



Faculté de Sciences et Techniques de Marrakech

Département des Sciences de la terre



Projet de fin d'études

Licence Sciences et Techniques
Eau et Environnement

L'analyse des eaux du Canal de la Rocade pour l'usage en irrigation localisée Cas du périmètre du N'fis N1-2

Réalisé par: EL KHANOURI Hayat

HAMOUL Achraf

Encadrés par: Mr. SAIDI El Mehdi

Mr. SGHIR Fathallah

Soutenu le 16 février 2015 devant :

- ❖ **Pr. SAIDI Mohamed EL MEHDI:** Encadrant interne (FSTG)
- ❖ **Pr. BOURGEOINI Yamina:** Examinatrice (FSTG)
- ❖ **Mr. SGHIR Fathallah:** Encadrant externe (ORMVAH)

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude et nos vives reconnaissances envers **Monsieur Mohamed EL Mehdi SAIDI**, notre encadrant pour ses précieux conseils, sa disponibilité et son appuis pendant toute la période du stage.

Nous remercions également **Mlle Yamina BOURGEOINI** d'avoir accepté l'invitation pour juger ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à **Monsieur Fathellah SGHUIR** de la confiance qu'il nous a accordée en nous proposant cette formation qui était pour nous une expérience professionnelle et humaine très enrichissante.

Nos gratitude s'adressent également à l'ensemble du personnel du laboratoire de l'ORMVAH et précisément **Mr. Abdessamad MORENO**, Ingénieur pédologue responsable du laboratoire d'analyse d'eau et du sol pour son aide, sa présence et son écoute permanent et **Monsieur Abellah LKHALLOUFI** le directeur du centre de gestion et télécontrôle du Canal de la Rocade pour sa compréhension et son soutien.

On réserve une pensée spéciale à tous les enseignants de la LST EE qui ont sus nous donner une formation didactique et appréciable tout au long de notre cursus.

Enfin, nous tenons à exprimer notre sincère et profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en eau potable

BVSD: Bassin Versant Sidi Driss

CGTC : Centre de Gestion et Télécontrôle du Canal de la Rocade

CMV : Centres de mise en valeur

CNEER : Centre National de Recherche sur l'Eau et l'Energie Renouvelable

ORMVAH : office régional de la mise en valeur d'agriculture du Haouz

ONEE : Office national de l'eau et électricité (branche eau)

IP : Indice de plasticité

MES : Matière en suspension

PNEEI : Programme nationale d'économie d'eau d'irrigation

SAR : Sodium Absorption Ratio (coefficient d'absorption du sodium)

SAU : Surface Agricole Utile

TA : Titre alcalimétrique

TAC: Titre alcalimétrique complet

WL : Water liquid (limite de liquidité)

WP : Water plastic (limite de plasticité)

Sommaire

Introduction	4
Chapitre I :Démarche générale	6
I.1 Introduction :	7
I.2 Problématique et objectif de l'étude :	7
I.3 Cadre institutionnel de l'étude :	7
a) Les moyens humains, matériels et financiers :	9
b) Organisation de l'ORMVA du Haouz :	9
• Les services techniques :	9
• Les services administratifs :	10
• Le Service Administratif et Financier :	10
c) Aménagement de la grande hydraulique du Haouz :	11
➤ la Tessaout Amont (52 000 ha) :	11
➤ le Haouz Central dont fait partie le périmètre du N'fis (50 000 ha) :	11
➤ la Tessaout Aval (44 000 ha) :	12
I.4 Méthodologie :	12
Chapitre II: Contexte de l'étude	14
II.1 Présentation générale du secteur N1-N2 du N'fis:	14
a) Mise en valeur :	15
b) Description du réseau :	15
II.2 Description du bassin Sidi Driss :	15
a) Présentation du barrage Sidi Driss :	16
b) Problème d'érosion du bassin versant :	17
II.3 Classification des Systèmes d'irrigation :	17
II.4 Mode d'irrigation au N'fis N1-2 :	22
Chapitre III: Caractérisation du système de transfert et de la distribution des eaux	27
III.1 Description du Canal de Rocade	27
a) Présentation :	27
b) Construction du Canal de la Rocade :	28
III.2 Caractéristiques géométriques du Canal de la Rocade	28
III.3 Gestion et télécontrôle du Canal de la Rocade ;	30
a) Présentation Du Centre de Gestion et Télécontrôle du Canal de la Rocade (CGTC) : ...	31
b) Description et gestion du système de régulation dynamique :	31
• Régulation du Canal de la Rocade :	31
• Mode de fonctionnement:	31
III.4 Problématiques du Canal de la Rocade :	32
a) Charge solide :	32

- Description:.....32
- L'impact :.....32
- b) La turbidité :.....33
- Chapitre IV: Qualité des eaux d'irrigation.....35
- IV.1 Les Normes de qualité des eaux d'irrigation :35
- IV.2 Quand une eau est-elle conforme à l'irrigation ?.....37
- IV.3 Etude de la qualité des eaux du Canal de la Rocade :38
- a) Analyse chimique :.....38
- b) Analyse physique :38
- c) Matière en suspension :38
- d) Vitesse de décantation :40
- IV.4 Classification des eaux :.....42
- a) Représentation des analyses42
 - Interprétations des analyses :.....43
- Chapitre V : quelques solutions et remédiations.....46
- V.1 Solutions préconisées pour l'amélioration de la qualité des eaux d'irrigation :.....46
- Comment peut-on améliorer la qualité des eaux d'irrigation ?.....46
- Décantation :47
 - Définition :47
 - principe de fonctionnement47
 - Théorie : fluide au repos :50
 - a) Qualité de l'eau après décantation.....50
 - b) Débit d'eau à décanter :.....51
 - c) Concentration en MES de l'eau brute :.....51
 - d) Vitesse de décantation :.....52
- Station de filtration :.....54
 - Rôle de filtration :.....54
- Type de filtration :.....55
 - Le filtre à sable :.....55
 - Filtres à tamis :.....58
 - Filtres à disque :.....61
 - Choix du type de filtre :64
- Finesse de filtration :66
- Conclusion.....67

Introduction

Au Maroc, l'agriculture est un secteur clé. En effet, il emploie 40 % de la population active et produit 15 % de la richesse nationale. Sous un climat marqué par un gradient d'aridité, cette activité est très dépendante de la pluviométrie annuelle.

La région de Marrakech - Tensift - Al Haouz - est située au centre du Maroc, l'essentiel de ses ressources en eau provient des oueds descendants d'un massif montagneux, l'Atlas (et notamment de l'oued Tensift) ainsi que des nappes phréatiques peu profondes. Ces ressources sont relativement importantes, mais pas inépuisables.

En 1956, l'Etat marocain a entrepris une politique ambitieuse de création des périmètres irrigués alimentés par des grands barrages. Dans la plaine du Haouz, autour de la ville de Marrakech, il a créé trois grands périmètres irrigués : la Tessaout aval, la Tessaout amont et le Haouz Central. Dans ce dernier, il a aménagé le périmètre du N'Fis à l'ouest de Marrakech avec un réseau de distribution sous pression, ce périmètre concentre l'eau des bassins versants de l'oued Lakhdar et de l'oued N'Fis. Il est géré par l'Office de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH).

Les projets d'études de cet Office portent essentiellement sur le diagnostic de la turbidité de l'eau d'irrigation. A cet effet, nous avons décidé d'entreprendre une étude qui portera sur l'analyse des eaux du Canal de la Rocade pour l'utilisation en irrigation localisée dans la région du N'Fis (N1-N2). Ce projet consiste à traiter les eaux du Canal de la Rocade pour les rendre utilisables en irrigation par goutte à goutte ainsi que trouver des techniques d'irrigation qui sont plus économiques en matière de l'eau d'irrigation car la ressource en eau tend vers une pénurie globale suite au développement démographique et aux changements climatiques.

Chapitre I : Démarche générale

Chapitre I : Démarche générale

I.1 Introduction :

Dans ce premier chapitre, nous situons cette étude dans son contexte institutionnel. Nous présentons notamment l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH) Nous décrirons ultérieurement la méthodologie suivie, permettant d'atteindre les objectifs énoncés au tout début du chapitre et de répondre à la problématique qui est posée par la suite.

I.2 Problématique et objectif de l'étude :

L'objectif de notre étude est l'amélioration de la qualité des eaux du Canal de la Rcade ainsi que de choisir des techniques optimales d'irrigation pour que ces eaux puissent être utilisables en irrigation localisée.

Il s'agit en particulier d'étudier les problèmes qui handicapent la démarche d'irrigation dans cette région et plus précisément les apports sédimentaires et la turbidité ayant un grand impact sur la capacité de stockage d'eau dans le canal, ainsi que la qualité de l'eau d'irrigation.

Dans notre étude, deux facteurs interviennent :

_ **Le facteur technique** : le changement du mode de distribution de l'eau. En effet le réseau d'irrigation est modernisé au début des années 1990. L'eau est alors distribuée sous pression au niveau des bornes d'irrigation alors qu'auparavant, elle était distribuée par un réseau gravitaire des canaux à ciel ouvert (segua et mesref) dont les prises se situent sur les oueds.

_ **Le facteur physique** : Origine de l'eau d'irrigation: Le secteur de N'fis est alimenté par les eaux du Canal de la Rcade qui prend son origine du barrage de compensation Sidi Driss. Donc l'analyse du bassin versant de l'oued Lakhdar serait intéressante.

Nous présenterons ici la méthodologie adoptée pour modéliser les différents processus et tester des solutions d'amélioration.

I.3 Cadre institutionnel de l'étude :

L'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH), est un établissement public créé en 1966, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime.

Dans le cadre de la politique agricole adoptée par le gouvernement du Royaume du Maroc, l'ORMVA du Haouz est chargé de promouvoir le développement agricole dans sa zone d'action qui s'étend sur :

- 1) La wilaya de Marrakech : préfecture de Marrakech, et la province du Haouz
- 2) La province d'El Kella des Sraghna
- 3) La province d'Azilal
- 4) La province de Rhamna

La zone d'action de l'ORMVAH s'étend, dans la plaine du Haouz autour de Marrakech, sur 663 000 ha dont 473 000 ha de SAU pour une population rurale d'environ 1 884 000 personnes. La densité de population s'élève à 400 habitants/km² de SAU. La superficie irriguée en grande hydraulique (zone aménagée) s'élève à 146 000 ha.

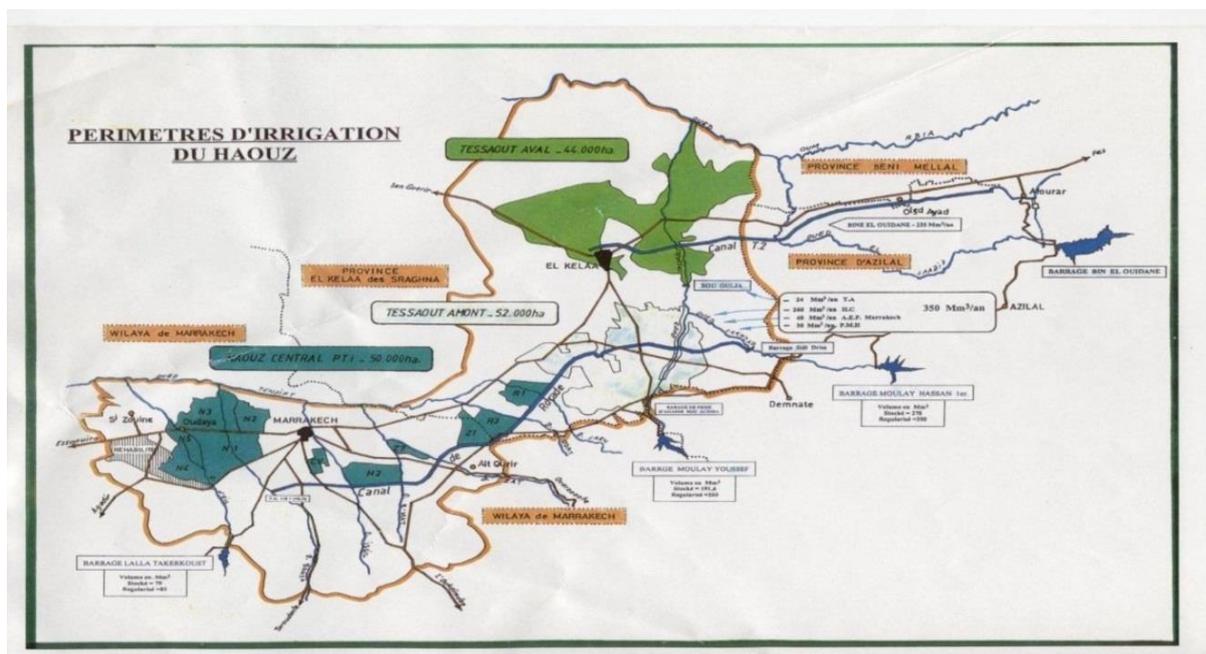


Figure 1: Carte de la zone d'action de l'Office du Haouz

Comme les autres ORMVA, l'Office du Haouz a pour missions :

- l'étude et l'exécution des équipements hydro-agricoles et de mise en valeur agricole
- la gestion des équipements hydro-agricoles et des ressources en eau à usage agricole
- la vulgarisation des techniques culturales et la formation professionnelle
- l'organisation des agriculteurs et l'encadrement du secteur de la réforme agraire (agriculteurs exploitant en coopérative)
- le développement de la production végétale et animale ainsi que la protection de la santé animale

Pour remplir ces différentes missions, 1 000 agents travaillent pour l'ORMVAH dont 300 au siège à Marrakech.

a) Les moyens humains, matériels et financiers :

- Un millier de personnes, Cadres, techniciens, administratifs et ouvriers permanents sont affectés dans les différents services de l'Office.
- L'office du Haouz est doté du matériel que nécessitent les travaux d'aménagement hydro-agricole, des exploitations, ainsi que des équipements de services.
- Les locaux administratifs ou d'habitation sont installés à travers ses subdivisions et centre de mise en valeur (C.M.V).
- Les ressources financiers de l'Office proviennent des redevances eau payées par les usagers d'eau d'irrigation ; des produits et bénéfices provenant de son patrimoine et de ses opérations ; des subventions de l'Etat représentant un part important et des dons et Crédits octroyés par des organismes publics ou privés.

b) Organisation de l'ORMVA du Haouz :**• Les services techniques :**

- Le S.G.R.I.D : Service de la Gestion du Réseau d'Irrigation de Drainage

Il s'occupe de l'exécution du programme d'irrigation élaboré dans le cadre prévisionnel (distribution et maintenance) ; de l'instruction des requêtes du réseau émanant des irrigants et polices des eaux ; du développement, encadrement des associations d'irrigation et de l'application des mesures de polices des eaux

- Le S.P.A : Service de Production Agricole

Ses attributions sont l'exécution et suivi de l'évaluation des programmes d'action élaborés dans le cadre prévisionnel en matière de production agricole et la réalisation des études Agro-Economiques.

- Le S.E.L : Service d'Elevage :

Chargé de l'organisation et l'exécution des programmes de lutte contre les maladies contagieuses et parasitaires au cheptel et l'application des mesures de polices sanitaires et vétérinaires.

- Le S.E.Q : Service d'équipement :

S'intéresse à la présentation des cahiers de charge pour la passation des marchés d'équipement et de la réhabilitation ; la réception contradictoire des études techniques d'aménagement et le contrôle des travaux et réception des ouvrages et des travaux effectués.

- Le S.V.O.P : Service de la Vulgarisation et de l'Organisation Professionnelle :

Chargé de concevoir les programmes de vulgarisation de toutes les composantes de l'exploitation et auprès des agriculteurs et d'assurer la formation permanente des vulgarisateurs et la formation professionnelle des jeunes ruraux, en collaboration avec les Services de l'office.

- **Les services administratifs :**

- S.M : *Service de Matériel* :

Il est chargé de l'approvisionnement des services en matériel et fournitures, de tenir la comptabilité matérielle et de réaliser les travaux d'entretien des immeubles et du matériel en liaison avec le service administratif et financier et il gère le parc de matériel agricole et des Véhicules de service.

- Le S.P.P : *Service de la Planification et de Programmation*

Chargé, en liaison avec les autres services, de formuler et d'évaluer les objectifs à moyen et long terme de l'action de l'Office et la stratégie de son intervention ainsi que l'élaboration des programmes et des budgets et ce en assurant le suivi et le contrôle de leur exécution.

- **Le Service Administratif et Financier :**

Est chargé, sous l'autorité du directeur et en conformité avec les textes législatifs en vigueur concernant la gestion du personnel, de :

- ❖ Concevoir et coordonner la mise en œuvre de la politique de gestion des ressources humaines de l'office dans tous ses aspects (politique salariale, effectifs, formation, recrutement, licenciement, redéploiement, gestion de carrières des personnels...).
- ❖ Recueillir et mettre à jour en permanence les besoins de l'Office en matière de qualification requise, les évaluer, les analyser et les traduire en plan de développement des ressources humaines ;
- ❖ Suivre et évaluer les personnels en liaison avec l'ensemble des départements et services ;
- ❖ Préparer et gérer les plans de formation annuels ;
- ❖ Préparer et gérer les plans de carrières ;
- ❖ Assurer la gestion administrative des personnels (paies, congés, etc....) ;
- ❖ Veiller à l'utilisation optimale des personnels dans les différents services et proposer toutes mesures de nature à améliorer leurs conditions de travail ;
- ❖ Encourager et coordonner les activités à caractère social au profit du personnel ;

- ❖ Coordonner le bon fonctionnement des organes représentatifs du personnel ;
- ❖ Représenter l'office pour toute question à caractère juridique ou social touchant à l'activité du personnel ou le patrimoine.

c) Aménagement de la grande hydraulique du Haouz :

Dans les années 1970, le roi Hassan II lance le défi d'irriguer un million d'hectares avant l'an 2000. Une politique de grands barrages est alors lancée. Le projet de développement dans le Haouz énoncé par le Gouvernement marocain aboutit à l'élaboration du plan directeur en 1976. L'aménagement de la Grande Hydraulique dans le Haouz est conduit par l'ORMVAH, fondé En 1966 par Décret Royal. A partir de 1976, il entreprend alors les démarches pour la mise En œuvre des barrages, des canaux et des aménagements identifiés dans le plan directeur. La zone aménagée par l'ORMVAH (Figure 2) est aujourd'hui constituée de trois grands périmètres irrigués :

➤ la Tessaout Amont (52 000 ha) :

Le périmètre de la Tassaout-Amont a constitué les premiers aménagements de la grande hydraulique du Haouz, et ces secteurs modernes ont été mis en service entre 1969 et 1978.

Il s'étend sur une zone délimitée par les Jbilet, au sud par le piedmont du Haut-Atlas, à l'Est par l'oued Lakhdar et à l'Ouest par la limite du bassin de l'Oued Tensift.

Il représente 52 000 ha, irrigué à par le barrage Moulay Youssef (250 Mm³ /an).

➤ le Haouz Central dont fait partie le périmètre du N'Fis (50 000 ha) :

Cette Zone, d'une superficie brute de 245 000 ha est située entre oued Tensift au Nord et le piedmont du Haut-Atlas au Sud, limitée à l'Est par le périmètre de la Tessaout-Amont et à l'Ouest par le contour occidental des eaux irrigués par les eaux de l'oued Tensift.

Son aménagement a été prévu en plusieurs étapes :

- * La première tranche d'irrigation, représentant 50 000 ha à aménager, dont une partie (21 000 ha) est actuellement réalisée (N'fis rive droite).
- * La seconde tranche d'irrigation prévoit, à plus long terme que 60 000 ha seront irrigués D'une part à partir de nouveaux barrages permettant de régulariser les eaux des Oueds Centraux, et d'autre part, pour certains secteurs par pompage dans la nappe.

➤ **la Tessaout Aval (44 000 ha) :**

La Tassaout aval couvre une superficie brute d'environ 70 000 ha. Elle est située entre la chaîne des Jbilet au Sud, L'Oum Errebia au Nord, L'oued El Abid à l'Est.

La superficie irriguée à terme sera de 44 000 ha.

Pour assurer l'irrigation de ces 3 principales parties et pour une meilleure gestion de l'eau, l'ORMVAH a construit plusieurs canaux d'irrigation à surface libre, assurant une irrigation gravitaire et un réseau souterrain qui permet d'irriguer en pression. L'un des canaux les plus importants est le Canal de la Rocade.

I.4 Méthodologie :

Le stage s'est déroulé en deux phases :

- Phase de recherches bibliographique : recueil des données sur le terrain et travail à l'ORMVAH :
 - Sortie de terrain pendant 2 jours pour visiter la zone d'étude (le barrage Sidi Driss et le Canal de la Rocade).
 - Visite des sociétés concernées (Direction régionale des Eaux et Forêts, Centre de Gestion et Télécontrôle du Canal de la Rocade).
 - Séjour au laboratoire de l'ORMVAH et du Centre National de Recherche sur l'Eau et l'Energie Renouvelable (CNEER) pour effectuer les analyses nécessaires
- Phase d'analyse des informations collectées et rédaction du mémoire de fin d'études.

Chapitre II: Contexte de l'étude

Chapitre II: Contexte de l'étude

II.1 Présentation générale du secteur N1-N2 du N'fis:

D'une superficie de 4124 ha, le secteur de N1-2 se situe dans le périmètre de N'Fis sur la rive droite de l'oued N'Fis, il est alimenté par les eaux du canal de la Rocade qui prend origine du barrage de compensation de Sidi Driss.

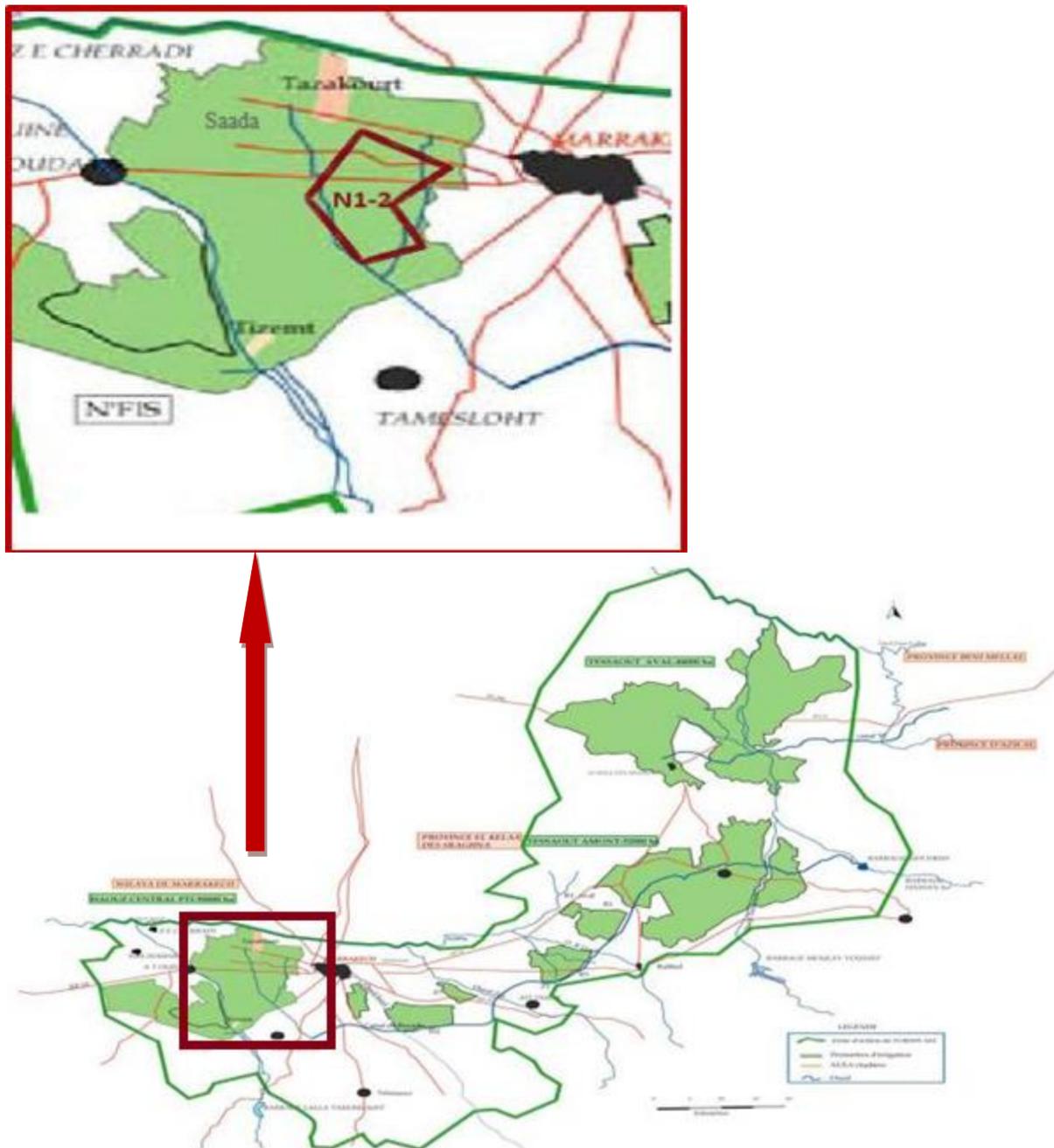


Figure 2 : Carte géographique du secteur de N'fis N1-2 (Marrakech-Tensift-Haouz)

a) Mise en valeur :

La production agricole dans le secteur N1-2 est orientée vers la filière olive. En effet l'assolement actuel du secteur se présente comme suit :

- Les plantations couvrent 61% de la SAU, avec une dominance de l'olivier (42% de la superficie). Les rosacées couvrent 12% des superficies ;
- Les terres non cultivées couvrent près de 15% des superficies du secteur ;
- Les cultures annuelles occupent 24% des surfaces, avec 56% de céréales, 30% des cultures fourragères et 13% de cultures maraîchères.

Toutefois le secteur est caractérisé par la dominance des terres domaniales, puisqu'elles constituent 49,7% de la SAU. En revanche le statut Melk figure aussi mais à moindre importance, il ne concerne que 21% de la superficie total.

Quant au mode d'irrigation, le secteur est caractérisé par le système gravitaire en dominant sur 80% de la superficie irriguée par ailleurs, l'importance du système localisé a évolué ces dernières années, il occupe actuellement 20% de la superficie irriguée répartie entre les cultures maraîchères et les plantations.

b) Description du réseau :

Les principaux éléments composants le réseau qui dessert le secteur N1-2 sont :

- Le bassin 520 ;
- La conduite principale P3
- Les antennes secondaires et tertiaires alimentant les bornes d'irrigation
- Les chambres de vannes

Les bornes d'irrigation sont constituées de : régulateur de pression, limiteur de débit et un compteur volumétrique

Le débit de chaque borne est fixé en fonction de la surface cultivable du bloc desservi et le module de débit unitaire (0,5 ou 1/s/ha selon les blocs)

La distribution de l'eau d'irrigation s'effectue au tour d'eau sur la base d'un planning établi sur les demandes formulées par les agriculteurs.

II.2 Description du bassin Sidi Driss :

La zone d'étude est constituée du bassin versant intermédiaire de l'oued Lakhdar, situé entre les deux barrages Moulay Hassan 1er en amont et Sidi Driss à l'aval, sur une superficie de 126 300 ha. Elle constitue l'impluvium de la retenue Sidi Driss qui a été presque totalement envasée à la fin des années 80.

Tous les facteurs naturels et socio-économiques font que l'érosion hydrique y soit intense. Le relief est très accidenté, les substrats sont tendres, les précipitations sont orageuses et le couvert végétal est très dégradé. Le curage de la retenue, en 1991, a coûté plus que le prix de construction du barrage, environ 2 Milliards de dirhams (200 millions d'Euro). Dans l'objectif de ralentir son envasement une seconde fois et contribuer à instaurer une gestion durable des ressources naturelles, le gouvernement marocain, avec l'aide de la communauté européenne, a lancé depuis 1993 l'étude et l'aménagement du bassin versant de Sidi Driss (BVSD)

Le BVSD se compose de trois zones plus ou moins homogènes du point de vue du relief. La zone aval comprenant toute la partie située entre Demnate, Sidi Driss, Tanant, Ait Aqqa et Ouaoula. Les pentes sont faibles à moyennes. Elle correspond essentiellement au bassin de l'oued Tainit et la partie aval du M'hasser. Une zone intermédiaire, de moyennes montagnes et de pentes faibles, moyennes à fortes, correspondant à la zone comprise entre les deux chaînes montagnardes, jbel Asloun et Tamadoute au sud et jbel Imin'ifri et Jiber au nord. La zone appelée « Iwaridene » y constitue une vallée à pente faible à moyenne (ORMVAH).

Et en raison de son étendue et de son relief, le bassin se caractérise par un climat très différencié d'une zone à l'autre. Ainsi, le climat est semi-aride influencé par le courant froid des Canaries dans la zone côtière, semi-aride chaud dans les Jbilet et continental de type aride dans le Haouz et le Mejjate.

a) Présentation du barrage Sidi Driss :

Situation	14 km au Nord-ouest de Demnate
Date de mise en service	1983
Débit solide spécifique	192 m ³ /km ² /an
Capacité de la retenue	7 M m ³ , actuellement ne dépasse pas 2 M m ³
Envasement moyen annuel	0,45 M m ³
Taux annuel de l'envasement	18%
Volume de la tranche morte	3,1 M m ³
Durée de vie	25 ans

Tableau 1: Caractéristiques du barrage Sidi Driss

b) Problème d'érosion du bassin versant :

Le bassin versant présente une répartition spatiale particulière des formes et des intensités de l'érosion hydrique. Les zones les plus érodées, où on observe un décapage complet du sol et l'apparition des roches mères, sont associées d'abord à une couverture végétale naturelle éradiquée ou réduite au minimum.

Quand le couvert végétal est dégradé, l'infiltration diminue et le ruissellement augmente en débit et se concentre dans l'espace et le temps. Les actions d'abrasion et de transport du ruissellement deviennent de plus en plus actives, notamment sur les substrats tendres

Le ravinement se généralise et le paysage évolue en bad-lands. L'action du ruissellement devient de plus en plus agressive au fur et à mesure que la pente augmente. Quand la couverture végétale devient de plus en plus réduite et le sol est déstructuré (labour même rare), l'effet de la pente devient de plus en plus important. Avec des occupations des sols similaires et des substrats de duretés comparables, l'érosion est plus intense sur les pentes fortes. A travers les observations de terrain, on peut constater que les deux facteurs qui dominent dans l'installation et le développement des formes d'érosion sont la perturbation de la surface du sol (diminution de la couverture végétale, labour, pâturage) et la pente.

Dans le processus d'érosion des sols qui conduit au transport des sédiments et à l'envasement des retenues de barrage, il y a lieu de considérer plusieurs phénomènes d'amont en aval :

- L'érosion en nappe qui résulte de l'enlèvement par la lame d'eau de particule de terres sur les sols dénudés et pentus
- Le ravinement qui se produit lorsque les rigoles s'anastomosent sur les sols tendres et que l'écoulement n'est pas ralenti par des obstacles naturels ou non,
- La solifluxion (glissement de terrain) qui touche les sols argileux ou marneux sur le socle imperméable.

II.3 Classification des Systèmes d'irrigation :

Les systèmes d'irrigation se subdivisent en deux grandes catégories : L'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression. Cette dernière est classée en deux types l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion. La figure ci-dessous présente une architecture de ces différentes méthodes d'irrigation pratiquées partout dans le monde (Azouggah, 2001).

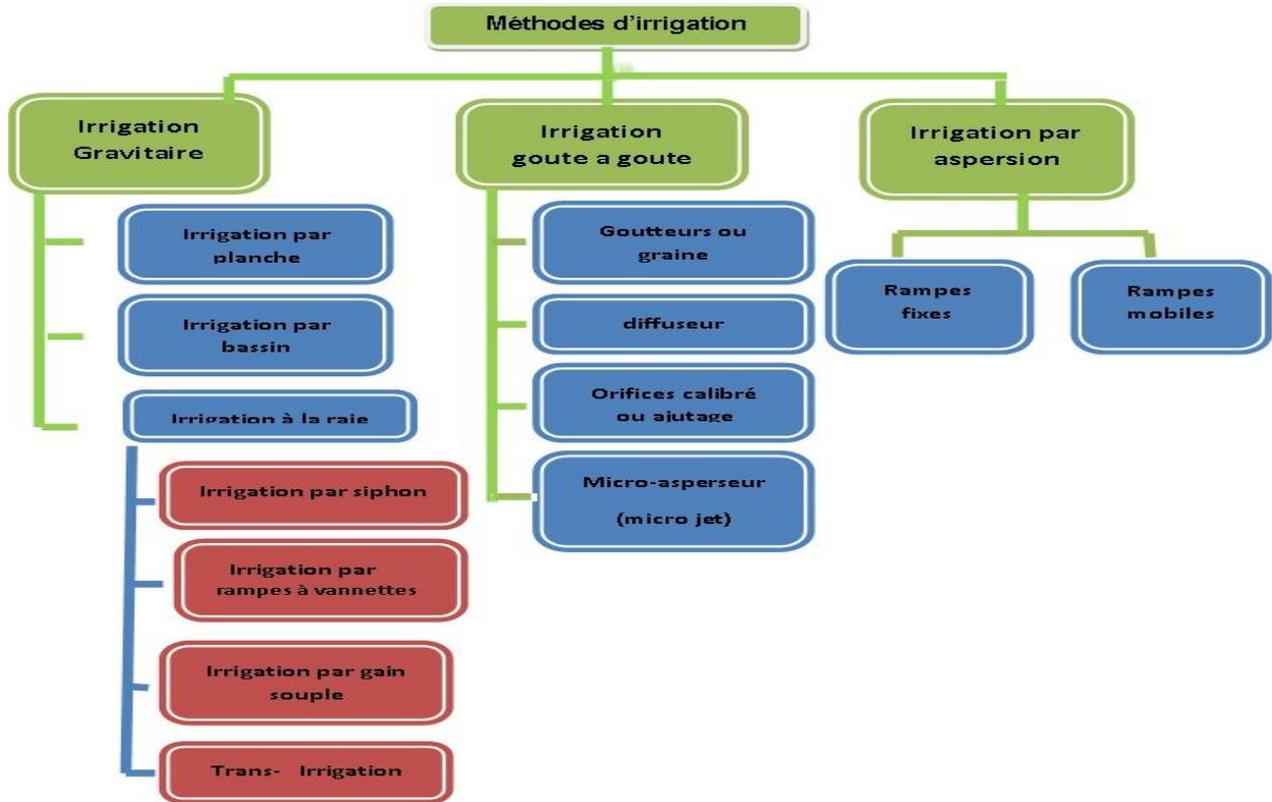


Figure 2 : Méthodes d'irrigation

a) 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 à 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.

Au Maroc, on estime que plus de 93% de la superficie de la grande hydraulique est irriguée par une technique traditionnelle appelée "Robta" qui représente environ 88% des superficies irriguées.

Cette technique trouve sa large utilisation dans le fait qu'elle est adaptée aux parcelles de mauvais état de nivellement.

Dans cette irrigation il y a plusieurs types d'irrigation dont les trois suivants sont les plus connus : l'irrigation à la raie, l'irrigation par planche ainsi que l'irrigation par bassin.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -les coûts d'investissement sont souvent relativement faibles - les besoins énergétiques sont faibles ou nuls - ces techniques sont anciennes, bien connues et éprouvées et sont insensibles au vent - les végétaux ne sont généralement pas mouillés, ce qui est plus favorable sur le plan phytosanitaire, - les techniques sont assez bien adaptées à l'épandage d'eaux de sortie de station d'épuration par exemple - contribution à l'alimentation des nappes phréatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> - besoin en main d'œuvre important - faible rendement (sauf s'il y a recyclage des eaux de colatures) - terrassements souvent importants et impliquent la possibilité d'apparition de zones plus ou moins stériles en surface - techniques inadaptées sur des sols filtrants - desserte des parcelles par des canaux entraîne des pertes de place (ce qui disparaît si l'on peut recourir à des canalisations enterrées et fonctionnant à basses pressions) - parcellaire est souvent figée - pertes (et parfois des vols) d'eau dans les canaux selon la nature du sol et parfois des problèmes de qualité de l'eau - nécessité d'un terrain plat ou un nivellement, - difficultés de l'estimation du volume réellement consommé, - possible pollution par déversement - Salinisation des sols.

Tableau 2: Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire

b) Irrigation par aspersion :



la répartition la plus uniforme possible de la pluviométrie.

En irrigation par aspersion, l'eau parvient aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle de la pluie, grâce à l'utilisation de divers appareils de projection alimentés sous pression, choisis et disposés de façon à obtenir

Il existe deux grandes catégories d'arrosage par aspersion en fonction du matériel utilisé (Azougagh, 2001) :

- Les rampes mobiles.
- Les rampes fixes.

Une installation d'irrigation sous pression est généralement composée d'un équipement fournissant la pression nécessaire à son fonctionnement, d'appareils de mesure et de contrôle de débit, et d'une conduite principale amenant l'eau jusqu'aux conduites secondaires et tertiaires. D'autres éléments peuvent être utilisés, notamment un filtre ou une batterie de filtres et un dispositif d'adjonction d'éléments fertilisants.

L'irrigation par aspersion reproduit le phénomène naturel de la pluie, en maîtrisant l'intensité et la hauteur de la précipitation. Cette technique nécessite des conditions de pression moyenne à forte de 3 à 6 bars à la buse.

Au niveau de l'asperseur, pièce maîtresse du dispositif, une buse crée un jet et l'oriente vers la cuillère. Le bras mobile est activé par le jet. Le ressort de rappel provoque le retour du bras mobile et assure ainsi la rotation de l'asperseur.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Besoins en main-d'œuvre généralement faibles (mais très variables selon le degré d'automatisation) - Absence de nivellement préalable. Cependant, la pente générale du sol ne doit pas en principe dépassé 10 % - Possibilité d'arroser tous les types de sol. On peut obtenir la même efficacité d'arrosage sur les sols les plus sableux que sur les sols les plus argileux, grâce à la large gamme des intensités pluviométriques offertes par les différents matériels. La pluviométrie maximale admissible varie en effet en fonction du type de sol, de la couverture du sol et de la pente - Possibilité de contrôle précis des doses appliquées, ce qui permet un bon rendement des arrosages (à condition que la technique soit bien maîtrisée par les irrigants) - Bon rendement des réseaux de canalisation qui, avec une bonne efficacité d'arrosage à la parcelle, réduit les consommations en eau par rapport à l'irrigation de surface - Automatisation très poussée permise par le réseau sous pression - Possibilité de réaliser des arrosages à faible dose et à cadence rapide (levée de semis en l'absence de pluie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts d'investissement élevés - Exigence un certain niveau de compétence de la part de l'irrigant permettant de garantir la maintenance des équipements - Dépense énergétique élevée, parfois prohibitive dans les pays où l'énergie est chère - Difficultés d'utilisation et efficacité réduite en régions ventées - Obligation de multiplier les traitements phytosanitaires en raison du mouillage des feuilles favorisant les maladies cryptogamiques chez certaines espèces végétales - Mauvaise adaptation aux sols « battants », susceptibles de tassement superficiel sous l'impact des gouttes d'eau - Possibilités réduites pour l'arrosage avec des eaux résiduaires (formation d'aérosols) - Déplacement du matériel difficile dans les zones à cultures hautes (inconvénient supprimé dans le cas des systèmes automatisés)

Tableau 3: Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion

c) Irrigation localisée :



L'irrigation localisée ou irrigation goutte à goutte est l'ensemble d'apport d'eau localisée au voisinage des racines des plantes, avec des doses réduites mais, à fréquences élevées.

Dans son principe, l'irrigation localisée, n'est en fait qu'une amélioration des techniques traditionnelles.

Il consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'aux racines de chacune des plantes et à la distribuer au compte-goutte, en surface ou en souterrain, à l'aide de petits tuyaux, posés sur le sol ou enterrés.

La micro-irrigation est employée presque exclusivement en utilisant de l'eau potable car les réglementations interdisent généralement de pulvériser de l'eau non potable.

En micro-irrigation, l'utilisation d'engrais traditionnels en surface est parfois inefficace, ainsi les systèmes de micro-irrigation mélangent souvent de l'engrais liquide ou des pesticides à l'eau d'irrigation. On peut citer quatre types : goutteur ou gaine, diffuseur, orifice calibré ou ajustage et micro asperseur.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Economie d'eau : La surface de contact eau-air étant très faible (quelque dm² les pertes par vaporisation sont donc faibles. D'autre part, la ligne de goutteurs étant en général, placée au voisinage immédiat des cultures, le développement des adventices est limité et de ce fait les phénomènes de concurrence se trouvant réduits. Les doses étant faible dont les pertes par percolation se trouvent limitées.. - Pression de fonctionnement faible : La pression nominale des distributeurs est en général de 10m.c.e (mètre colonne d'eau, 10m.c.e = 1 Bar). Si on estime que les pertes des charges au niveau d'une station de tête se situent entre 10 à 15m selon la complexité de l'installation, la pression nécessaire en tête de parcelle est de 20 à 25m contre 30 à 40m pour l'aspiration. - Enherbement réduit : la localisation de l'eau limite le développement des adventices (mauvaises herbes). - Possibilité d'arrosage sous paillage plastique - Réduction du tassement du sol et maintien d'une structure favorable - La distribution dans le champ est uniforme, L'eau est apportée directement à l'endroit nécessaire, au niveau des racines. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bouchage (abstraction des goutteurs) : les inconvénients les plus importants sont ceux liés au problème de bouchage soit en raison de la qualité d'eau soit à cause de l'utilisation de certains engrais, d'où l'intérêt d'utiliser les filtres pour améliorer la qualité de l'eau, - Salinisation excessive du sol (accumulation des sels) : toute eau d'irrigation contient des sels dissous, la plante prend d'eau et les sels restent dans le sol, durant la saison d'irrigation ces sels généralement refoulés à la limite externe du bulbe humide, en apportant plus d'eau que la plante n'en consomme de la zone racinaire et risque de provoquer de sérieux dégâts sur la culture, - Investissement ; l'équipement se fait pour la parcelle donnée sans possibilité de rotation sur d'autre parcelle, - Mauvaise répartition de l'eau dans le sol : l'irrigation localisée n'assure l'humidification que d'une fraction du volume du sol susceptible d'être exploré par les racines..

Tableau 4: Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

II.4 Mode d'irrigation au N°fis N1-2 :

Le mode d'irrigation dominant dans le secteur N°Fis est le gravitaire (74%), suivi par l'irrigation localisée (goutte à goutte) à hauteur de 26%

Périmètre de GH	Superficie (ha)	Nombre de point d'eau	Superficie en irrigation localisée (ha)	%
N°fis rive droite	17000	264	4356	26
Secteurs centraux	12700	66	1004	8

Tableau 5 : Superficies équipées en irrigation localisée (ORMVAH, 2008)

Pour le secteur N1-2, le mode d'irrigation qui prédomine est le gravitaire (90%) alors que l'irrigation localisée ne concerne que 10% de la superficie irriguée :

Périmètre	Superficie (ha)	Nombre de point d'eau	Système d'irrigation	%
Saada secteur N1-2	2830	2830	gravitaire	90
			localisée	10

Tableau 6 : Superficie équipée en irrigation localisée au niveau du secteur N1-2 (ORMVAH)

Les enquêtes de l'ORMVAH ont montré que les céréales et les cultures fourragères sont à 100% irrigués à l'aide du système gravitaire, les plantations d'olivier sont desservies par le système gravitaire dans 98% des cas, alors que Les cultures maraichères et les plantations mieux valorisantes de l'eau d'irrigation, notamment les agrumes, les rosacés, et les vignobles ont conduites sous un système d'irrigation localisée dans 78% à 90% des cas. La micro irrigation s'est développée pour les plantations particulièrement pour les espèces consommatrices en eau agrumes, rosacés, et vignes, où plus de 80% des surfaces ont été aménagés en localisée. Par contre, la quasi-totalité des plantations d'oliviers est irriguée actuellement en gravitaire, l'alimentation des conduites principales souterraines.

Un maillage de canalisations secondaires souterraines qui achemine l'eau jusqu'aux bornes qui sont les points stratégiques de la distribution de l'eau entre usagers.

Ces bornes desservent des unités foncières appelées blocs d'irrigations qui sont exploitées par un nombre variable d'irrigants. Dans les zones de micropropriétés, on assiste à un regroupement d'un nombre important d'irrigants autour d'une même borne. Les grandes propriétés bénéficient généralement des bornes individuelles. Les bornes sont commandées par des chambres des vannes installées sur les conduites principales et secondaires qui permettent de fermer un tronçon entier du réseau. L'intervention de l'administration s'arrête au niveau de la borne, la gestion de la ressource en aval de celle-ci devant être théoriquement à la charge des irrigants.

Cet aménagement devrait se substituer au réseau traditionnel de seguias et devrait permettre la pratique de l'irrigation sous pression (aspersion ou localisée) qui n'est réellement présente, dans le cas du N'Fis, que sur environ 10% de la superficie. En effet, la majorité des agriculteurs acheminent l'eau des bornes à leurs parcelles dans les mesrefs du réseau traditionnel. Le parcellaire est un parcellaire traditionnel, non remembré.

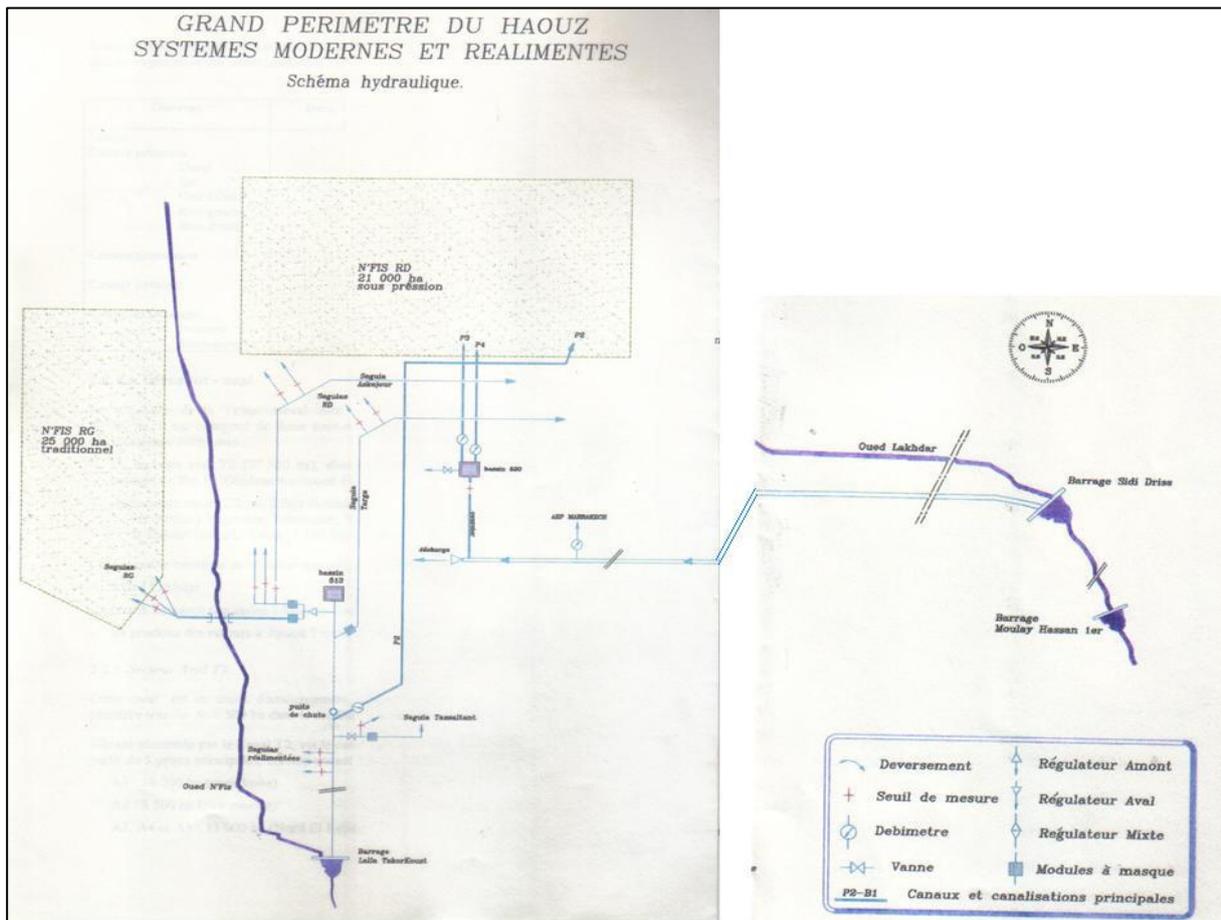


Figure 3 : Schéma représentant les équipements et les aménagements hydrauliques alimentant le secteur N1-2 (ORMVAH)

a) Découpage des sous-secteurs du N°fis :

Le secteur du Saada fait partie du périmètre du N°Fis qui est découpé en sous-secteurs hydrauliques ou secteurs d'irrigation.

Le secteur N1-2 qui fait partie de la rive droite du N°fis, a une surface d'environ 2830 ha équipée par un système d'irrigation sous pression avec prédominance de gravitaire à la parcelle. La mise en service du secteur N1-2 a eu lieu en 1991.

b) Ressources en eau d'irrigation dans le secteur N1-2 :

Le secteur N1-2 est alimenté à la fois par des ressources en eau superficielles et des ressources en eau souterraine :

- Eaux souterraines :

Les ressources en eau souterraines utilisées en irrigation dans ce secteur proviennent de la Nappe du Haouz. Ces ressources sont limitées et utilisées comme un complément d'irrigation en cas de restriction ou coupure d'eau.

- Eaux de surface :

Le secteur N1-2 est alimenté par les ressources en eau du barrage Sidi Driss. Le tableau ci-dessous présente l'origine d'alimentation par secteur.

Périmètre de grand hydraulique	Barrage d'alimentation
N°Fis rive droite centre Saada	Haouz central
Haouz central	Haouz central

Tableau 7: Origine d'alimentation par secteur

Ces ressources en eau de surface accusent une variation progressive au cours de l'année Selon les apports annuels du barrage d'alimentation.

Les apports au niveau du complexe Hassan Ier et sidi Driss sont présentés ci-dessous :

Barrage	Superficie (Km ²)	Apports 1941-2006 Mm ³ /an	Apports 1980-2006 Mm ³ /an	Diminution %
Complexe Hassan Ier Sidi Driss	2930	296	275	7

Tableau 8: Les apports annuels du barrage d'alimentation (ORMVAH, 2008)

Les apports naturels annuels ont connues une diminution sur le bassin versant du barrage Hassan Ier. Elle est d'ailleurs généralisée sur tout le bassin d'Oum Errabia, suite à la diminution des précipitations pluviométriques. En effet la comparaison entre les apports des précipitations sur tout le bassin d'Oum Errabia entre la série chronologique des précipitations entre 1940-2006 et celle de 1980-2006 montre elle aussi une diminution de 7%.

Chapitre 3:
**Caractérisation du système de transfert et
de la distribution des eaux**

Chapitre III: Caractérisation du système de transfert et de la distribution des eaux

III.1 Description du Canal de la Rocade

a) Présentation :

Le Canal de la Rocade est l'un des principaux adducteurs de la première tranche du Haouz Central 50.000 Ha, dont les terrassements ont démarré en 1953.

C'est un canal de forme trapézoïdale de 118 km permettra le transfert d'un volume moyen annuel de 300Mm³ d'eau régularisée par le complexe Barrage Moulay Hassan 1er et Sidi Driss dont :

- 260 Mm³ pour l'irrigation
- 40 Mm³ pour l'alimentation de la ville de Marrakech en eau potable



Figure 4 : le Canal de la Rocade

Son dérivé d'une longueur de 7Km permet le transfert d'un volume de 106 Mm³ pour l'irrigation de 14.800 Ha dans le périmètre du N°fis.

L'adducteur, issu du barrage de compensation du barrage LallaTakerkoust, d'une longueur d'environ 6Km, permettra le transport d'un volume moyen régularisé de 26Mm³ destinée à l'irrigation de 3.700 Ha dans la rive droite du N°fis.

Le canal est prolongé à son extrémité par un autre canal de 7,5 Km avec un débit de 6 m³/s pour alimenter un bassin de régulation (nommé Bassin 520) d'une retenue de 20 000 m³ en tête de deux conduites desservant un réseau sous pression pour l'irrigation d'environ 17 000 Ha du périmètre du N'fis. Il est décomposé en sept biefs, à l'aval de chacun d'eux est implanté un régulateur, il suit un tracé presque parallèle avec l'oued Tensift



Figure 5: Canal de dérivation des eaux de la Rocade vers le bassin 520

b) Construction du Canal de la Rocade :

Le barrage Lalla Takerkoust, sur l'oued N'Fis, est surélevé en 1979 et il peut désormais régulariser 85 millions de m³. Le barrage Moulay Hassan Ier sur l'oued Lakhdar est achevé en 1987. Il permet de régulariser 350 millions de m³. En aval de ce barrage est construit le Barrage Sidi Driss qui forme aujourd'hui un bassin de compensation de 2 millions de m³. Pendant ces mêmes années est construit le Canal de la Rocade. Cet ouvrage, long de 118 km est d'un débit de 20 m³/s transfère (à partir du barrage Sidi Driss) l'eau de l'oued Lakhdar qui fait partie du bassin de l'Oum Errabia vers le bassin du Tensift. Ce prélèvement sur l'oued Lakhdar est compensé par le canal T2 qui prend l'eau du barrage Bin El Ouidane pour l'acheminer vers le périmètre de la Tessaout Aval

III.2 Caractéristiques géométriques du Canal de la Rocade

La section transversale est généralement trapézoïdale revêtue en béton non armé. La pente longitudinale est de 0,25%.

Le canal est pourvu de 14 ouvrages de prises : un pour l'alimentation en eau potable de Marrakech, 13 pour l'irrigation, 7 ouvrages régulateurs, 1200 ouvrages de passage d'eau et de circulation (siphons, pont bâches, ports, passerelles, passage seguias et massrefs ouvrage de vidange, ouvrage de décharge... etc.).

Il est prolongé à son extrémité par un canal adducteur d'une longueur de 7,5 km avec un débit de 6 m³/s qui arrive dans le bassin de régulation (bassin de 20 000 m³ de capacité utile) alimentant le périmètre de N°fis.

La capacité du débit du canal varie de 20 m³/s en tête à 12 m³/s en Aval :

- 20 m³/s du début du canal au point 80,83 km
- 18 m³/s du point 80,83 km au point 89,36 km
- 16 m³/s du point 89,36 km au point 102,315 km
- 12m³/s du point 102,315km au point 118 km

Biefs	Longueur (Km)
1	59,508
2	5,497
3	15,757
4	29,528
5	12,925
6	9,229
7	7,149

Tableau 9: Biefs du Canal de la Rocade et distances les séparant

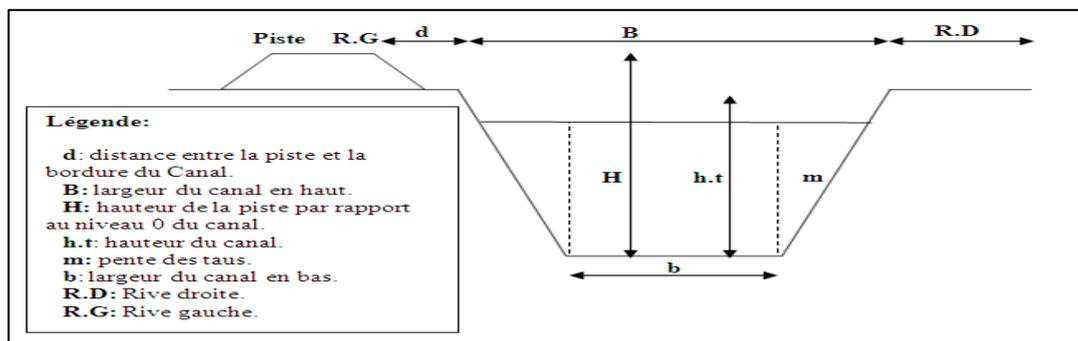
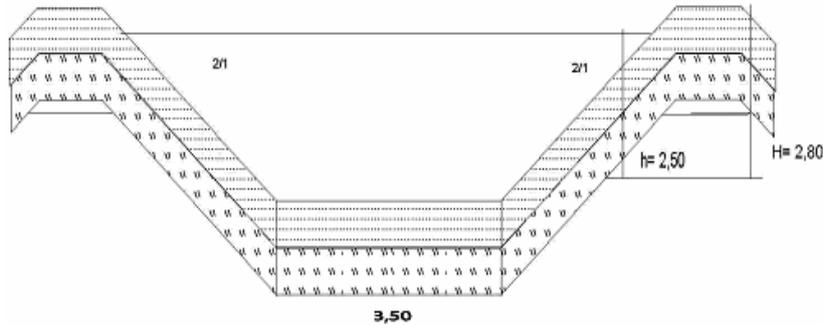


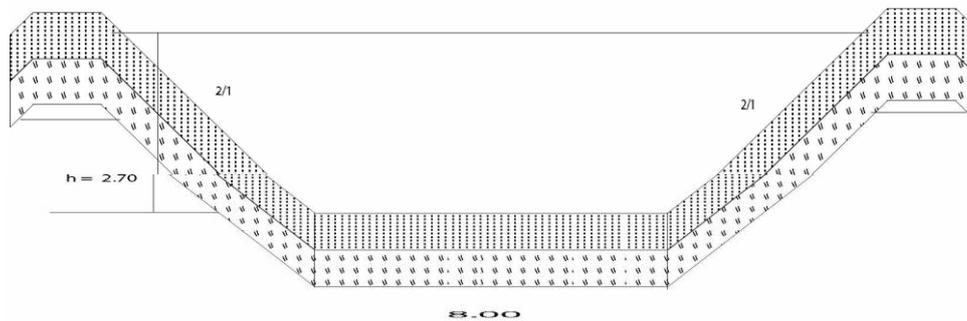
Figure 6: Schéma représentant la section transversale du Canal de la Rocade

La forme de la section du Canal de la Rcade se trouve sous trois types différents qui sont :

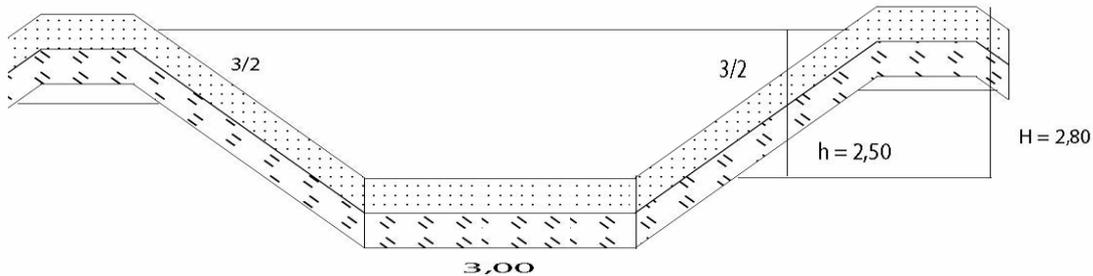
-Type I :



-Type II :



-Type III :



III.3 Gestion et télécontrôle du Canal de la Rcade ;

Afin d'assurer la maîtrise du mouvement d'eau tout au long de l'adduction, pour satisfaire les besoins sans défaillance ni gaspillage, un canal doit disposer d'un system qui facilite la tâche des exploitants et procure une sécurité de fonctionnement qui est d'autant plus importante. C'est le système de la régulation qui est géré par un centre de l'ORMVAH appelé : le centre de gestion de télécontrôle du Canal de la Rcade

a) Présentation Du Centre de Gestion et Télécontrôle du Canal de la Rocade (CGTC) :

Le centre de gestion et de télécontrôle (CGTC) a été créé pour résoudre le problème concernant le fonctionnement d'adductions d'eau transitant des débits sur de longues distances, et d'ajuster les débits pour satisfaire convenablement les demandes en eau d'irrigation et en eau potable de Marrakech, à la fois sans défaillance et évitant les pertes.

Le CGTC commande le Canal de la Rocade et le canal N°fis à distance à l'aide d'un système moderne de régulation, ce centre a pour rôle la gestion et la supervision du fonctionnement du système ainsi que la maintenance préventive des équipements.

b) Description et gestion du système de régulation dynamique :

• Régulation du Canal de la Rocade :

La régulation dynamique est définie comme étant un système d'exploitation centralisé, son but est d'assurer la maîtrise du mouvement de l'eau tout le long des canaux pour satisfaire les besoins en eau. Mais aussi de faciliter la tâche des exploitants de procurer et de garantir une sécurité de fonctionnement, son procédé est défini de la façon suivante: elle gère de façon globale les volumes dans les différents biefs du canal en fonction du planning ou des prévisions du bureau d'exploitation du réseau et des centres de mise en valeur (CMV).

• Mode de fonctionnement:

Au niveau du CGTC, un système informatique est installé et s'occupe de la gestion globale des volumes d'eau en transit :

- Il fait le bilan des apports, prélèvements et réserves
- Il calcule suivant les lois prévisionnelles d'évolution de la consommation et des temps de transit de l'eau, les débits nécessaires de chacun des biefs pour maintenir ou rétablir l'équilibre
- Il déduit les valeurs de consignes qui devront être transmises aux vannes...

La régulation dynamique présente trois avantages :

- la réduction des investissements (sur le plan génie civil).
- une sécurité de fonctionnement optimale grâce à la centralisation de toutes les informations (surveillance continu du canal par la visualisation des niveaux de plan d'eau, et des positions des vannes, ainsi que par les alarmes signalant les anomalies).
- une exploitation optimisée permettant une juste répartition d'eau, même en cas d'incident.



Figure 7 : Exemple de régulateur de commande des vannes du Canal de la Rocade

III.4 Problématiques du Canal de la Rocade :

a) Charge solide :

- **Description:**

Elle est parmi les points faibles de la construction du Canal de la Rocade, car les responsables du projet (association française et marocaine) n'ont pas pris en considération la contrainte des apports charriés dans la conception de ce dernier. Mais malgré cela, on va essayer de résoudre le problème d'envasement de l'ouvrage par des techniques que nous allons citer ultérieurement dans le dernier chapitre.

- **L'impact :**

- Sur l'irrigation :

L'irrigation est l'opération qui consiste à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, en particulier dans les zones arides. Les différents systèmes d'irrigation nécessitent des matériaux bien connus, pratiqués aux champs avec des méthodes adaptées.

En effet, chacune de ces méthodes présente des avantages et des inconvénients. Il existe plusieurs systèmes d'irrigation. Nous nous intéressons au système de goutte à goutte qui présente les avantages suivants :

-économie d'eau.

-contrôle précis des quantités d'eau apportées : à condition que l'installation soit bien dimensionnée

-faible pression de fonctionnement.

Malgré ces avantages il présente aussi des inconvénients, la plus grave :

-Bouchage (abstraction des gouteurs) : les inconvénients les plus importants sont ceux liés au problème de bouchage pour la raison essentiellement liée à la charge solide transportée par l'eau.

-Sur la qualité des eaux :

Les apports sédimentaires se trouvant au Canal de la Rocade et au barrage de Sidi Driss présentent un point d'interrogation pour les hydrogéologues et les géologues ... du point de vue qualité des eaux. Nous avons ainsi opté pour faire des prélèvements depuis le barrage Sidi Driss jusqu'à la sortie du bassin 520 afin de suivre l'évolution de ces eaux de point de vue qualité, et bien évidemment connaître l'impact des apports sur la qualité de l'eau.

b) La turbidité :

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité.

Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes. Les sources de matières particulaires peuvent être d'origine naturelle (acides humiques, particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion du sol) ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains).

Dans le réseau de distribution, après le traitement de l'eau, la turbidité peut s'accroître par la post-floculation de coagulants résiduels dissous, la croissance de micro-organismes, la remise en suspension de la matière déposée dans les canalisations ainsi que par la corrosion de la tuyauterie.

Chapitre IV:
Qualité des eaux d'irrigation

Chapitre IV: Qualité des eaux d'irrigation

IV.1 Les Normes de qualité des eaux d'irrigation :

Vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies afin de :

- ✓ protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- ✓ protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- ✓ protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- ✓ protéger le matériel d'irrigation ;
- ✓ maintenir des rendements acceptables

-Paramètres Bactériologiques :

	Valeurs limites
Coliformes fécaux	1000/100 ml
Salmonelle	Absence dans 5 l
Vibron Cholérique	Absence dans 450 ml

Tableau 10 : Paramètres bactériologiques

-Paramètres Parasitologiques :

	Valeurs limites
Parasites pathogènes	Absence
Œufs, kystes de parasites	Absence
Larves d'Ankylostomides	Absence
Fluococercaires de Schistosoma Hoematobium	Absence

Tableau 11 : Paramètres parasitologiques

-Paramètres Toxiques :

	Valeurs limites
Mercuré (Hg) en mg/l 0,001	0,001
Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
Arsenic (As) en mg/l	0,1
Chrome total (Cr) en mg/	1
Plomb (Pb) en mg/l	5
Cuivre (Cu) en mg/l	2
Zinc (Zn) en mg/l	2
Fluor (F) en mg/l	1
Cyanures (CN) en mg/l	1
Phénols en mg/l	3
Aluminium (Al) en mg/l	5
Beryllium (Be) en mg/l	0,1
Cobalt (Co) en mg/	0,5
Fer (Fe) en mg/l	5
Lithium (Li) en mg/l	2,5
Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
Molybdène (Mo) en mg/	0,01
Nickel (Ni) en mg/l	2
Vanadium (V) en mg/	0,1

Tableau 12 : Paramètres Toxiques**-Paramètres physico-chimiques :**

	Valeurs limites
Salinité totale (STD) en mg/l	7680
Conductivité électrique (CE) en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C	12
Infiltration (SAR)	<0,2
0-3 et CE =	<0,2
3-6 et CE =	<0,3
6-12 et CE =	<0,5
12-20 et CE =	<1,3
20-40 et CE =	<3

Tableau 13 : Paramètres physico-chimiques

-Ions Toxiques (Affectant Les Cultures Sensibles) :

	Valeurs limites
Sodium (Na) en mg/l	
Irrigation en surface (SAR***)	93
Irrigation par aspersion	69
Chlorure (Cl)	
Irrigation en surface	350
Irrigation par aspersion	105
Bore (B)	3

Tableau 14 : Ions Toxiques (Affectant Les Cultures Sensibles)**-Effet divers (affectant les cultures sensibles) :**

	Valeurs limites
Température (°C)	35
Ph	6,5 à 8,4
Matières en suspension en mg/l	
Irrigation gravitaire	2 000
Irrigation par aspersion (localisée)	100
Azote nitrique (N-NO ₃) en mg/l	30
Bicarbonate (HCO ₃) [irrigation par aspersion] en mg/l	518
Sulfate (SO ₄ ²⁻) en mg/l	250

Tableau 15 : Effet divers (affectant les cultures sensibles)**IV.2 Quand une eau est-elle conforme à l'irrigation ?**

Le nombre minimal d'échantillons sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes fixées est de :

- 6 par an à raison de 1 tous les 2 mois à partir de février pour les eaux superficielles;
- 2 par an pour les eaux souterraines pendant la période d'irrigation.

Pour les eaux usées épurées, le nombre minimal d'échantillons sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes est fixé comme suit :

- 4 par an à raison de 1 par trimestre pour analyser les métaux lourds
- 24 par an à raison de 1 tous les 15 jours pour analyser les paramètres bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques.

Le prélèvement des échantillons d'eaux usées épurées doit s'effectuer à la sortie des stations d'épuration.

IV.3 Etude de la qualité des eaux du Canal de la Rocade :

L'appréciation de la qualité des eaux était basée sur les analyses faites auprès de la station de l'ONEE (Branche eau) et sur les analyses faites dans le cadre de l'étude d'amélioration de la qualité des eaux du Canal de la Rocade.

a) Analyse chimique :

Cette analyse est effectuée à fréquence journalière dans la station de l'ONEE (Branche Eau), les résultats sont variables selon les périodes de l'année. Les paramètres mesurés donnent les valeurs moyennes suivantes :

- **pH** : 8,2 à 8,5 avec une moyenne de 8,36 environ ;
- **TA** : entre 0,1 et 0,3 exprimé en mg/l (indice mesurant la concentration en carbonate) ;
- **TAC** : souvent supérieur à 3 mg/l (indice mesurant la concentration en bicarbonate) ;
- **Oxydabilité** : variable mais se situe le plus souvent entre 2 et 3mg/l d'O₂ ;

La qualité chimique de l'eau est donc bonne et peu carbonatée. Par ailleurs, d'autres analyses reflètent qu'il s'agit d'une prédominance de la silice avec 54 à 59% et de l'alumine avec 12,5% à 14,7%. Ceci confirme le caractère aluminosilicate des dépôts. La matière organique en charge a une valeur de 1,80% en moyenne.

b) Analyse physique :

- **Le poids spécifique des grains solide** est compris entre 26 et 27 KN/m³
- **Analyse granulométrique** montre que les dépôts ont pour plus de 90% des éléments inférieurs à 80 microns ;
- **Limite de liquidité WL** est comprise entre 41% et 53%
- **Limite de plasticité WP** est comprise entre 25% et 27%
- **Indice de plasticité IP** est comprise entre 16% et 26%

c) Matière en suspension :

Les teneurs en MES des eaux dépendent pleinement de la période où les mesures ont été prises. Les hautes mesures sont souvent remarquées au moment des crues.

Le tableau ci-dessous présente les teneurs en MES relevées au niveau de la station de l'ONEP entre l'année 2004 et l'année 2009.

Mois	Max MES (mg/l)						Moyenne
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Janvier	500	2100	500	380	400	500	730
Février	500	3500	500	880	500	330	1035
Mars	500	190	7280	1440	8000	44500	10318
Avril	500	1650	24500	4800	1970	15000	8070
Mai	1400	-	500	2500	500	3450	16142
Juin	3000	500	12680	830	1840	44500	10558
Juillet	1200	1560	427	900	1500	25000	5098
Aout	2630	28190	1200	687	-	24000	23951
Septembre	500	34000	21000	945	3530	27500	14579
Octobre	500	34000	21000	945	3530	27500	14579
Novembre	500	3000	500	900	500	500	983
Décembre	920	6500	500	3500	500	500	2070
Moyenne	1054,17	9599,17	7548,92	1558,92	1897,50	17773,33	

Tableau 16 : Teneur moyenne en MES des eaux du canal de la Rocade de 2004 à 2009.

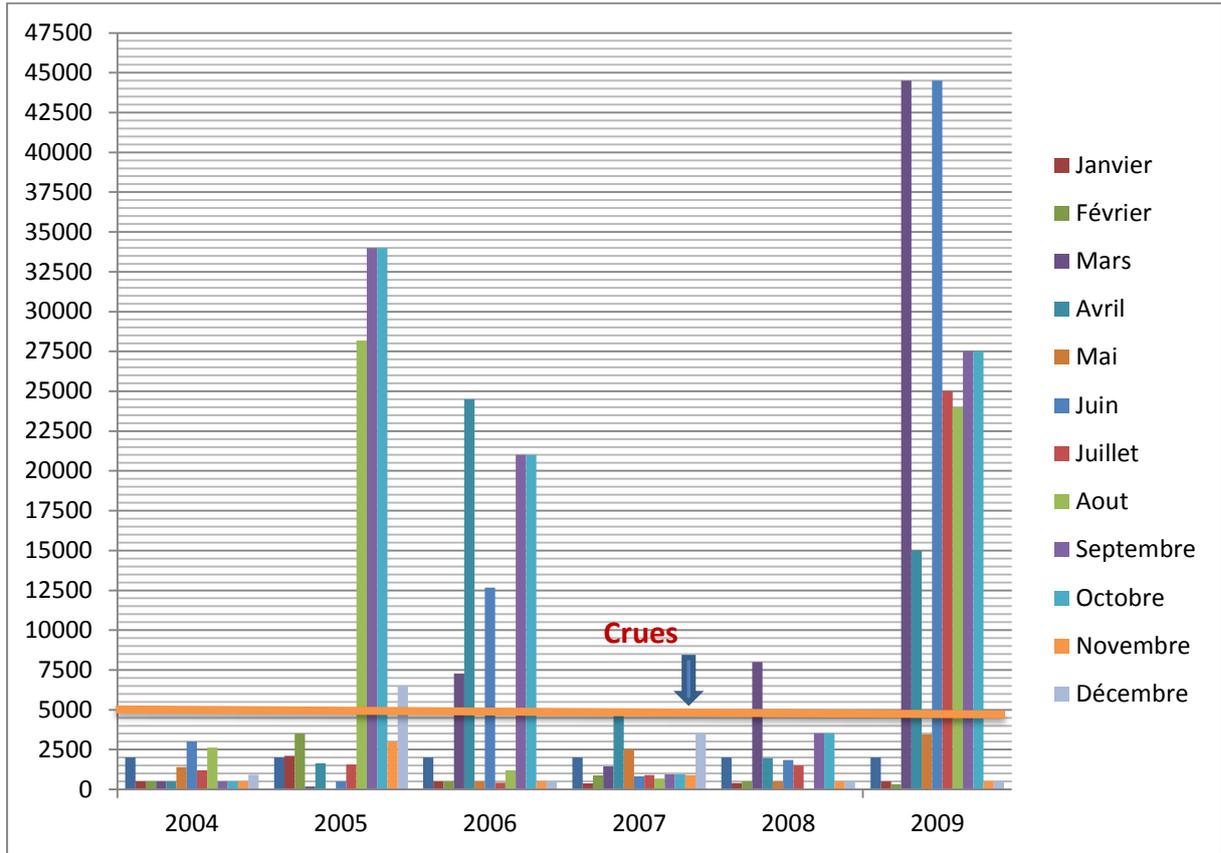


Figure 8 : Présentation graphique des teneurs en MES des eaux du Canal de la Rocade de 2004 à 2009.

Ces mesures reflètent que les matières dépassent rarement 5 g/l, alors que dans les périodes de crues (mois d’Aout et mois d’octobre) la teneur peut atteindre 24g/ceci reste variable selon les années, en 2004 par exemple, on observe des teneurs de l’ordre de 0.5 à 2 g/alors qu’en 2009 les valeurs varient entre 0.4g/l et 45 g /l.

Le dépouillement des résultats ci-dessous nous conduit à considérer une valeur de 5 g/l (85% des valeurs mesurées de MES sont inférieur à 5 g/l) comme hypothèse de base pour le choix de variante de processus de traitement de la turbidité des eaux. En revanche, on suppose que la teneur maximale, que puisse atteindre les matières est de 50 g/l

d) Vitesse de décantation :

Il est indispensable de déterminer la vitesse de décantation pour le dimensionnement des ouvrages de traitement. Cette vitesse souvent appelée de hazan a été mesurée au laboratoire dans le cadre de l’étude d’alimentation en eau potable de secours de la ville de Marrakech et les résultats sont comme suit :

Teneur en MES Mg/l	Vitesse de de Décantation (m/h)	
	Décantation naturelle	Avec réactif
2 à 6000	0.84	> 1.5

Tableau 17 : Vitesse de décantation en fonction de la teneur en MES et la nature de décantation.

En réalité ces essais ont été nombreux sur des échantillons en MES variables de 2000 à 6000 mg/l. Ils ont été effectués d'abord sans réactif et les vitesses sont restées pratiquement constantes de 0,84 à 0,9 m/h. L'ajout du réactif (sulfate d'alumine) améliore considérablement la décantation.

Les matières en suspension proviennent, dans les périodes de difficultés, de la remise en suspension des sédiments déposés dans le fond du canal. Or il est bien connu que les matières, en se déposant une première fois, perdent une grande partie de leur propriétés colloïdales ce qui rend plus facile à décanter. C'est ce qui explique les vitesses relativement favorable (voir tableau 2) à la décantation naturelle sans avoir recours au réactif. Sur la base de ce phénomène, on justifie le non utilisation de réactive accélération la décantation dans le cas présent.

Toutefois, il fait tenir compte de la variabilité de cette eau. En effet, il est nécessaire de baser l'étude sur des hypothèses raisonnables en considérant une vitesse de décantation suffisamment faible pour pouvoir faire face à toute éventualité.

Pour s'assurer de ces résultats, nous avons opté à faire des prélèvements de la station R1 (points de surveillance) jusqu'à la fin du bassin 520 afin de suivre l'évolution de ces eaux du point de vue qualité, et bien évidemment connaître l'impact des apports sur la qualité de l'eau. Et on a trouvé les résultats suivants :

Réf	Ca^{2+} Mg/l	Mg^{2+} Mg/l	Cl^{-} Mg/l	HCO_3^{-} Mg/l	SO_4^{2-} Mg/l	pH	CE à 25°C Ms/cm	Sels.solub g/l
R1	16	53,24	88,8	36,6	499,2	8,5	650	0,42
R2	16	41,14	71,0	36,6	451,2	9	630	0,40
R3	8	41,14	71,0	12,2	451,2	8,2	580	0,37
R4	12	41,14	62,1	36,6	451,2	8	570	0,36
R5	8	21,78	62,1	24,4	374,4	8,5	540	0,35
R6	12	21,78	62,1	48,8	374,4	9	540	0,35
R7	16	14,52	62,1	24,4	345,6	8,2	530	0,34
Bassin 520 (amont)	12	26,62	79,9	24,4	393,6	8	600	0,39
Bassin 520 (aval)	12	38,72	71,0	24,4	441,6	8,5	570	0,36

Tableau 18 : Les analyses faites au niveau des différentes stations du Canal de la Rocade

Malheureusement le temps destiné pour notre stage n'est pas suffisants pour faire plusieurs prélèvements donc notre étude s'est basée sur des analyses faites d'une façon journalière par l'ONEE (Branche Eau).

IV.4 Classification des eaux :

a) Représentation des analyses

De nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une eau, induisent l'utilisation de représentations graphiques .L'objectif principal est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue d'une caractérisation facile d'un échantillon d'eau.

Le graphique de Piper présente des concentrations en ions majeurs les plus courants.

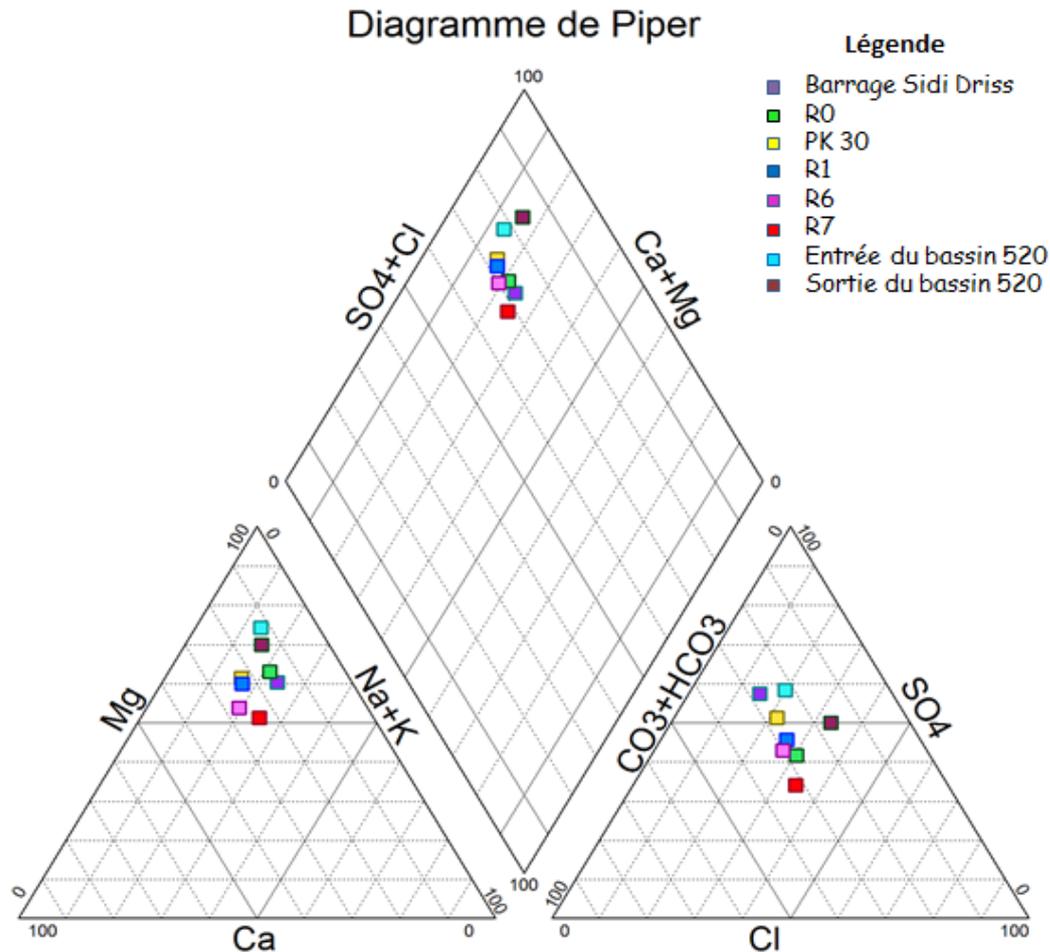


Figure 9 : Représentation des eaux du barrage Sidi Driss et du Canal de la Rcade sur le diagramme 1 de Piper

Selon le diagramme ci-dessus, le type de faciès chimiques des différentes eaux est: *chlorure-sulfaté et calciquo-magnésien*, c'est-à-dire au moment des ruissellements, il s'est produit un lessivage de formations diverses et qui a permis la concentration d'éléments particuliers en relation avec les lithologies de ces formations.

➤ **Interprétations des analyses :**

Nous pouvons enfin déduire que l'eau du Canal de la Rcade s'est faiblement évoluée par rapport aux eaux du barrage, ainsi il n'y a pas de contamination organique agressive. Donc lors du curage de la charge solide, le dépôt ailleurs ne posera pas de problème de contamination de la nappe phréatique, car c'est une eau biodégradable.

Les éléments les plus dominants dans les eaux sont les chlorures, les sulfates, le magnésium et les calcaires. Aussi, nous pouvons supposer que les roches les plus dominantes et les plus lessivées lors des ruissellements correspondent essentiellement à des dolomies et des calcaires.

Classe	Pollution nulle ou faible	Pollution modérée	Mauvaise qualité
Conductivité	< 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$	De 750 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	> 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
pH	De 6,5 à 8,5	De 6 à 6,5 et de 8,5 à 9	< 6 et > 9
MES	< 25 mg/L	De 25 a 150 mg/L	> 150 mg/L

Tableau 19 : Les classes de pollutions selon le pH, la quantité en MES et la conductivité

D'après les résultats obtenus ci-dessus, et d'après le tableau des classes de pollution, on peut dire que notre eau n'est pas très contaminée, avec *une pollution faible à modérée*.

Chapitre V:
Quelques solutions et remédiations

Chapitre V : quelques solutions et remédiations

V.1 Solutions préconisées pour l'amélioration de la qualité des eaux d'irrigation :

- **Comment peut-on améliorer la qualité des eaux d'irrigation ?**

La qualité de l'eau d'irrigation permettra de déterminer les solutions de traitement de l'eau qui sont nécessaires pour éviter le colmatage des goutteurs et maintenir les bonnes performances du système d'irrigation localisée projetée. Les caractéristiques des goutteurs, notamment le diamètre de l'orifice, jouent également un rôle très important. Le tableau 3 fournit des niveaux de concentration pour évaluer la qualité de l'eau en termes de potentiel des émetteurs.

Risques Basée sur la Concentration			
Facteur	Léger	Modéré	Sévère
Physique			
Matière en suspension (filtrables-ppm)	< 50	50 – 100	> 100
Chimique			
pH	< 7,0	7,0 – 7,5	>7,5
Solide dissous (ppm)	< 500	500 – 2000	>2000
Manganèse (ppm)	<0,1	0,1 – 1,5	>1,5
Fer (ppm)	< 0,1	0,1 – 1,5	>1,5
Calcium (ppm)	<10	10 – 50	>50
Sulfure d'hydrogéné (ppm)	<0.2	0,2 – 2	>2
Carbonates de Calcium (CACO3 - ppm)	<150	150 – 300	>300
Biologique			
Colonies bactériennes (colonies/100ml)	<10000	10000 - 50000	>50000
Au lieu de ppm, la concentration est parfois exprimée en mg/l (milligrammes par litre).notez que 1 ppm équivalente à 1 mg/l			

Tableau 20 : Critères d'évaluation du « potentiel bouchage » des eaux pour
Micro-irrigation

Les eaux du Canal de la Rcade sont des eaux très chargées en matières en suspension (MES) surtout lors des périodes des crues. L'appréciation des teneurs en MES mesurées reflète la fréquence élevée des mesures de forte turbidité, En effet, la valeur moyenne des mesures est de l'ordre de 4 g/l en MES. L'analyse granulométrique des particules solides montre qu'il s'agit des particules limoneuses de taille inférieure à 80 micron.

A cet effet, le recours à un système de traitement est nécessaire pour rabattre la MES à un seuil acceptable à l'irrigation localisée. Ainsi, pour améliorer la qualité des eaux du canal, il a été en concertation avec l'ORMVAH, les solutions suivantes :

Décantation : il est projeté de réaliser un seul bassin de décantation à approximation du bassin 520. qui aura comme but la rétention des matières en suspension jusqu'à la taille de 30 micron dans l'eau brute, et c'est pour le débit totale transité par le Canal de Rcade (environ $6\text{m}^3/\text{s}$)

Filtration : compte tenu de la disponibilité de charge gravitaire au niveau du secteur N1-2, il a été retenu de prévoir une station de filtration commune en tête de secteur ayant une capacité de traitement de $3,1\text{ m}^3/\text{s}$ (Débit du projet de conversion pour le secteur N1-2) et une finesse de filtration de 120 microns.

- **Décantation :**

- **Définition :**

La décantation est une opération de séparation mécanique, par différence de gravité de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. On peut séparer des phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide...

Dans le cadre du traitement des déchets, elle est utilisée afin de séparer les diverses phases en vue d'un traitement spécifique. Par exemple, des boues humides ainsi traitées donneront une phase liquide et des boues sèches qui iront chacune sur une chaîne de traitement particulière (épuration pour la phase aqueuse et valorisation pour les boues). L'illustration la plus répandue de cette technique est la station d'épuration

- **principe du fonctionnement**

Si on laisse reposer une suspension solide dans une phase liquide, on observe que les particules sous l'action de la pesanteur et de la poussée d'Archimède, tendent à tomber vers le fond ou à remonter à la surface selon leur densité et leur taille.

Cette décantation peut cependant être relativement lente pour les très fines particules (sensibles à l'agitation thermique) et les liquides particulièrement visqueux. Toutefois, il est possible d'agir sur plusieurs paramètres pour augmenter la vitesse de sédimentation :

- Le diamètre des particules, en utilisant des flocculant.
- La différence de densité.
- La viscosité du fluide, qui diminue avec l'élévation de la température.
- La surface de base du bac.

Pour que la décantation soit efficace, il faut que la vitesse de sédimentation des particules soit supérieure à 8 m/h. Les temps de séjour augmentent lorsque la vitesse de décantation diminue, donc entre 5 et 8 m/h, une étude économique est nécessaire pour choisir la meilleure alternative entre décantation et aéroflottation.

Ces installations ont pour objectifs (parfois concourants) :

- La clarification, qui donne phase liquide quasi débarrassée de particules solides.
- L'épaississement, qui donne une boue à la teneur en solide la plus haute possible

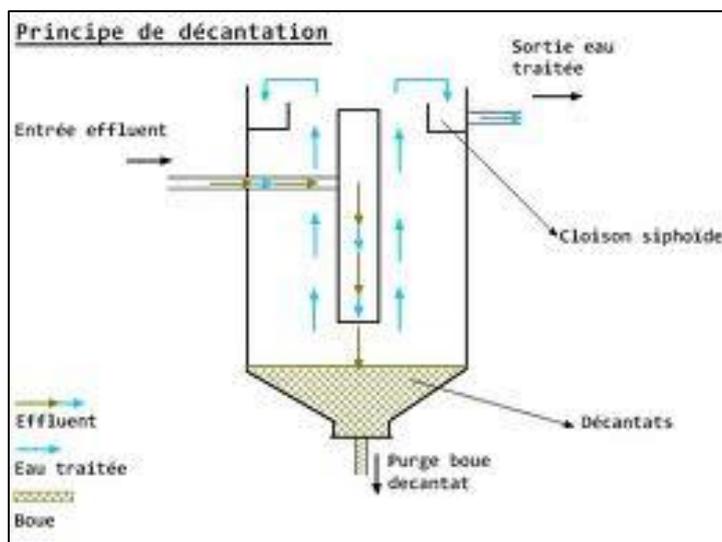


Figure 10 : schéma présentant le principe de décantation

On en distingue trois types :

- **Le décanteur statique sans raclage** : dont la surface de décantation en m^2 est égale à 1 à 2 fois le débit en m^3/h . les boues y sont collectées gravitairement.

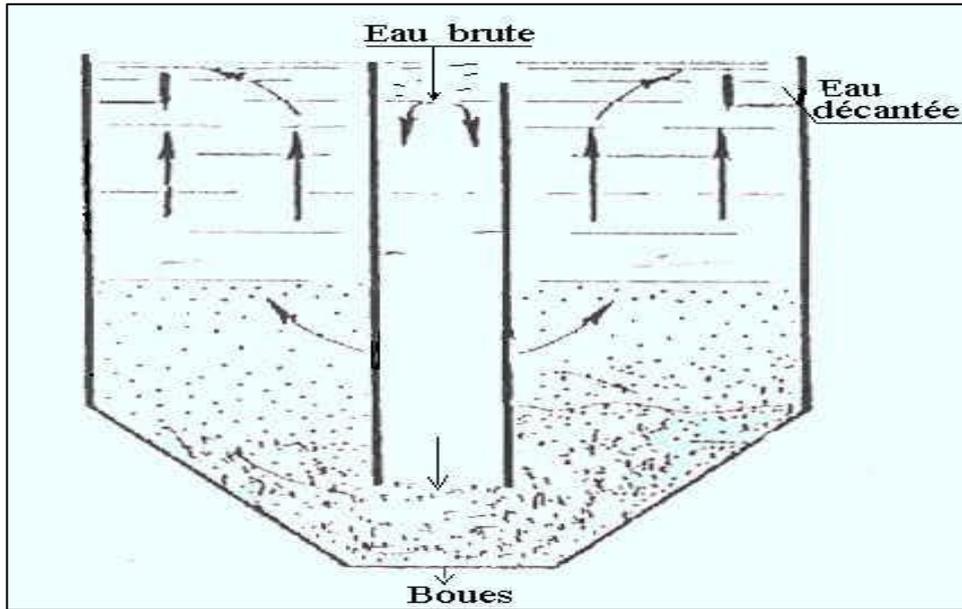


Figure 11 : Décanteur statique sans raclage

- **Le décanteur statique à raclage mécanique** : dont le débit peut atteindre 300000m³/l. La collecte gravitaire n'étant plus possible du fait de la surface importante du bassin, les boues sont prélevées par un pont racleur ou une chaîne racleuse (décanteur circulaire ou rectangulaire)

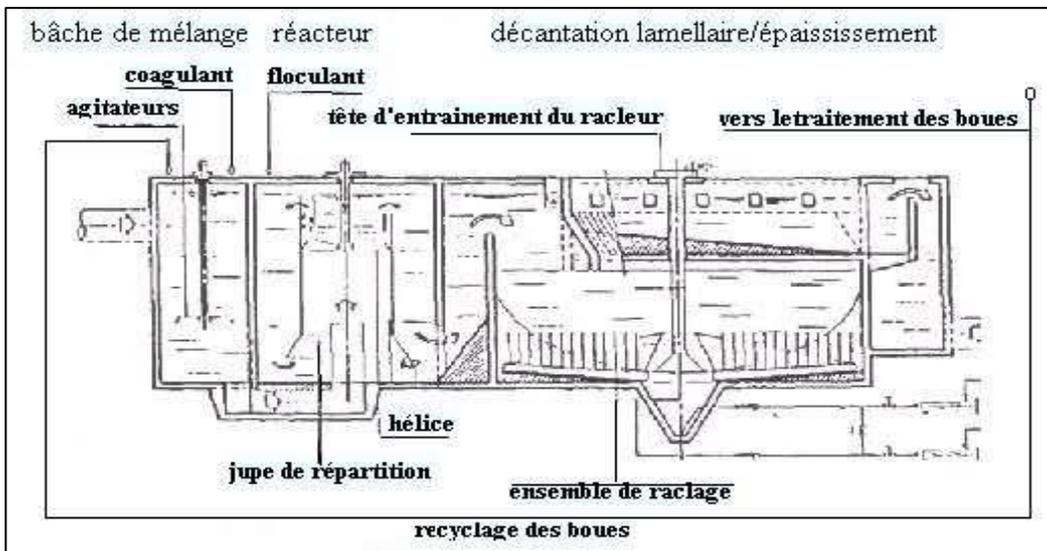


Figure 12 : Décanteur statique à raclage mécanique

- **Le décanteur à succion de boues** : qui extrait les boues par un système en dépression. 50 à 100% du débit des boues traitées et recyclé.

- **Théorie : fluide au repos :**

Lorsqu'une particule grenue est laissée dans un liquide au repos, elle est soumise à une force motrice F_m (pesanteur diminuée de la poussée d'Archimède) et à une force résistante F_t (Traînée du fluide) résultante des forces de viscosité et d'inertie :

$$F_m = g * v * \Delta\rho$$

$$F_t = \frac{C * S * \rho_L * V^2}{2}$$

- ρ_p, ρ_t : Masse volumique de la particule grenue et du fluide,

Avec : $\Delta\rho = \rho_p - \rho_L$

- d, s, v : diamètre, surface projetée (maitre couple : $\frac{\pi d^2}{4}$ pour une sphère) et volume de la particule grenue,
- V : vitesse de décantation

Les paramètres de base pour le dimensionnement du décanteur sont :

- Qualité de l'eau décantation ;
- Débit d'eau à traiter ;
- Les concentrations en MES à considérer ;
- La vitesse de Hazan adoptée
- La concentration des boues extraites.

a) Qualité de l'eau après décantation :

L'eau d'irrigation du barrage. Elle est chargée en matière solide (sable, argile, autre). L'option de l'irrigation localisée retenue exige une eau limpide contenant moins de 100 mg/l de matière en suspension (MES), conformément à la norme marocaine de qualité de l'eau dont un extrait est donné dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeurs limites en mg/
-----------	------------------------

Irrigation de surface	2000
Irrigation par aspersion et localisé	100

Tableau 21 : Valeurs limites des M.E.S par système d'irrigation

(Source : Extrait de la norme marocaine de qualité de l'eau)

Avec ce type de décantation, on peut atteindre une efficacité de 85% avec une vitesse de chute de l'ordre de 0.7 m/h (voir tableau 15). Par conséquent, la teneur en M.E.S à la sortie de décanteur sera de l'ordre de 0.75 mg/l, cette valeur sera grandement améliorée par le système de filtration en tête du secteur. En effet, ce dernier permet de ramener la quantité à la sortie de déboureur en dessous du seuil exigé par la norme

Vitesse de chute en cm/s	Vitesse de chute en m/h	Rendement en % pour MES
0.001	0.04	98
0.003	0.1	95
0.014	0.5	88
0.027	1	80
0.14	5	60
0.28	10	40
1.39	50	15
2.78	100	10
13.89	500	7
27.78	1000	5

Tableau 22: Taux d'abattement des matières en suspension dans les eaux brutes

(Source : Gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement – juillet 2008)

b) Débit d'eau à décanter :

Le débit qui sera objet de traitement au niveau du bassin projeté, serait celui transité par l'adducteur N°fis égale à 6m³/s. Ce débit correspond à l'irrigation du secteur N°fis le sous-secteur N1-2 .

c) Concentration en MES de l'eau brute :

Comme il a été déjà mentionné, la teneur en M.E.S de l'eau brute, dans le Canal Rcade, considéré pour le dimensionnement est de 5g/l.

d) Vitesse de décantation :

Il est indispensable, pour pouvoir dimensionner correctement les ouvrages de décantation, de se donner une vitesse de décantation. Il s'agit-là de la vitesse de décantation statique telle qu'elle est définie sous le nom de vitesse de Hazen.

D'après les résultats d'analyses commentées ci haut, la vitesse de décantation, sans faire recours au réactif, pour une teneur en MES inférieure à 6 g/l est d'environ 0.48 m/h

Dans le souci de réserver une sécurité d'exploitation, il a été plus convenable de considérer une vitesse de Hazen inférieure à celle constatée lors des essais. En effet, la valeur de vitesse de Hazen retenue est égale à 0.7 m/h. cette valeur a été déterminée en utilisant la loi de stocke en régime laminaire, la formule exprimant cette loi est donnée comme suit :

$$V_0 = \frac{g}{18 \cdot \mu} \Delta \rho - d^2$$

Avec :

$\Delta P = p_p - p_i$; p_p et p_i : masses volumiques de la particule grenue et du fluide

- d : Diamètre de la particule grenue
- g : Accélération de la pesanteur
- μ : Vitesse dynamique

Paramètre	
Masse volumique solide	1530Kg/m ³
Masse volumique d'eau	1000Kg/m ³
Diamètre de la particule	30Micron
Viscosité dynamique	0.001pa ; s
Vitesse de chute limite	0.001m/h

Tableau 23 : calcul de la vitesse de chute limite

Il ressort de l'application de la loi de stocks en supposant la chute d'une particule d'un diamètre de 30 micron « diamètre moyen d'une particule de limon », que la vitesse de chute correspondant est d'environ 0.723 m/h arrondi à 0.7 m/h



Figure 13 : Les annexes (bassin 520 – bassin de décantation)

➔ La qualité de l'eau d'irrigation permettra de déterminer, en partie, la filtration, l'entretien, et les mesures de traitement de l'eau qui sont nécessaires pour éviter le colmatage des goutteurs et maintenir les bonnes performances du système. Les caractéristiques des goutteurs, notamment le diamètre de l'orifice, jouent également un rôle très important.

L'analyse de l'eau pour une utilisation potentielle dans un système de micro-irrigation devra inclure les constituants qui sont énumérés dans les tableaux au-dessus. Si la source est une eau souterraine à partir d'un puits relativement profond, bien construit (> 100m), l'analyse de la population bactérienne peut être omise. Si la source est une eau de surface, le sulfure d'hydrogène ne sera pas présent et peut être omis. Le tableau 20 fournit des niveaux de concentration pour évaluer la qualité de l'eau en termes de potentiel et colmatages des émetteurs. Les eaux du Canal de la Rocade présentent en général une qualité dégradée.

Toutefois, grâce au système de décantation projeté, la quantité de la matière en suspension sera largement diminuée. La qualité d'eau après décantation deviendra compatible avec les caractéristiques couramment utilisées dans la conception et le dimensionnement des stations de filtration pour les micro-irrigations. En effet, la teneur en MES à la sortie de décanteur est d'environ 430 mg/l étant à l'intérieur à la valeur maximale (500 mg/l) qui peut être traitée dans un système de filtration. Cependant, nous attendons la présence de nombreuses particules organiques, et en particulier à la formation d'algues, et ce vu le contact des eaux avec l'air et la lumière au niveau des bassins décanteurs.

- **Station de filtration :**

- **Rôle de filtration :**

Les systèmes de micro-irrigation peuvent fournir de l'eau et des nutriments en quantités et à des fréquences contrôlées, directement à la zone racinaire de la plante, dans ces systèmes, un réseau de tuyaux est utilisé pour distribuer l'eau aux émetteurs (goutteur) qui appliquent des petites gouttes d'eau.

La cause majeure d'échec dans les systèmes goutte à goutte est le colmatage des goutteurs. Le bouchage physique, chimique ou biologique peut sévèrement dégrader les performances du système d'irrigation et l'uniformité d'application. Ainsi, il est important de comprendre les exigences de filtration et d'entretien de ces systèmes et d'être proactif de façon à empêcher le bouchage.

En effet l'obstruction des goutteurs est l'inconvénient majeur des réseaux goutte à goutte. Il est difficile et coûteuse de réparer, nettoyer ou remplacer un goutteur obstrué. L'obstruction entraîne aussi une mauvaise réparation du débit le long des rampes, ce qui peut diminuer énormément le rendement.

Ainsi la filtration de l'eau est essentielle pour éviter d'endommager les distributeurs par le bouchage. Le type de filtres utilisé dépend du type d'impuretés contenues dans l'eau et le degré de filtration requis par les distributeurs.

Les différentes matières dans l'eau peuvent être classées en 3 groupes principaux :

- Particules en suspension de matières organiques ou inorganiques
- Éléments constituants précipités (fer, manganèse ; calcium, magnésium) ;
- Vases bactérienne

Trois types de bouchage peuvent alors être distingués : le bouchage physique dû à la présence de dépôt de particules fine de sable, limon ou argile ; le bouchage biologique causé par les algues, les bactéries et les champignons ; et le bouchage chimique dû au problème de la précipitation calcaire ou la cimentation de limon ou d'argile. Le bouchage physique et biologique sont les dangers qui guettent les goutteurs provoqués par les impuretés de nature physique et biologique. Les sources du bouchage comprennent les sable et d'autres matières solides en suspension qui sont trop grandes pour passer à travers les ouvertures des goutteurs. Comme mentionné précédemment, les caractéristiques des goutteurs, en particulier le diamètre de l'orifice, jouent un rôle majeur dans la sélection du système de filtration. Le but des systèmes d'irrigation est d'appliquer de l'eau aux plantes avec uniformité et efficacité.

L'obstruction des dispositifs d'application de l'eau (goutteurs) peut affecter l'efficacité en réduisant le débit appliqué et l'uniformité, quand il y a une obstruction totale des goutteurs. Ainsi, en particulier dans les systèmes d'irrigation goutte à goutte, il sera nécessaire de procéder à la filtration de l'eau pour obtenir une bonne uniformité et efficacité, il existe quatre types d'équipements de filtration d'eau d'irrigation : hydrocyclones, filtres à tamis (mailles), filtres à sables, et filtres à disques

L'hydrocyclone est un dispositif dans lequel des particules de plus grande densité que l'eau sont séparées par la force centrifuge résultant de la circulation de l'eau dans le filtre. Dans les filtres à maille (filtre à tamis) l'élément dans le filtrant est constitué par un tamis, dans les filtres à sable l'élément filtrant est composé de sable calibré et dans les filtres à disque, les éléments filtrants sont composés de couronnes circulaires calibrées avec des reliefs, disposées l'une au-dessus de l'autre, formant un cylindre.

- **Type de filtration :**

Les hydrocyclones ne seront pas considérés, car il est prévu que les sables de grande taille peuvent être déposés dans le bassin. Ainsi, les autres trois types de filtration à nettoyage automatique peuvent être envisagés : filtration à tamis (à maille), filtration à sable et filtration à disques

- **Le filtre à sable :**

Le principe des filtres à sable consiste à faire passer l'eau à travers une couche de sable calibrée du haut vers le bas. Ces filtres sont sous la forme d'une cuve métallique.

Le nettoyage se fait par contre-lavage ; c'est-à-dire par circulation de l'eau en sens inverse, que l'on obtient par un jeu de vannes, avec l'eau propre d'aval. Il est intéressant d'en avoir, au moins, deux en parallèle ; ce qui permet de laver l'un avec l'eau de l'autre.

Les filtres à sable effectuent une filtration en profondeur, et s'appliquent lorsque la quantité de matière à retenir est grande et les particules en suspension sont relativement petites.

Pour qu'un type de ce type soit efficace, il est nécessaire que les matériaux puissent pénétrer profondément à l'intérieur de la couche de sable et ne pas être bloqués à la surface. Par ailleurs, il est nécessaire de choisir soigneusement les éléments de sable, à la fois en ce qui concerne la taille des particules de sable, ainsi que l'épaisseur de la couche de sable.

En raison de tous les mécanismes impliqués dans la rétention de particules dans un filtre à sable (sédimentation, forces centrifuges et forces de Van Waals) il est très difficile de déterminer la finesse de filtration du filtre à sable. Ça qui est un fait, c'est que contrairement à d'autres système de filtration conventionnelle, ce système est capable de réduire la turbidité de l'eau

La tailles du sable ainsi que la vitesse de filtration c'est ce qui déterminer la quantité d'eau filtrées. Les gammes de vitesse ; selon l'application, varient entre 5- 50 m³/h/m². En ce qui concerne la tailles des particules, si nous ne parlons que de sable de silice, les gammes utilisées sont 0.4-0.6 à 1.2 mm Une plus faible vitesse de filtration permet d'obtenir une meilleur qualité de l'eau finale (mais toujours dans une fourchette).

Le dimensionnement d'un filtre à sable pour un système d'irrigation goutte à goutte serait effectuer pour une vitesse maximale de 35-45 m³/h/m² surface de sable, le lit composé de sable de silice avec une granulométrie comprise entre 0.8 et 2 mm et la hauteur minimale du lit serait d'environ 400 mm Cette conception est approprié pour une rétention de particules suffisantes pour protéger un système d'irrigation goutte à goutte.

La vitesse du nettoyage est le paramètre qui origine encore des discussions. En effet, pour nettoyer les filtres à sable on devrait faire confluer le lit de 15 à 25%, ou fluidifier le lit pour enlever les particules qui ont et » retenue dans la couche à sable. Pour obtenir cet effet, certains fabricants mentionnent une vitesse entre 25 et 60 m/h pour faire le contre lavage, en fonction de la taille des particules de sable de silice qui constitue l'élément filtrant.

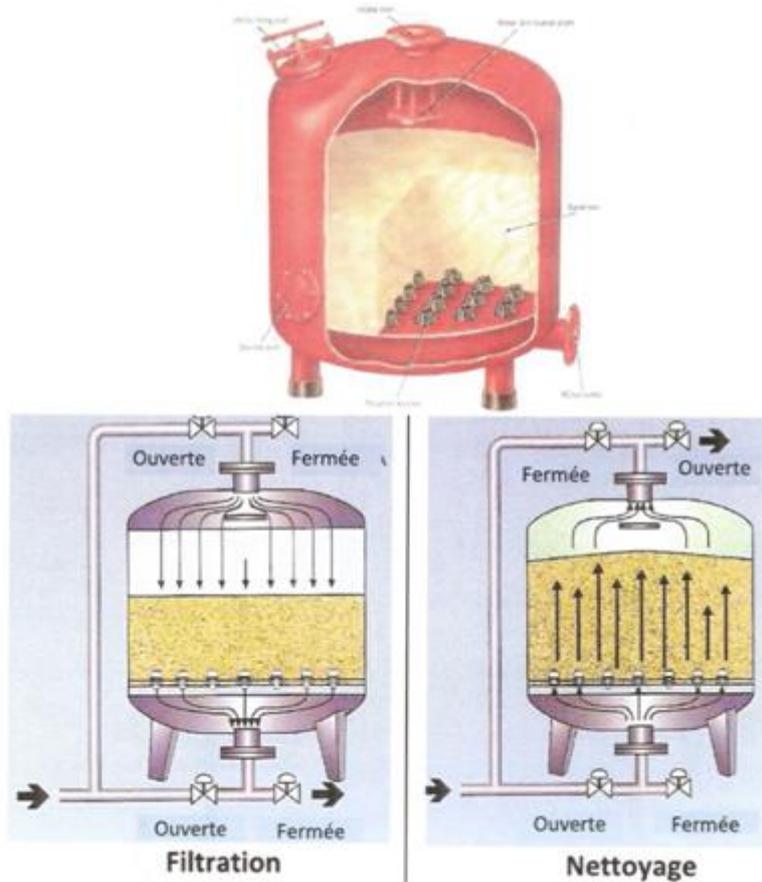


Figure 14 : Filtres à sable autonettoyant

Quelques exemples de filtres à sable sont présentés dans le tableau 2. Le diamètre moyen effectif des sables est un indicateur de la taille des particules qui seront supprimées par le filtre. La quantité de filtration augmente en réduisant le diamètre moyen des sables.

Matériel	Diamètre moyen (mm)	Equivalent mesh
Granitique concassé	1.5	100 – 140
Granitique concassé	0.78	140 – 200
Silice concassé	0.66	140 – 200
Silice concassé	0.46	200 – 230
Silice concassé	0.34	230 – 400

Tableau 24: Diamètre moyen des sables et équivalent en Mesh

Dans la plus part des installations qui comprennent plusieurs unités de filtre à sable (2 ou plus), il est nécessaire d'assurer le contre-lavage tandis que le système d'irrigation continue de fonctionner. Si le nombre de filtre est insuffisant, des limites de débit peuvent parvenir pendant le contre-lavage. Mémé si le contre-lavage est effectué sans irrigation, au moins deux filtres sont nécessaires afin de fournir une eau propre (filtrée) pour le contre-lavage.

Les filtres à sable doivent être nettoyés lorsque la perte de charge dans le filtre atteint 5m, ou tel que recommandé par le fabricant. Afin de réduire le besoin de nettoyages fréquents, des débits plus faibles doivent être utilisées lorsque la source d'eau contient plus de 100 ppm de matières solide en suspension

➤ **Filtres à tamis :**

Le principe des filtres à tamis consiste à faire passer l'eau à travers un élément filtrant constitué par une toile de maille fine qui arrête les particules en suspension. La maille est constituée de fils d'acier ou plastiques torsadés pour former un tissu avec des orifices identiques et calibrés

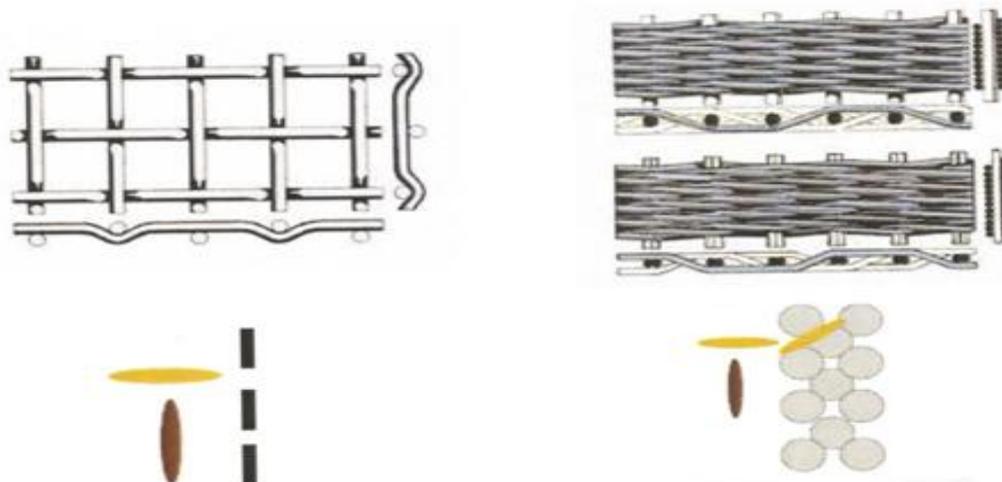


Figure 15 : Les types des mailles

Le dimensionnement des filtres à tamis est basé sur les dimensions des particules maximales qui ne bouchent pas les goutteurs, la quantité de l'eau d'irrigation, le volume d'eau entre le nettoyage nécessaire et la perte de charge maximale admissible dans le filtre. L'information sur la taille des particules maximale admissible doit être disponible auprès du fabricant des goutteurs. Si non ; de base est d'enlever toutes les particules de taille supérieur a $\frac{1}{8}$ ou $\frac{1}{10}$ du diamètre de la plus petite ouverture dans l'émetteur (goutteur).

Le filtrage des particules supérieur ou égales à $\frac{1}{8}$ ou $\frac{1}{10}$ du diamètre du goutteur vise à prévenir le « bridging ». Le « bridging » est un phénomène où les petites particules peuvent s'agrouper et boucher un goutteur en formant un « pont » à l'ouverture du goutteur. Le tableau ci-dessous montre la classification standard de la dimension des particules du sol et les dimensions de la maille correspondant

Classification des particules du sol	Taille des particules (mm)	Tailles des particules (micron)	Mesh de maille
Sable très grossier	1.00 – 2.00	1000 – 2000	18 – 10
Sable grossier	0.50 – 1.00	500 – 1000	35 – 18
Sable moyenne	0.25 - 0.50	250 – 500	60 – 35
Sable fin	0.10 – 0.25	100 – 250	155 – 60
Sable très fin	0.053 – 0.10	50 – 100	270 – 155
Limon	0.002 – 0.053	2 – 50	632 - 270
Argile	< 0.002	< 2	-

Tableau 25 : classification des sols par la taille des particules et nombre de mesh correspondant

La variété des filtres à tamis automatique dans le marché est très grande. Les filtres avec une plus grande capacité sont généralement composés d'un boîtier externe dans lequel il y a trois chambre différentes une première chambre de préfiltration est utilisée pour séparer les particules plus grossières, où la circulation de l'eau est faite de l'extérieur vers l'intérieur du filtre. Une fois à l'intérieur du filtre il existe une deuxième chambre, que nous appelons de filtrages. Dans ce cas, l'eau circule de l'intérieur vers l'extérieur de la toile de la maille (tamis) les solides en suspension sont retenues dans le tamis de filtre.

Les particules retenues donneront une masse sur la toile de maille, qui origine une perte de charge déterminée. Le nettoyage du filtre est basé sur une troisième chambre, la chambre de nettoyage, dont la sortie est connectée à la vanne de vendange qui permet l'élimination de l'eau de nettoyage lorsque le processus d'auto-nettoyage est déclenché. La chambre de nettoyage est séparée de la chambre de filtration par une étanchéité spéciale.

L'élément d'aspiration occupe l'axe central du cylindre, et est relié hydrauliquement à la chambre de nettoyage. La disposition des buses dans le scanner a été étudiée pour obtenir un scan de toute la surface intérieure de la toile de la maille, grâce au mouvement en spirale du moteur électrique ou hydraulique, en combinant le déplacement longitudinal et la rotation.

Pendant le processus d'auto-nettoyage, l'eau continue d'être filtrée vers le système d'irrigation. Le tableau 4 indique les finesses de filtration qui sont disponibles sur le marché pour mes filtres à tamis avec maille en acier inoxydable.

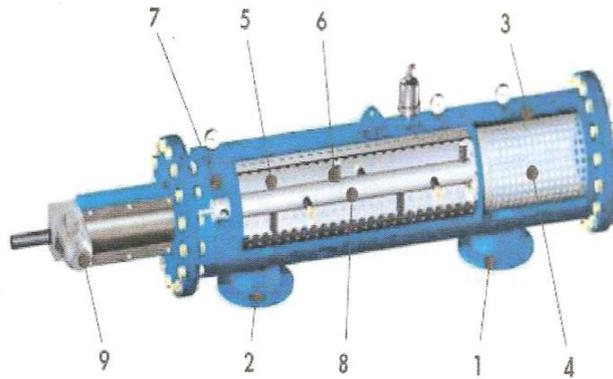


Figure 16: filtres à tamis autonettoyant

- 1- Entrée d'eau
- 2- Sortie d'eau
- 3- Chambre de préfiltration
- 4- Cartouche de tamis grossière
- 5- Chambre de filtration
- 6- Cartouche de tamis fin
- 7- Chambre de nettoyage
- 8- Kit de scanner avec buses d'aspiration
- 9- Mécanisme d'entraînement



Figure 17 : Buses d'aspiration STF

Toile de maille en acier inoxydable									
Micron	800	500	300	200	130	100	80	50	25
Mesh	20	30	50	75	120	155	200	300	450
Le degré de filtration peut varier selon le fabricant									

Tableau 26: finesse de filtrations disponibles

- **Filtres à disque :**

Dans les filtres à disque, l'élément filtrant est constitué de couronnes circulaires (lamelles) faiblement écartées et superposées les unes sur les autres formant un cylindre.

Les filtres à disque sont utilisés pour enlever les particules solides et surtout la matière organique de l'eau d'irrigation. Ces filtres sont un hybride entre les filtres à tamis et les filtres de sable. Des rainures microscopiques entre les disques (normalement en plastique) permettent de retenir les matières indésirables jusqu'à ce qu'elles soient enlevées par contre-lavage.

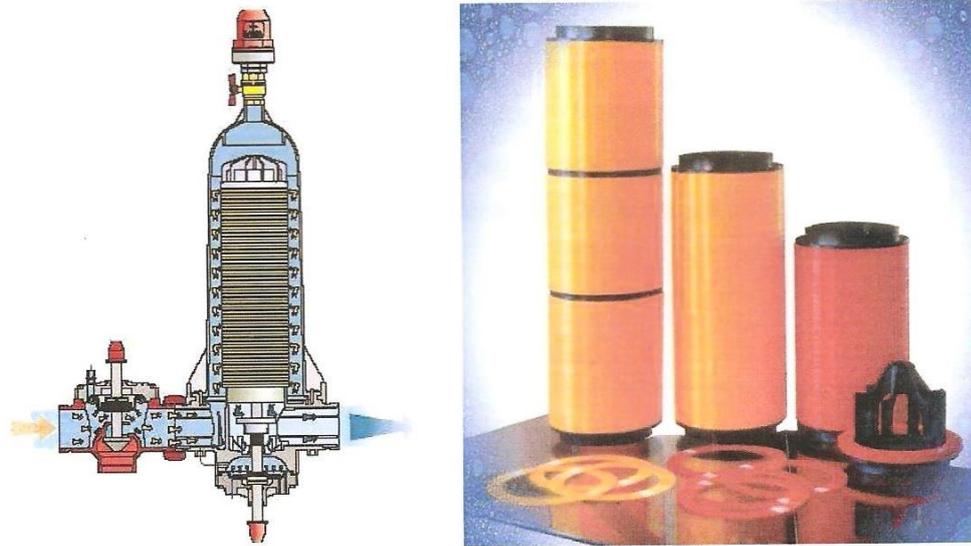


Figure 18 : Filtres à disques

Ces filtres constituent un système de filtration automatique bien adapté au contexte de l'irrigation localisée où sont utilisées des eaux chargées avec une large fourchette de débits.

Ils se caractérisent par :

- ✓ Une filtration efficace et faible vis - vis types différents d'éléments solides (particules en suspension, algues...) grâce à une couche de filtration relativement épaisse par rapport aux filtres à tamis
- ✓ Une grande capacité de rétention de solides permettant de longs cycles de filtration avec le minimum de contre lavage ;
- ✓ Une conception modulaire qui permet d'avoir des encombrements réduits même en cas de traitement des débits élevés ;
- ✓ Installation ; fonctionnement et entretien très simple.

Le contre lavage se fait par séparation des disques entre eux et passage de l'eau filtrée sous pression pour éliminer les éléments solides vers le collecteur de drainage. Le fonctionnement et le nettoyage (figure 7) se feront automatiquement de façon séquentielle dans les filtres qui composent le matériel d'équipement.

L'eau filtrée par le reste des filtres provenant du collecteur de sortie, est introduite au filtre en sens contraire avec l'inversion du flux d'eau.

Les filtres à disques ont besoin de moins d'eau que les filtres à sable pour le contre- lavage, mais ils peuvent exiger des pressions minimale pour le contre lavage égales ou supérieurs à 2.5 bars.

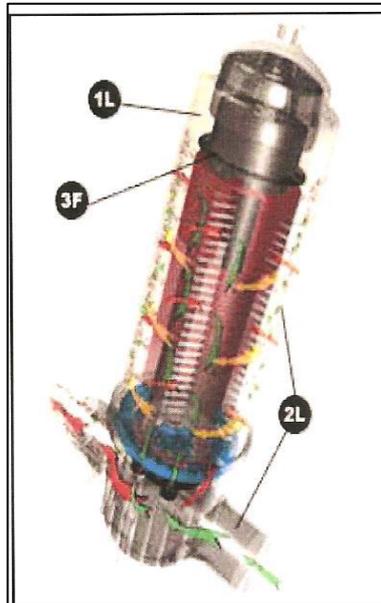


Figure 19 : Schéma explicatif de l'opération d'auto-nettoyage des filtres à disques

1L : Le piston se soulève, les disques se décompressent.

2L : Afin de réaliser un rétro-lavage uniforme (voir flèche vertes), de l'eau filtrée à pression pénètre à travers les orifices situés dans les barres inférieures de la cartouche (voir les flèches orange et lignes blanche), provoquant un mouvement rotatif des disques. Les éléments solides sont ainsi séparés des disques et expulsés vers le collecteur de drainage.

3F : une fois terminer la phase de nettoyage, le piston retourne à sa position initiale, les disques sont à nouveau comprimés et commence alors une nouvelle phase de filtration, la phase de nettoyage commence pour le filtre à coté

- **Choix du type de filtre :**

Tous les filtres peuvent bien fonctionner s'ils sont adéquatement et installés. Cependant, de l'analyse des avantages et des inconvénients des différents types de filtration collectifs, ressortent les conclusions suivantes :

-Le filtre à sable a été rejeté par le nombre trop élevé d'éléments de filtres d'où un encombrement important, par la complication de l'opération d'entretien et de maintenances et par le gout trop élevé.

-Le nettoyage se fait, certes, par contre-lavage et d'une manière automatique mais il est séquentiel, d'autant plus que le filtre s'arrête de filtrer au moment de nettoyage. Par conséquent, il va falloir prévoir une sécurité qui avoisine les 50% (soit pratiquement le double des éléments filtrants) pour assurer la continuité de la filtration.

-Le filtre à disque semble le plus adapté au contexte N1-2, l'aménagement comme il a été proposé fait que les eaux d'irrigation après décantation présentant des risques de contamination par la prolifération des algues engendrées par le contact de l'eau avec l'air et la lumière au niveau des bassins décanteurs. Ces filtres disposent d'une grande capacité de rétention de solides, permettent de longs cycles de filtration avec le minimum de contre-lavage. Ils sont efficaces pour tout type d'eau brute et ils ont une conception modulaire adaptée pour une grande fourchette de débits.

Quant au filtre à tamis, le nettoyage des filtres se fait par aspiration des particules à une pression de 2,0 ou 2,5 bars et non par contre-lavage. Ce qui permet une continuité de la filtration même pendant le nettoyage. Ce procédé de nettoyage permet une économie d'eau de lavage beaucoup plus importante.

En revanche, si l'eau d'irrigation contient de la matière organique, les filtres à tamis sont moins efficaces pour retenir ces éléments. En effet, pendant l'opération de filtration, les éléments filamenteux comme les algues peuvent s'enrouler autour des fils de la toile réduisant ainsi la surface de filtration. Cette situation se traduit par un blocage du passage des autres particules à travers la maille et des fréquences de nettoyages plus élevées.

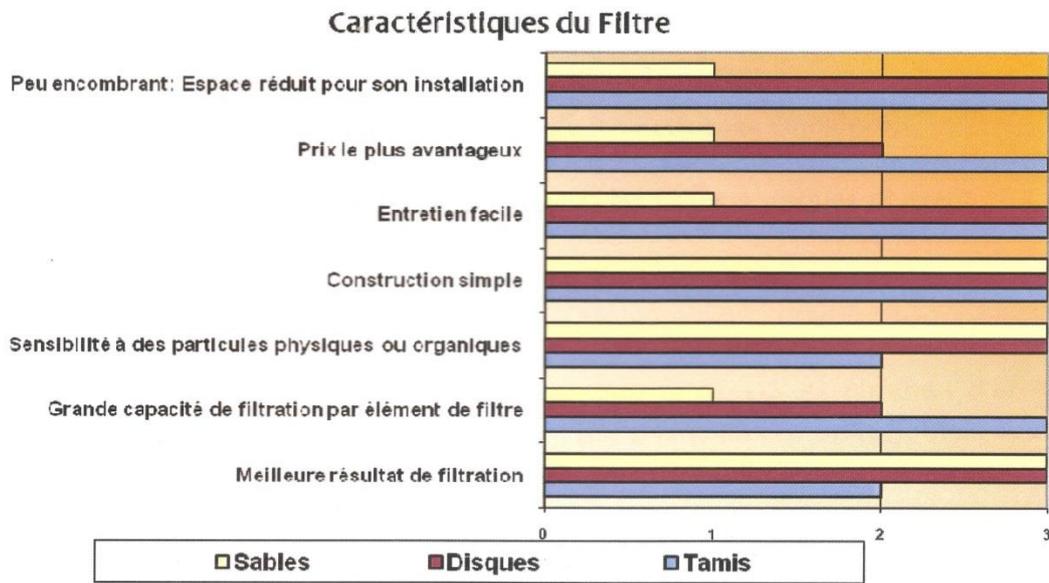


Figure 20 : comparaison des caractéristiques par type de filtration

Type de filtre	Filtre à sable	Filtre à tamis	Filtre à disque
Cout (Dh)	30 994 000	6 750 000	10 500 000

Tableau 27: comparaison du cout d'équipement par type de filtration pour le cas du secteur N1-2

Ainsi, prenant en compte les avantages et les inconvénients des trois types de filtres mentionnés ci-dessus, il s'avère, a priori, que le filtre à tamis est la solution la plus avantageuse surtout en terme de cout. Toutefois, il reste limité par sa faible capacité de rétention des particules et son inefficacité face à la filtration de la matière organique. Or, le fonctionnement de l'aménagement hydro-agricole au niveau du secteur N1-2 dépend grandement des bassins décanteurs en amont du réseau et où la prolifération des algues est forte probable ; donc il a été convenable d'écarter la filtration à tamis et la remplacer par des filtres à disques qui s'apprentent mieux au contexte du projet d'irrigation.

Les filtrations à sable même s'ils peuvent traiter la matière organique, ils demeurent une situation très chère, très encombrante et compliquée à entretenir (processus d'auto-nettoyage complexe)

En tête des systèmes d'irrigation localisée (dans la parcelle) les filtres à disques peuvent être utilisées, Ou éventuellement des filtres à sable.

- **Finesse de filtration :**

Dans de nombreux manuels l'unité de mesure adoptée pour la finesse de filtration d'un filtre est le « mesh ». De noter que le nombre de mesh ne se réfère pas à la taille des orifices, mais au nombre des orifices par pouce dans le filtre. Il est donc conseillé de prendre la dimension de l'orifice exprimée en « mm » ou « micron » pour définir la finesse de filtration.

Les besoins en filtration des divers distributeurs d'eau sont les suivants :

- ❖ 1000 – 500 micron pour les asperseurs à rotation lente sous moyenne pression (actionnés par impact)
- ❖ 250 – 120 microns pour les minis et micro-asperseurs et mini diffuseurs ;
- ❖ 200 – 100 microns pour les goutteurs

La finesse de filtration nécessaire pour protéger les distributeurs est souvent spécifiée par les fournisseurs. Il est courant de recommander l'élimination de particules beaucoup plus petites que la section minimale du passage du goutteur.

En tenant compte du diamètre moyen de l'orifice de passage des distributeurs, la finesse de filtration devrait être au moins à 100 micron. La finesse de filtration proposée est donc 100 micron (valeur recommandée par la plupart des fournisseurs)

D'autre part, en plus de la station de filtration collective à installer en tête de secteur N1-2, une filtration individuelle (à l'amont des parcelles) est prévue au niveau des stations à la tête des propriétés.

Conclusion

Après les analyses chimiques effectuées, L'eau du Canal de la Rocade respecte les normes et elle peut passer par les goutteurs en toute sécurité (sans colmatage), mais il faut juste prendre des précautions en période des crues où le diamètre de la matière en suspension devient important (> 100)

En ces périodes, un bassin de décantation et un système de filtration peuvent résoudre le problème en évitant le colmatage

Pour résoudre ce problème concernant le dépôt des particules dans les conduits, il suffit de faire un vidange des conduits par les parcelles, ce qui nécessite la sensibilité des agriculteurs pour avoir une réussite totale de ce projet.

Et pourtant le dépôt des particules dans les conduits reste un grand problème qui handicape le bon fonctionnement des goutteurs et qu'on ne peut jamais le dépasser sans sensibiliser les agriculteurs pour faire une vidange des conduits par les parcelles

Enfin, nous proposons la succession des ouvrages (bassin de décantation, les filtres et le bassin 520) ; de façon à avoir le passage de l'eau par le bassin 520 en 1^{er}, pour ne pas éliminer son fonctionnement (préfiltration). Ceci aura une influence sur le bassin de décantation et sur le temps de séjour qui sera minimisé.

Les figures

Figure 1 : Carte de la zone d'action de l'Office du Haouz

Figure 2 : Carte géographique du secteur de N'fis N1-2 (Marrakech-Tensift-Haouz)

Figure 3 : Méthodes d'irrigation

Figure 4: Schéma représentant les équipements et les aménagements hydrauliques alimentant du secteur N1-2 (ORMVAH)

Figure 5 : le Canal de la Rcade

Figure 6: canal de dérivation des eaux de la Rcade vers le bassin 520

Figure 7: Schéma représentant la section transversale du Canal de la Rcade

Figure 8 : Exemple de régulateur de commande des vannes du canal de la Rcade

Figure 9: Présentation graphique des teneurs moyennes en MES des eaux du canal de la Rcade de 2004 à 2009.

Figure 10: Représentation des eaux du barrage Sidi Driss et du canal de la Rcade sur le diagramme de Piper

Figure 11: schéma présentant le principe de décantation

Figure 12 : Décanteur statique sans raclage

Figure 13 : Décanteur statique avec raclage mécanique

Figure 14 : Les annexes (bassin 520 – bassin de décantation)

Figure 15 : filtre à sable autonettoyant

Figure 16 : les types des mailles

Figure 17: filtres à tamis autonettoyant

Figure 18 : buses d'aspiration type STF

Figure 19 : Filtres à disques

Figure 20 : Schéma explicatif de l'opération d'auto nettoyage des filtres à disque

Figure 21 : comparaison des caractéristiques par type de filtration

Les tableaux

Tableau 1: Caractéristiques du barrage Sidi Driss

Tableau 2: Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire

Tableau 3: Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion

Tableau 4: Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

Tableau 5 : Superficies équipées en irrigation localisée (ORMVAH, 2008)

Tableau 6 : Superficie équipée en irrigation localisée au niveau du secteur N1-2 (ORMVAH)

Tableau 7 : Origine d'alimentation par secteur

Tableau 8 : Les apports annuels du barrage d'alimentation (ORMVAH, 2008)

Tableau 9: Biefs du Canal de la Rocade et distances les séparant

Tableau 10 : Paramètres bactériologiques

Tableau 11 : Paramètres parasitologiques

Tableau 12 : Paramètres Toxiques

Tableau 13 : Paramètres physico-chimiques

Tableau 14 : Ions Toxiques (Affectant Les Cultures Sensibles)

Tableau 15 : Effet divers (affectant les cultures sensibles)

Tableau 16 : Teneur maximale moyenne en MES des eaux du canal de Rocade de 2004 à 2009.

Tableau 17 : Vitesse de Décantation en fonction de la teneur en MES et la nature de décantation

Tableau 18 : Les analyses faites au niveau des différentes stations du Canal de Rocade

Tableau 19 : Les classes de pollutions selon le pH, la quantité en MES et la conductivité

Tableau 20 : Critères d'évaluation du « potentiel bouchage » des eaux pour micro-irrigation

Tableau 21 : Valeurs limites des M.E.S par système d'irrigation

Tableau 22: Taux d'abattement des matières en suspension dans les eaux brutes

Tableau 23 : calcul de la vitesse de chute limite

Tableau 24: Diamètre moyen des sables et équivalent en Mesh

Tableau 25 : classification des sols par la taille des particules et nombre de mesh correspondant

Tableau 26: finesse de filtrations disponibles

Tableau 27: comparaison du cout d'équipement par type de filtration pour le cas du secteur N1-2

Bibliographie

- CGTC, (2000), La régulation du Canal de la Rocade, Rapport interne, Marrakech, 65p.
- JABOUN Karima, KOUZA Mohamed, (2012) Etude de l'impact u transport solide du Canal de la Rocade sur la qualité e l'eau : Techniques naturelles (Barrage Sidi Driss et la Canal de la Rocade, Maroc), Mémoire de fin d'études, Marrakech, 60p.
- Mouna LKEBIR, Soufiane SABIRE, (2011), L'impact de la modernisation agricole sur le sol et la nappe dans la zone N1-4 (Région du Haouz-Maroc), Mémoire de fin d'études, Marrakech, 61p.
- ONEE, (2013), Les analyses journalières des eaux d'irrigation, rapport interne, Marrakech, 35 p.
- ORMVAH,(1990), Normes Marocaines relatives aux eaux d'alimentation D'irrigation , Rapport interne, Marrakech, p.45
- ORMVAH, (1985), Etude socio-économique du périmètre de N'fis Schéma de distribution des eaux d'irrigation, Rapport interne, Marrakech, 50p.
- ORMVAH ,(2010), Etude de la qualité des eaux d'irrigation des secteurs concernés par le projet de reconversion des systèmes d'irrigation existants à l'irrigation localisé, Rapport interne, Marrakech, 35p.
- ORMVAH, (2011), Etude de la qualité des eaux d'irrigation es secteurs concernés par le projet de reconversion des systèmes d'irrigation existants à l'irrigation localisée : avant-projet détaillé (station de filtration), Rapport de sous mission, Marrakech, 45p.
- ORMVAH, (2011), avant-projet détaillé (bassin de décantation), Rapport de sous mission, Marrakech, 55p.
- Ouaatou Hamid, Telouati Khalid, (2010), Impact de la turbidité des eaux du Canal de la Rocade su le projet de reconversion du système d'irrigation dans le périmètre du N'fis, Mémoire de fin d'études, Marrakech, 65p.

Webographie :

- <http://www.lenntech.fr/francais/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>
- <http://www.ormvatafilalet.ma/tiki-index.php>
- <https://sites.google.com/site/collectivitesaumaroc/regions/marrakech-tensift-al-haouz>
- www.eau-tensift.net/fileadmin/userfiles/pdf/publication/3-irrigation.pdf
- www.agrireseau.qc.ac/hotculture-pepiniere/documents/couture-Isabelle.pdf