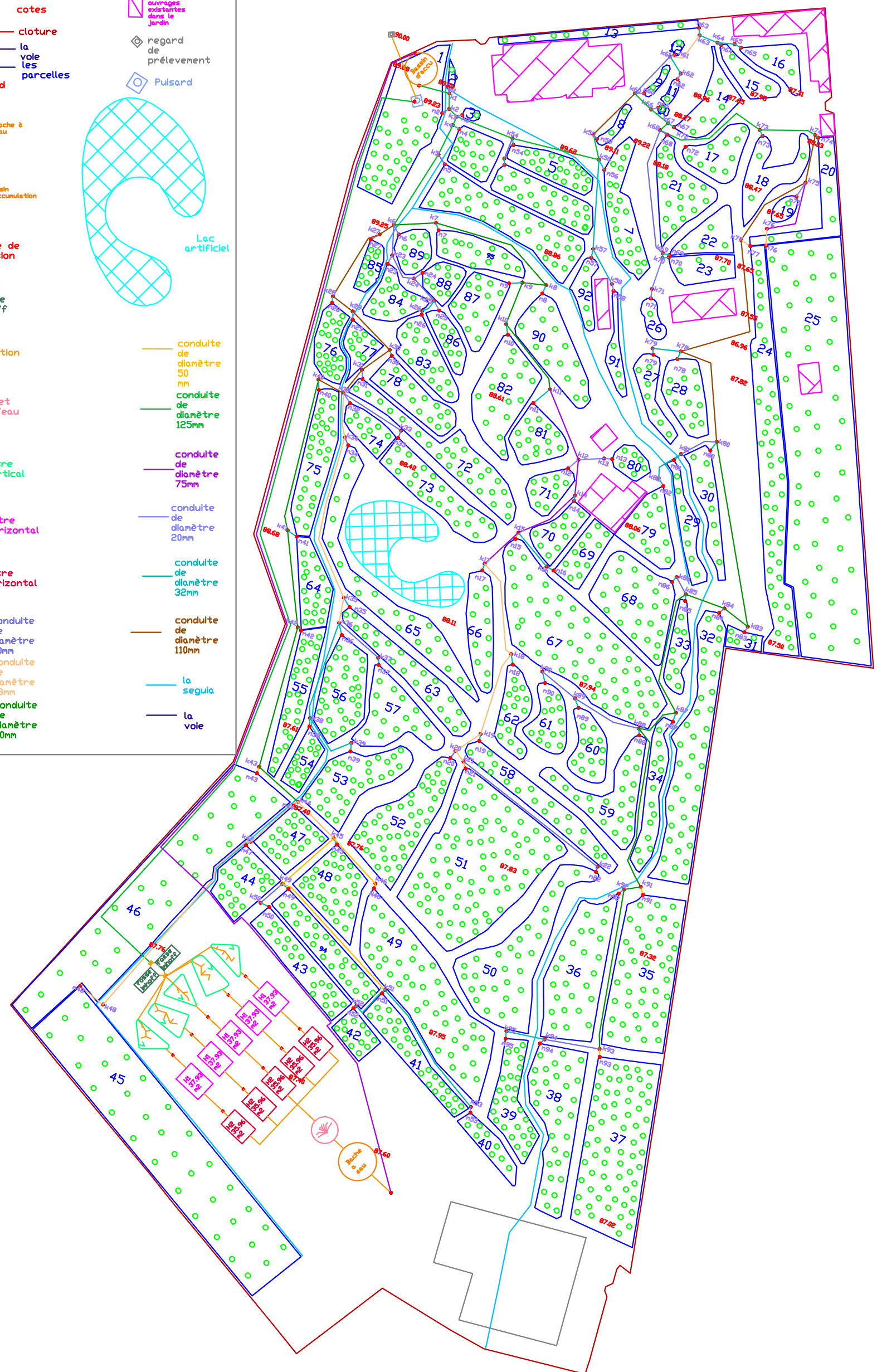
Cette annexe est représentée par trois plans :

- Deux plans comprenant deux variantes (la station de phytoépuration + le système d'irrigation proposé dans le jardin).
- Un plan représentant le levé topographique.

# VARIANTE 01

Legende

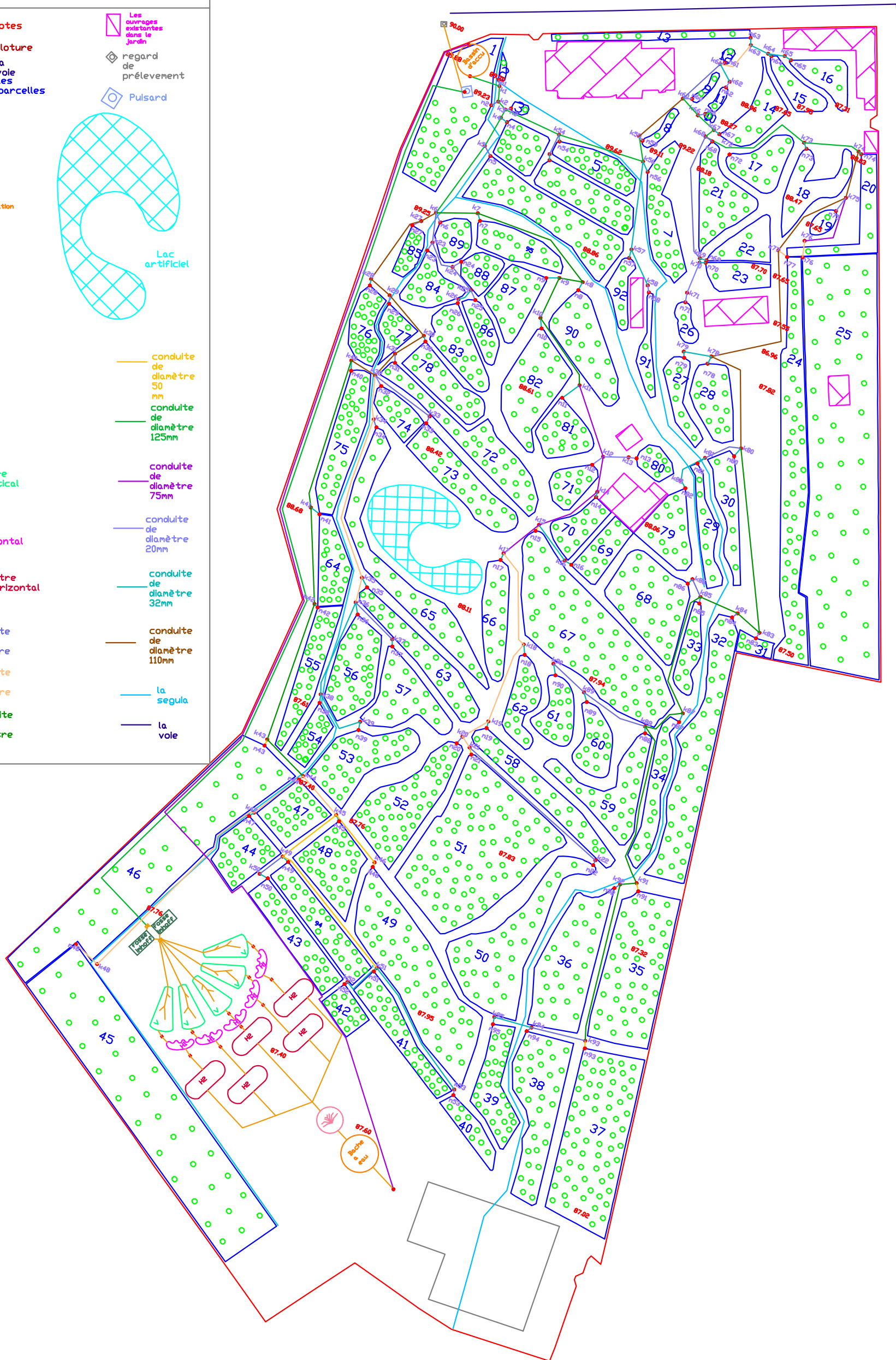
00.00	cotes		Les ouvrages existants dans le Jardin
	cloture		regard de prélevement
	la voie les parcelles		Pulsard
	noeud		Lac artificiel
	Bacche à eau		Bacche à eau
	Bassin d'occu		Bassin d'accumulation
	Filtre de finition		plantes
	Fosse Imhoff		Fosse Imhoff
	regard de répartition		conduite de diamètre 50 mm
	Jet d'eau		conduite de diamètre 125mm
	Filtre vertical		conduite de diamètre 75mm
	H1 37,93 m2 Filtre horizontal 1		conduite de diamètre 20mm
	H2 35,96 m2 Filtre horizontal 2		conduite de diamètre 32mm
	conduite de diamètre 40mm		conduite de diamètre 110mm
	conduite de diamètre 63mm		la segula
	conduite de diamètre 90mm		la voie



# VARIANTE 02

Legende

00.00	cotes		Les ouvrages existants dans le Jardin
	cloture		regard de prelevement
	la voie des parcelles		Puisard
	noeud		
	Bacche à eau		Lac artificiel
	Bassin d'accumulation		
	Filtre de finition		
	plantes		
	Fosse Inhoff		conduite de diamètre 50 mm
	regard de répartition		conduite de diamètre 125mm
	Jet d'eau		conduite de diamètre 75mm
	Filtre vertical		conduite de diamètre 20mm
	Filtre horizontal 2		conduite de diamètre 32mm
	H2 Filtre horizontal 2		conduite de diamètre 110mm
	conduite de diamètre 40mm		la segua
	conduite de diamètre 63mm		la voie
	conduite de diamètre 90mm		





# LEVE TOPOGRAPHIQUE

Legende

- Les ouvrages existants dans le Jardin
- 00.00 cotes
- cloture
- la voie les parcelles
- regard de prelevement
- la voie
- Lac artificiel

