



Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et
Techniques- Marrakech



المكتب الجهوي للإستثمار
الفلاحي للحوز
Office de Mise en Valeur
agricole du Haouz- Marrakech

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le titre de :

Licence es Sciences et Technique

Eau et environnement

Impact de la turbidité des eaux du canal de la Rocade sur le projet de reconversion du système d'irrigation dans le périmètre du N'Fis (région de Marrakech-Tensift-Alhaouz, Maroc)



Par : ***Ouaatou Hamid & Telouati Khalid***

Encadrés par :

- Mr SAIDI Mohamed El Mehdi (Faculté des Sciences et Techniques)
- Mr SGHIR Fathallah (Office de Mise en Valeur agricole du Haouz)

Soutenu le 28/06/2011 devant la commission d'examen composée de :

- Bourgeoini Yamina
- Elhariri Khadija
- SAIDI Mohamed El Mehdi

2010-2011

Sommaire

Introduction	3
Premier chapitre : Démarche générale et méthodologie du travail.....	4
1- Problématique et objectif de l'étude :.....	4
2- Cadre institutionnel :.....	5
3- Déroulement pratique du stage :	8
Deuxième chapitre : Contexte de l'étude.....	9
1- Etude et aménagement anti-érosif du bassin versant de l'oued Lakhdar au niveau du barrage de Sidi Driss	9
1-1 : Présentation du barrage et du bassin versant :.....	9
1-2- Problème d'érosion dans le BVSD :.....	10
1-3- Aménagement anti-érosif du BV SD :.....	11
2- Présentation de la zone d'étude : le périmètre du N'fis.	16
2- 1 : présentation géographique :	16
2-2 : Les ressources en eau dans le Haouz et leur répartition entre les utilisateurs :	18
2-3 : Aménagement de la grande hydraulique du Haouz.	20
3- Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation.....	22
3-1- Raison d'être :	22
3-2- Objectifs et priorités :.....	22
3-3- Consistances du programme :.....	23
3-4- Modalité de mise en œuvre :	24
3-5- Risques du programme :	26
Troisième chapitre : Structure du réseau d'irrigation.....	27
1 –Caractéristiques de l'équipement hydraulique :.....	27
1-1 : la mobilisation des eaux :.....	27
1-2 : le transfert de la distribution des eaux :.....	27
2 – Le réseau d'irrigation :	27
2-1 : Canal de ROCADE :.....	28
2-2 : Caractéristique géométrique du canal ROCADE :.....	29
3 - Gestion et télécontrôle du canal Rocade :	32
3-1 Présentation du CGTC :	32
3-2 : Etude de la régulation dynamique utilisée dans le canal rocade :	33
4 – Etude de la qualité des eaux du canal Rocade :	35

4-1 : Analyse chimique :	35
4-2- Analyse physique :	35
4-3 : Matière en suspension :	35
4-4 Vitesse de décantation :	37
Quatrième chapitre : Qualité des eaux d'irrigation	38
1- Les Normes de qualité des eaux d'irrigation :	38
1-1 Pourquoi des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ?	38
1-2 : Caractéristiques physiques :	40
1-3 caractéristiques physico-chimiques pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation :	41
1-4 : caractéristiques biologiques :	44
1-5 : Quand une eau est-elle conforme à l'irrigation ?	45
2- La Turbidité de l'eau d'irrigation :	46
2-1 : Définition :	46
2-2 : Méthodes d'analyse :	46
3- Analyse du système d'irrigation proposé :	49
3-1 : L'aspersion :	49
3-2 : Le goutte à goutte :	50
3-3 : Avantages et inconvénients :	51
4 - Procédés de filtration utilisés dans le traitement de la turbidité des eaux.....	52
4-1 : Pourquoi intégrer du matériel de filtration au réseau d'irrigation ?	52
4-2 : Les différents types de filtre :	52
Cinquième chapitre : Analyse et critique de l'étude recommandée à l'office du Haouz	55
1 – Choix de variantes de traitement des eaux brutes :	55
2 – Principe de fonctionnement du décanteur lamellaire :	56
3 – dimensionnement du débourbeur	57
3-1 Hypothèses de base :	57
3-2 :Note de calcul :	59
4 – Station de filtration	61
4-1 : Rôle de la filtration	61
4-2 : Options proposées : filtration collective ou individuelle	62
CONCLUSION ET RECOMANDATION	63

Introduction

Le Maroc est un pays où l'agriculture est un secteur clé. Il emploie 40 % de la population active et produit 15 % de la richesse nationale. Sous un climat marqué par l'aridité, cette activité est très dépendante de la pluviométrie annuelle.

Dès l'indépendance (1956), l'Etat marocain a entrepris une politique ambitieuse de création de périmètres irrigués alimentés par de 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).

Le diagnostic de la turbidité de l'eau d'irrigation s'inscrit dans les projets d'études de cet Office. A cet effet, nous avons décidé d'entreprendre une étude qui portera sur l'impact de la turbidité des eaux du canal de la rocade sur le projet de reconversion du système d'irrigation dans le bassin du N'Fis. Ce projet consiste à changer les techniques d'irrigation jusqu'à présent utilisées et qui souffraient du problème de la consommation excessive de l'eau, vers des techniques plus économique 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.

Le premier chapitre va traiter la démarche employée pour parvenir aux objectifs : analyser l'impact du changement du mode de distribution de l'eau aux bornes d'irrigation et l'origine de l'eau d'irrigation. Le deuxième chapitre décrira le bassin versant de l'oued Lakhdar au niveau du Barrage de Sidi Driss ainsi que l'environnement du périmètre irrigué du N'fis. La structure du réseau d'irrigation du périmètre N'fis sera analysée dans le troisième chapitre. Et dans le quatrième, nous procéderons à une description de la qualité des eaux d'irrigation. Enfin le dernier chapitre exposera une étude recommandée à l'ORMVAH afin de choisir les techniques optimales d'irrigation et les variantes de filtration concernant le secteur.

1- Problématique et objectif de l'étude :

L'objectif de l'étude est d'établir un diagnostic sur la turbidité des eaux d'irrigation du périmètre du N'fis (figure 1), plus précisément les eaux du canal de la Rocade et d'un bassin d'irrigation dit : bassin 520. Ceci en mettant en relief la diversité de ces eaux et leurs origines. Il s'agit en particulier d'étudier les impacts de deux facteurs :

* Le facteur technique : le changement de 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 de canaux à ciel ouvert (seguia 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 Rocade qui prend son origine du barrage de compensation Sidi Driss. Donc l'analyse du bassin versant de l'oued Lakhdar serait intéressante.

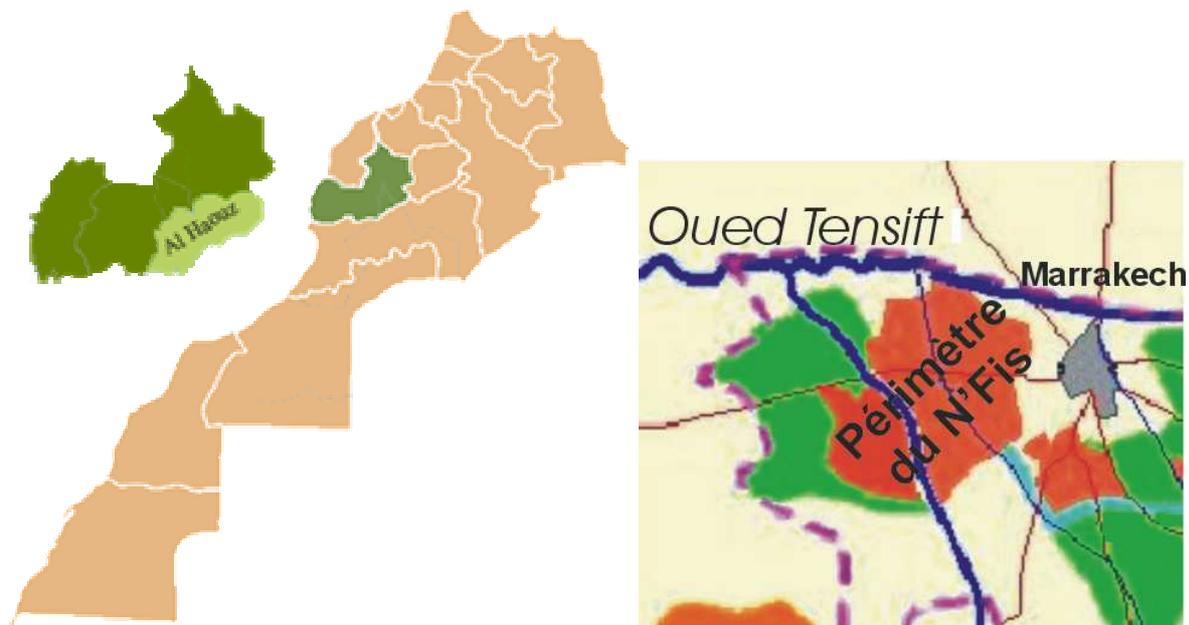


Figure 1 : position géographique du périmètre irrigué du n'Fis

2- cadre institutionnel :

Crée par Décret Royal n° 831-66 du 7 Rajeb 1385 (22 octobre 1966), dénommé « Office Regional de Mise en Valeur Agricole du Haouz ». C'est un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des eaux et forêts.

Dans le cadre de la politique tracée par le gouvernement, l'ORMVH est administré par un conseil d'administration présidé par le Ministre de l'Agriculture, chargé de promouvoir dans sa zone d'action les axes principaux de développement agricole et de la mise en valeur des exploitations agricoles et participe à la formation professionnelles des agriculteurs.

Il procède en relation avec les services centraux du Ministère de l'agriculture :

- A l'étude et l'exécution des aménagements Hydro-Agricoles
- A la réalisation des Etudes Agro-Economiques au niveau de sa zone d'action.
- A la gestion des Equipements Hydro-Agricoles et des Ressources en eau.
- A la Vulgarisation des Techniques Culturelles, la formation continue de son personnel et l'organisation professionnelle des agriculteurs et leur encadrement.
- Au développement de la production végétale et animale.
- A la promotion de l'Agro-industrie.
- A la promotion de la femme rurale en tant qu'acteur de développement rural

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.

- 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 irriguants 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.

- **fiche d'identité**

• Raison social :

Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

• Secteur d'activité :

Chargé de promouvoir le développement agricole dans sa zone d'action qui s'étend sur la wilaya de Marrakech, la province d'El Kelaa des Sraghna et une partie de la province d'Azilal et couvre une superficie globale de 663000ha.

• Implantation de l'entreprise : MARRAKECH, Tensift-Haouz

• Date de création : Le 22 octobre 1966

• Adresse du siège social :

Av Hassan II, Gueliz BP 2411, Marrakech. *Tél. 0524-44-95-97, Fax 0524-44-97-93*

Les attributions de l'Office :

- Les études 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.

3- Déroulement pratique du stage :

- Phase de recherches bibliographique, de recueil des données sur le terrain et de travail à l'ORMVAH.
- Phase d'analyse des informations collectées et rédaction du mémoire de fin d'études.

Deuxième chapitre : Contexte de l'étude

1- Etude et aménagement anti-érosif du bassin versant de l'oued Lakhdar au niveau du barrage de Sidi Driss

1-1 : Présentation du barrage et du bassin versant :

1-1-1 Le Barrage :

Nom	Barrage Sidi Driss
Situé à	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
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
Type	Barrage de compensation

1-1-2 Le bassin versant :

La zone d'étude est constituée du bassin versant intermédiaire de l'oued Lakhdar situé entre les deux barrages Moulay Hassan Ier 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 et 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).

Les substrats dans le bassin sont classés en quatre groupes de dureté: très dure (Dolomies ; Calcaires ; Gabbros), dure (Eboulis cuirassés ; conglomérats et blocs ; Travertins ; Grès), Moyennement tendre (Formations mixtes de : Grès-marnes-pélites, Marnes-calcaires, Marnes-dolomies-grès-pélites, Marnes-conglomérats, Basaltes-gabbros- marnes, Conglomérats-limons; Calcaires lacustres du Trias ; Basaltes) et tendre (Schistes ; Silt-pélites-Argdes rouges; Alluvions fins du IVaire). L'analyse de la carte géologique indique la dominance des substrats moyennement tendre à tendre. Les substrats tendres occupent la partie sud du BVSD, correspondant à la zone la plus pentue (> 45%) et recevant le plus de pluie. Les substrats moyennement tendres occupent toute la moitié Est du BVSD et une grande partie de la zone Ouest. Ces deux catégories de substrats représenteraient plus de 80% de la surface totale. Les substrats durs occupent la zone Nord du BVSD, correspondant à un relief de faible pente et l'Ouest de la zone centrale, correspondant aux reliefs de jbel Asloun, jbel Tamadoute, et jbel Imi-n-Ifri et jbel Jiber. La surface couverte représente moins de 20% de l'ensemble du BVSD. A partir de ces observations, on peut dire que potentiellement la zone sud (amont) du BVSD est la plus menaçante pour l'envasement de la retenue d'Ú barrage de Sidi Driss. Cela n'exclue pas que d'autres localités, entre autres, Iwaridene, Taglawt, Ait Bouzid, Aziag, sont sujettes à des érosions intenses et peuvent produire beaucoup de sédiments.

1-2- Problème d'érosion dans le bassin versant de Sidi Driss :

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 (schistes, marnes, permo-trias, ...). 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 dominant 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.

1-3- Aménagement anti-érosif du bassin versant :

Dans la zone aval du bassin où l'agriculture et l'arboriculture sont plus développées que dans la zone amont à cause du relief essentiellement, les paysans ont mis au point certaines techniques qui permettent de récupérer une partie des eaux de ruissellement générées sur les versants et sur d'autres impluviums (pistes).

- Cuvettes plantées : (photo 1)

Sur le versant, des bassins plats, de 6 à 8 m de long et 2 m de large avec un bourrelet de 0,8 m, sont aménagés pour recueillir les eaux de ruissellement provenant de l'amont. Ces bassins ressemblent à des Cléments de banquettes, mais ils sont plus larges. Ils sont construits pour améliorer le bilan d'eau autour des pieds des arbres plantés (oliviers, amandiers).

- Cuvettes de stockage d'eau aux pieds des arbres : (photo 2)

Les pieds des arbres, surtout les oliviers, sont souvent entourés d'une cuvette de 3 à 5 m de diamètre, peu profondes, qui servent à recueillir les eaux de ruissellement (provenant de piste par exemple). Elles sont renforcées dans leur côté de pente par des pierres sans architecture bien définie. Ces cuvettes ne sont pas très grandes ni très profondes pour permettre un meilleur partage des eaux entre les pieds des oliviers. Les paysans préfèrent qu'ils aient, à chaque orage, plus d'arbres avec un peu d'eau que peu d'arbres avec beaucoup d'eau. Ces cuvettes sont liées par un chenal étroit (quelques cm de profondeur et de largeur) à un impluvium, qui peut être un ravin ou une piste.

- Récupération des eaux des pistes : (photo 3)

Les eaux des pistes sont récupérées par des chenaux construits en biais par rapport à la piste. Ces chenaux sont faits de terre et entretenus régulièrement. Leur disposition coïncide avec la structure du verger (olivier) et relie les cuvettes des arbres les unes aux autres.

Les endroits de plantations des arbres sont déterminés par les possibilités de génération du ruissellement par la piste. Les pistes larges et avec pente sont des impluviums de choix pour les paysans. Les eaux des pistes sont récupérées par des chenaux construits en biais par rapport à la piste.

- Matfia : bassin à ciel ouvert (photo 4)

Dans cette zone aride (P=300 mm/an), les eaux souterraines sont très rares et les possibilités d'irrigation sont très limitées. De ce fait, les paysans drainent les eaux de ruissellement des impluviums naturels (dalles, bad-lands, ravins) ou artificiels (pistes) par des chenaux pour les stocker dans des bassins circulaires à ciel ouvert. Le chenal est souvent un ravin naturel ou un fossé aménagé. Dans certains cas, ce chenal est pavé avec des pierres locales. Les bassins rencontrés dans la zone sont de petites dimensions : 4 à 6 m de diamètre, 1 à 2 m de profondeur, ce qui permet de stocker entre 50 à 150 m³. Ces bassins sont soutenus par un mur construit en maçonnerie traditionnelle: des pierres cimentées par de la terre argileuse. Ils sont tapissés à l'intérieur pour augmenter leur étanchéité. L'eau stocker sert à l'abreuvement du cheptel, à l'irrigation de petits potagers ou pépinières et par fois à subvenir aux besoins domestiques des ménages.

- Aménagement des vallées : (photo 5)

Les aménagements dans les vallées ou lits des oueds se font pour tirer profit de la planitude de la topographie, de la présence d'eau et des alluvions fertiles. Les aménagements peuvent être groupés en deux types, selon leurs objectifs : (1) protéger les terres agricoles des crues fréquentes des oueds à régimes torrentiels et (2) soutenir et stabiliser les terrasses construites. Les premiers sont des murs construits en blocs de calcaires et de grés pour avoir une fonction d'épis, de barrages de déviations des eaux, de seuils et de murs de clôture. Selon la disponibilité en pierres, ces murs ont des dimensions variables de 0,5 à 1 m de large, 0,5 à 1,5 de haut et plusieurs mètres de long. Les seconds sont construits pour retenir et/ou soutenir la terre (alluvions) souvent apportée. Ils sont construits de blocs de pierres de différentes natures et dimensions.

- Aménagements des versants :

Le manque de terres à usage agricole (relief, pression démographique, domanialité des terres) oblige les paysans à valoriser les versants pierreux. L'épierrage est une opération progressive. Les pierres sont ramassées sur les gros blocs difficilement enlevables. Les amas de pierres se connectent au fur et à mesure que la parcelle est valorisée. La parcelle se structure en bandes irrégulières, séparées par des cordons de pierres (Photo 7) ou des murettes

(Photo 8) de dimensions variables (0,5 de large, 0,8 m de haut et une dizaine de m de long) qui ont tendance à suivre les courbes de niveau. Souvent des arbres fruitiers (amandiers) sont plantés dans les atterrissements en amont des murettes. Dans certaines parcelles, les pierres sont ramassées autour des pieds des arbres (olivier, amandier, caroubier) et avec le temps le paysan arrive à en faire des cuvettes (Photo 9).

La construction des terrasses (terrasses, plates formes, gradins) sur les versants est associée à la présence de couverture pédologique ou détritique et/ou de substrats tendres. Sur les substrats durs, où la pierre est disponible, le terrassement se fait en même temps que la construction du mur de soutènement. Dans ces cas, la terrasse correspond plus une création qu'à une conservation de la terre (Photo 10). L'irrigation joue un rôle important dans la prise de décision de construction de ce genre de terrasse. Elle contribue beaucoup la rentabilisation de l'effort du paysan. Sur les substrats tendres, les limites des parcelles souvent issues de l'héritage, évoluent en talus. Le travail du sol par l'amont et par l'aval abouti à la création de dénivelée topographique, légèrement pentue vers l'amont, de largeur et de tracé irréguliers. Les terrasses ont une largeur variable le long du versant (Photo 11). Ces talus sont souvent renforcés par de la végétation spontanée (caroubier, chênes, jujubier, doum, cistes, graminées vivaces) ou plantée (amandiers, oliviers).

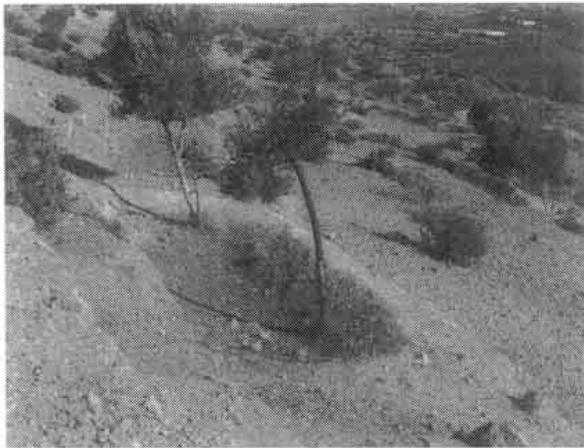


Photo 1 : cuvettes plantées



Photo 2 : cuvettes de stockage d'eau aux pieds des Arbres



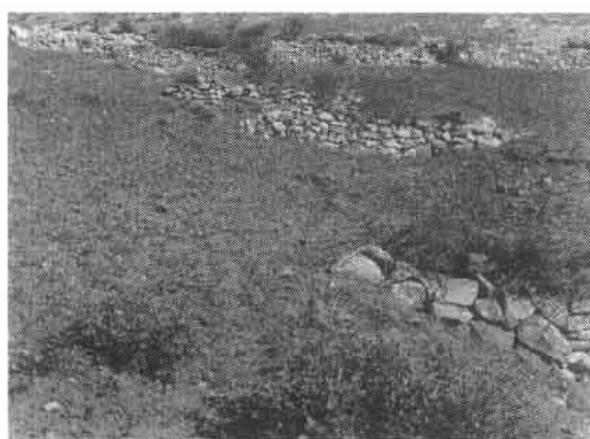
Photo 3 : récupération des eaux des pistes



Photo 4 : Matfia (bassin à ciel ouvert)



*Photo 5 : Aménagement de vallée
(lit de l'oued Ghzef)*



*Photo 6 : Ravin aménagé
(seuils et plantation d'oliviers)*



*Photo 7 : épierrage et ramassage des
pierres autour des gros blocs, évoluant en
cordon le long des courbes de niveau*



Photo 8 : Murettes avec amandiers



Photo 9: Epierrage donnant des amas de pierres évoluant en cuvette autour des arbres (caroubiers)



Photo 10 : Terrasses issues de l'évolution des talus sur substrat meuble



Photo 11 : Terrasses construites sur versant pentu

2- présentation de la zone d'étude : Le périmètre du N'fis.

Autour de la ville de Marrakech, l'environnement géographique de type méditerranéen est considéré favorable à l'agriculture si l'irrigation y est associée.

2- 1 : présentation géographique :

2-1-1 un périmètre irrigué inclus dans la plaine du Haouz.

La zone d'action de l'ORMVAH s'étend sur la plaine du Haouz et couvre une superficie de 663 000 ha, autour de la ville de Marrakech. Elle se partage entre deux bassins versants qui alimentent de nombreux oueds. Ces deux bassins versants sont celui de l'Oum R'bia au nord-est (oueds Tessaout, Lakhdar, El Abid...) et celui du Tensift au sud-ouest (oueds Tensift, N'Fis, Rheraya, Issil, Ourika, Mellah, Zat, R'dat...).

Le périmètre irrigué du N'Fis se situe dans le bassin versant du Tensift. Il est situé à l'ouest de Marrakech. La route de Marrakech-Guemassa et les collines de Tamesloht délimitent la partie sud du périmètre, et les oueds N'Fis et Tensift forment respectivement les limites ouest et nord du périmètre. (fig. 1)

Ce périmètre se situe dans une immense plaine d'épandage d'alluvions atlasiques qui constitue en quelque sorte un delta intérieur. Elle présente une pente souvent inférieure à 1 %. Il existe localement un micro-relief duquel émergent quelques buttes et duquel se découpent les chenaux d'écoulement des cours d'eaux temporels ou permanents, actuels ou anciens. Les altitudes minimales et maximales sont respectivement de 342 m et de 500 m.

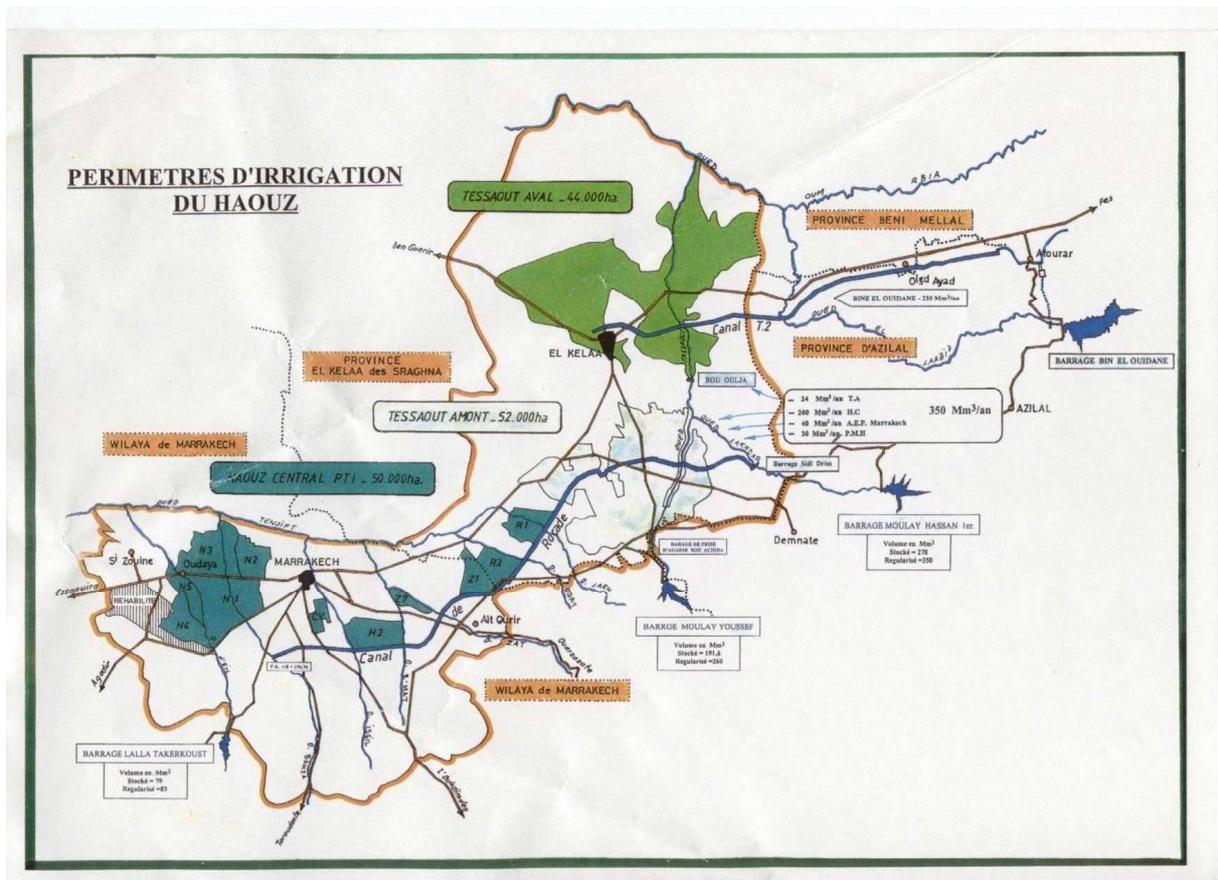


Figure 2 : Zones d'action et périmètres irrigués de l'Office de Mise en Valeur Agricole du Haouz

2-1-2 des sols limoneux du type lithosols.

La plaine Haouz est un vaste bassin d'effondrement entre le Haut Atlas au Sud et les Jbilet au Nord. Les sols du Haouz sont des alluvions quaternaires. Dans le périmètre du N'Fis, se trouvent des matériaux superposés et remaniés lors des différentes phases d'alluvionnement suivant la divagation des oueds. Ces matériaux sont, en majorité, des limons rougeâtres provenant de l'oued Baja (qui porte le nom de Rheraya en amont du périmètre) qui traverse le périmètre du N'Fis. Ces limons sont représentés par des sables, que l'on retrouve majoritairement dans l'axe des anciens cours de l'oued, associés à des limons sableux stratifiés. On peut observer occasionnellement, à la base des profils, des strates caillouteuses.

Les limons anciens du N'Fis se caractérisent par leur teneur en calcaire élevée et l'accumulation de cet élément en profondeur. Les limons récents du N'Fis se distinguent des limons anciens par leur teneur en calcaire plus élevée et leur faible coloration.

Enfin, parmi les limons anciens, on peut différencier les limons argileux à bonne structuration et les limons caillouteux de remaniement du cône du Rheraya. En particulier, les limons anciens du Baja se reconnaissent par leur texture équilibrée et leur bonne structure.

"La qualité des terres n'a pas été le facteur principal de mise en valeur des terres par les agriculteurs dans le Haouz. La disponibilité en eau a eu un rôle primordial face à la qualité agronomique des sols." (Pascon, 1977)

2-1-3 un climat continental semi – aride :

Pascon (1977) décrit le climat du Haouz comme étant marqué par de forts contrastes dans le temps et dans l'espace. Ainsi, la variation de la pluviométrie inter-annuelle et intra-annuelle est très grande :

- pluviométrie faible et irrégulière (240 mm/an).
- Températures estivales très élevées (moyenne des maxima 38°C) et hivernales basses (moyenne des minima 5°C)
- Evaporation intense (2.300 mm par an).
- Hygrométrie de l'air particulièrement faible (40 % en moyenne en été).

2-2 : Les ressources en eau dans le Haouz et leur répartition entre les utilisateurs :

2-1-2 Ressources en eau dans le Haouz :

Dans la plaine du Haouz, on compte deux réseaux hydrographiques importants :

- A l'Ouest on trouve un certain nombre d'oueds qui coulent en provenance de l'Atlas, et se jettent dans l'oued Tensift, qui domine toute la partie occidentale et centrale de la plaine du Haouz.
- A l'Est, il y a Oued Tessaout, dont l'affluent principal est oued Lakhdar, déverser par la suite sur Oum er R'bia. il domine d'une part l'extrémité orientale de la plaine du Haouz qui constitue le bassin hydraulique dit de la plaine du Haouz qui constitue le bassin hydraulique, et d'autre part, au Nord du Jbilet, la partie orientale de la Bahira, c'est le Haouz septentrional. (fig. 3)

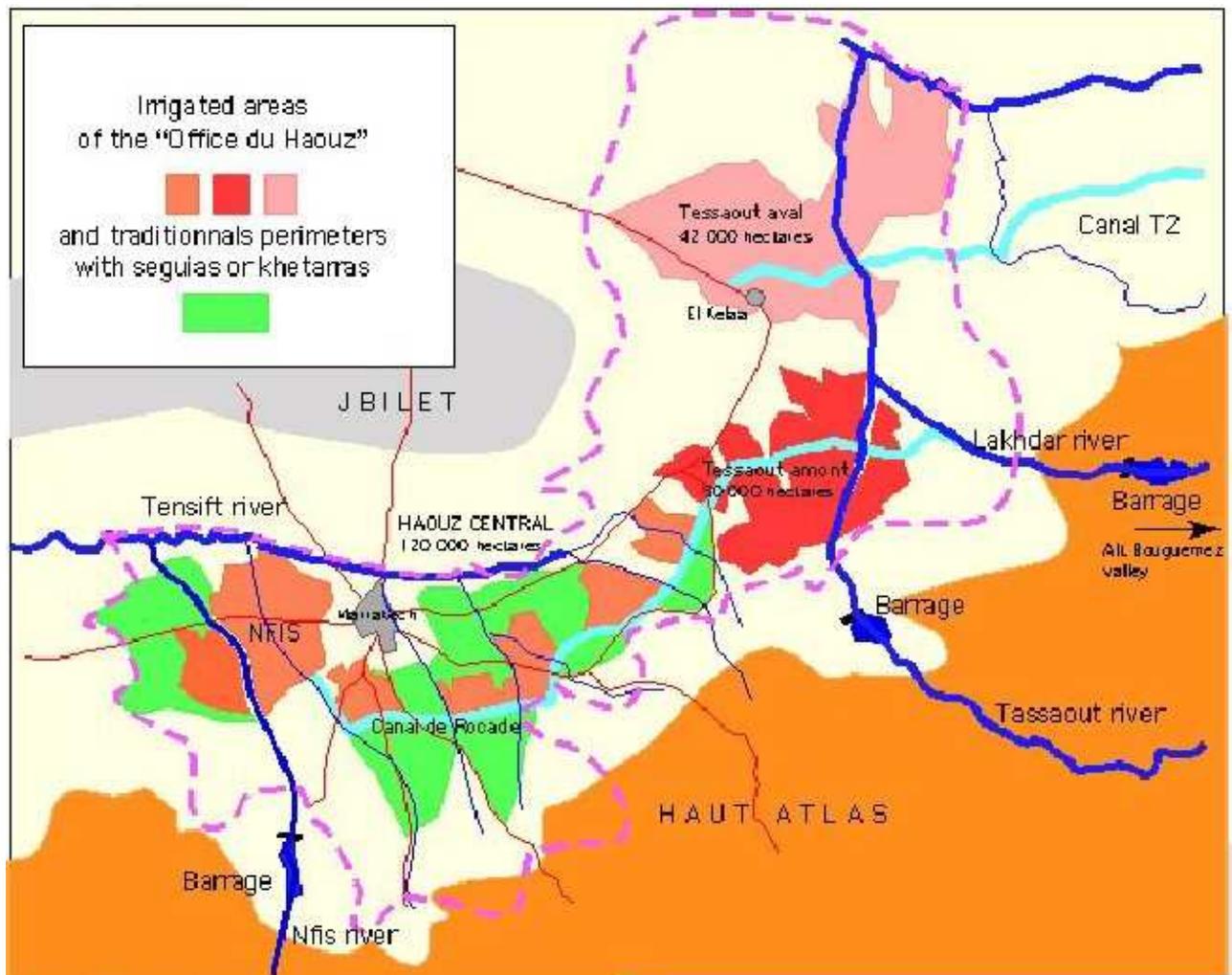


Figure 3 : Carte des périmètres irrigués du Haouz

- **Le bassin versants :**

Sur les treize (13) Oueds existant, cinq (5) coulent dans le bassin du Tensift (N'fis, Reraya, Ourika, Zat, R'dat) et deux (2) dans le bassin de l'Oum R'bai (Tessaout et Lekhdar). Ces sept (7) Oueds cités ont une importance notable ; importance très inégale d'ailleurs, puisque leurs longueurs peuvent varier de 150 km (N'fis) à 36 km (Gheraya), et les superficies de leurs bassins d'alimentation : 2844 km² (Lakhdar) à 324 km² (Gheraya).

- **Les crues :**

Les crues, issues d'orages fréquents dans la région et des précipitations normales, et dont le volume mobilisable chaque année est estimé à 173 Mm³ dans la Tessaout Amont.

Ces ressources hydrauliques, malgré leur abondance relative, sont toutefois insuffisantes pour satisfaire correctement les besoins en eau des cultures sur l'ensemble des terres cultivables.

2-2-2 : Ressources Mobilisées :

L'aménagement du Haouz Central est étroitement lié à celui de la Tessaout-Aval, par un transfert d'eau inter-régional. Il prévoit notamment :

- La dérivation de la majeure partie des ressources régularisées de l'Oued Lakhdar vers le Haouz central aux fins d'irrigation (260 millions de m³), et l'alimentation en eau potable de Marrakech (40 millions de m³).

- La création de secteurs d'irrigation moderne répartis sur l'ensemble de la plaine.

Ce transfert s'opérant aux dépend des ressources actuelles de la Tessaout- Aval, irriguée essentiellement par les eaux de l'Oued Lakhdar, et dont les droits d'eau sont à maintenir impérativement, Il est prévu de réalimenter au préalable cette région par un transfert des eaux du barrage de Bin El Ouidane par le canal T₂.

Au stade final de l'aménagement de cette première tranche d'irrigation, les ressources hydrauliques mobilisées seront ainsi réparties et utilisées.

Une caractéristique importante de l'eau de ces oueds est la turbidité (charge en débris solides) élevée due, principalement, à des bassins versants pentus, des précipitations fortes et un faible boisement. Cette particularité a des conséquences directes sur l'envasement des différents ouvrages hydrauliques (barrages, canaux). L'exemple le plus marquant est celui de la retenue du barrage Sidi Driss (sur l'oued Lakhdar) qui devait régulariser 7 millions de m³ à l'origine mais qui ne peut régulariser que 2 millions de m³ actuellement car elle est envasée. Les agriculteurs et les aiguardiers rencontrent fréquemment des dysfonctionnements sur le réseau d'irrigation (bouchage des bornes et de leur compteur).

2-3 : 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 régional 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 (fig. 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 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 Tansift. 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 Tasaout-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 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 Rocade.

*** Elévation du barrage Lalla Takerkoust et construction du canal de 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 Rocade. Cet ouvrage, long de 118 km et 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 R'bia 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 (fig. 2).

3- Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation

3-1- Raison d'être :

Produire plus, avec une meilleure qualité, en utilisant moins d'eau et de façon durable est le grand défi lancé à l'agriculture irriguée. Pour relever ce défi, de grands espoirs sont fondés sur les techniques et technologies d'économie et valorisation de l'eau. Cependant, au-delà des choix techniques et technologiques pour déverrouiller le potentiel de la productivité, les facteurs déterminants sont le cadre incitatif, la technicité des hommes, l'accès aux moyens et méthodes modernes de production, l'articulation de la production à un réseau efficace de recherche-développement-fourriture de services à l'amont et d'information-conseil commercialisation à l'aval.

3-2- Objectifs et priorités :

Les priorités du PNEEI sont comme suit :

- Pour la collectivité nationale : Economie et valorisation de l'eau, rentabilisation des investissements publics réalisés et à venir et développement durable du pays.
- Pour l'exploitation agricole : Amélioration des revenus, réduction des risques et rentabilité financière des investissements.

3-3- Consistances du programme :

Pour réaliser les objectifs qui lui sont assignés, le PNEEI portera sur la réalisation d'activités sur une période de quinze années. Ces activités ont été regroupées en quatre composantes :

- Modernisations collectives :

Il s'agit d'une modernisation et adaptation du réseau d'irrigation (y compris les stations de pompage) pour le rendre compatible avec l'irrigation localisée (IL), d'une part et de l'installation du matériel d'IL au niveau des parcelles, d'autre part. De préférence, l'Etat réalisera la conversion totale du secteur retenu pour la conversion collective, car la solution consistant en une modernisation du réseau amont par l'Etat et d'attente des reconversions à la parcelle sur l'initiative des agriculteurs est jugée trop hasardeuse.

Les reconversions collectives concerneront une superficie totale de 218 000 ha.

- Modernisations individuelles :

Correspond à la réalisation du projet de reconversion en IL par les agriculteurs eux-mêmes sur la base du principe du guichet ouvert, aussi bien en grand hydraulique qu'en irrigation privée. L'Etat aura alors pour rôle de réunir toutes les conditions requises pour permettre la réalisation par les agriculteurs de ces prévisions (guichets ouverts pour les aides financières, mise en œuvre des procédures, encadrement direct et indirect... etc).

Les superficies prévues pour ce type de conversion sont estimées à 337 150 ha, 177 150 pour les périmètres de la grande hydraulique et 160 000 ha pour l'irrigation privée.

- Valorisation agricole :

La réussite d'un programme aussi ambitieux que celui du PNEEI dépend du degré de valorisation agricole. Celle-ci passe par :

- › Le choix des cultures ayant le meilleur potentiel de valorisation de l'eau d'irrigation compte tenu des spécificités régionales.
- › La promotion de ces cultures auprès des agriculteurs.
- › Des actions visant la commercialisation des produits. Selon les produits, les marchés visés peuvent être le marché local de la consommation, le marché international ou le débouché de la transformation.

- Renforcement de la l'appui technique :

En terme de renforcement des capacités le PNEEI s'intéressera aux groupes suivants :

- › Les agriculteurs et leurs associations.
- › Les organismes et institution publics.
- › Le secteur privé chargé de la fabrication, de la fourniture et de l'installation du matériel.

3-4- Modalité de mise en œuvre :

Le PNEEI à l'instar des programmes de développement agricole, s'appuiera sur une série de leviers pour atteindre ses objectifs.

Les leviers que l'Etat peut mettre en œuvre pour arriver à des résultats concrets en matière d'économie d'eau peuvent être résumés dans ce qui suit :

- le levier des outils macro-économiques : taux de changes, taux d'intérêts, tarifs douaniers et fiscalité.
- Le levier des subventions et autres incitations financières.
- Le levier de la tarification de l'eau d'irrigation.
- Le levier des autorisations de pompage avec toutes leurs implications.

Avec la réalisation de ce programme, la superficie de L'IL atteindra près de 700 000 ha, soit presque 50 % de la superficie équipé pour l'irrigation.

Les graphiques suivants présentent les pourcentages en superficies des trois modes d'irrigation (gravitaire, aspersion et Irrigation localisée) situation actuelle et après réalisation du PNEEI.

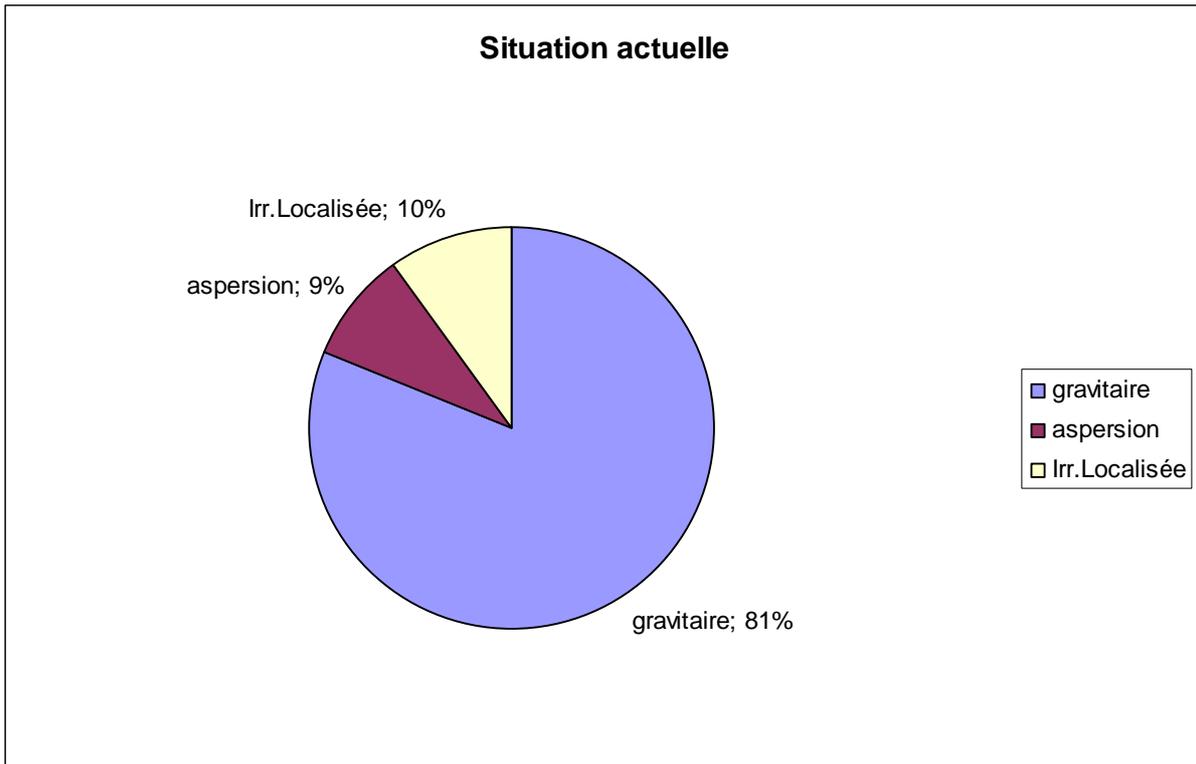


Figure 4 : Pourcentages des modes d'irrigation avant la réalisation du PNEEI

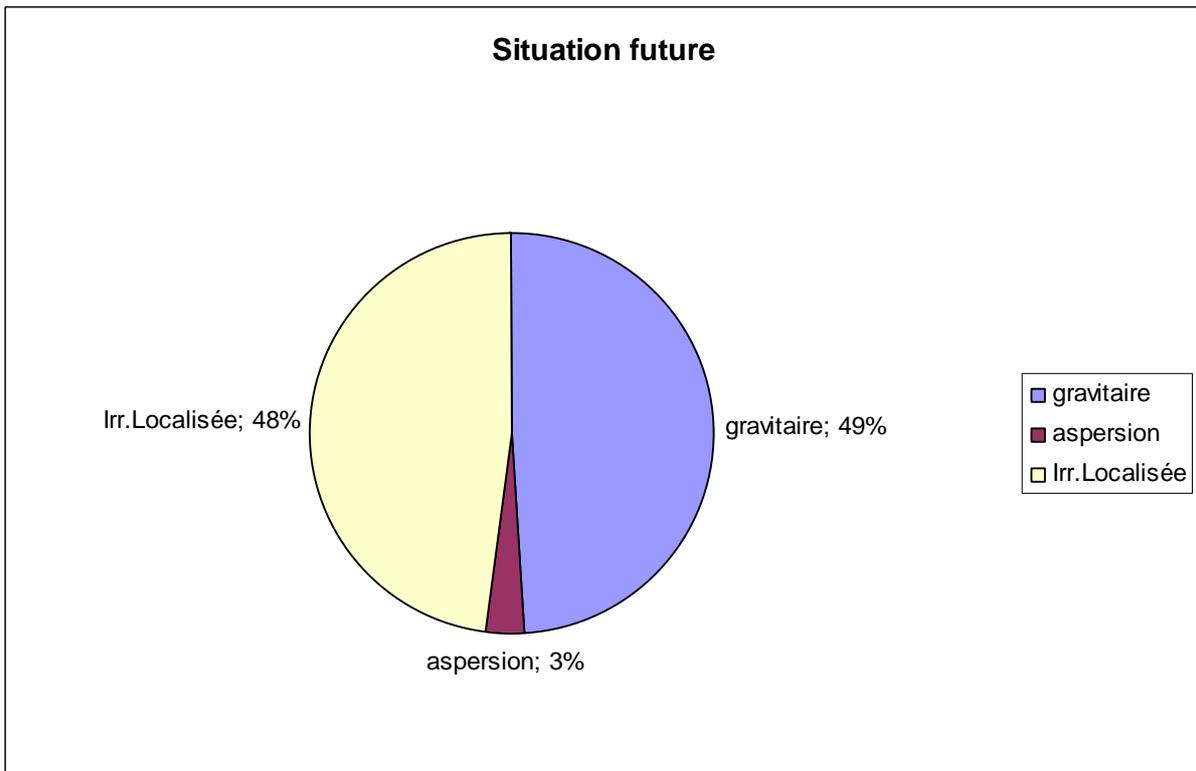


Figure 5 : Pourcentages des modes d'irrigation après la réalisation du PNEEI

3-5- Risques du programme :

Les risques sont d'ordre naturel, institutionnel, technique, financier et commercial.

- Les risques naturels sont causés par les apports d'eau de plus en plus réduits aux barrages.
- Les risques institutionnels pourraient provenir du manque de coordination et de concertation entre les différentes institutions de l'Etat, ainsi que la faiblesse des associations représentant les agriculteurs et les irrigants (AUEA).
- Les risques financiers proviendraient des agriculteurs qui n'arriveraient pas à suivre le rythme des financements exigés par le passage à l'agriculture très intensive et moderne comme c'est le cas en irrigation localisée.
- Les risques techniques concerneraient l'extension des superficies irrigués l'accroissement de la consommation global de l'eau.
- Les risques commerciaux concernant la non disponibilité sur le marché des équipements adéquats et désirés d'irrigation avec propagation d'un mauvais matériel d'irrigation et le manque de débouchés pour les projections.

Troisième chapitre : Structure du réseau d'irrigation

Pour une meilleure gestion de l'eau, l'office régional de mise en valeur agricole du Haouz organise et aménage la région du Haouz par la construction de canaux d'irrigation à surface libre, assurant une irrigation gravitaire, et un réseau sous-terrain, qui permet d'irriguer en pression (irrigation par aspersion).

1 –Caractéristiques de l'équipement hydraulique :

1-1 : la mobilisation des eaux :

- Le barrage de retenue d'Ait Chouarit sur l'oued Lakhdar régularisant 350 millions de m³ par ans.
- le barrage de prise de Sidi Driss sur l'oued Lakhdar régularisant 7 millions de m³.
- la surélévation du barrage Lalla Takrkoust sur l'oued N'fis portant le volume régularisé à 85 millions de m³.

1-2 : le transfert de la distribution des eaux :

- Constitution (terrassement et revêtement) de la tête morte du canal de Rocode sur 46 km, depuis le barrage de prise de Sidi Driss jusqu'en tête du premier secteur du Haouz central. Le débit de dimensionnement est de 20 m³/s.
- Revêtement et rééquilibrage de la partie distributrice du canal de Recode déjà terrassée sur 72 km. Pour assurer le fonctionnement correct de cet ouvrage, d'une longueur totale de 118 Km.

2 – Le réseau d'irrigation :

Le périmètre irrigué est constitué de trois parties principales : Tessaout amant, Le Haouz central et Tessaout Aval. Ces dernières sont irriguées par quatre types de conduites d'eau : Le canal issu du barrage Moulay Youssef, le canal de N'FIS, le canal T2 et le canal de Rocode.

2-1 : Canal de ROCADE :

Les études ont démontré que la région du Haouz est dépourvue d'eau pour irriguer ses vastes plaines, les khétaras utilisées autrefois ne suffisaient pas. La région exige de grandes quantités d'eau. Pour cela, un gigantesque programme hydraulique régional a été entrepris en 1928-1929 dans lequel est prévu la construction du barrage d'Ait Chouarit (barrage Hassan premier), suivi de son barrage de compensation et de prise de Sidi Driss sur l'oued Lakhdar et le canal de Rocade (fig. 6) qui va transférer le volume d'eau nécessaire à l'irrigation du Haouz Central.



Figure 6 : le canal de la Rocade

Ce canal de Rocade 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.

C'est un canal de forme trapézoïdale long de 114 km, jusqu'au régulateur R7. Toute l'eau qu'il véhicule vers le Haouz central, excepté une partie déviée pour le compte de l'O.N.E.P (office national d'eau potable) pour être traitée comme eau potable de la ville de Marrakech, alimente un bassin d'accumulation, dénommé Bassin n°520, par un petit canal étroit dont la pente est accentuée (fig. 7).



Figure 7 : canal de dérivation des eaux de la Rocade vers le bassin 520

2-2 : Caractéristique géométrique du canal ROCADE :

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

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 (fig. 7) qui arrive dans le bassin de régulation (bassin de 20 000 m³ de capacité utile) alimentant le périmètre de N'fis.

A fin 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 d'autant est plus importante. C'est le système de la régulation qui est géré par un centre de l'ORMVAH appelé, le centre de gestion de télé contrôle du canal rocade.

Biefs	Longueur (Km)	Section Type (fig. 8-9-10)
1	59,508	I
2	5,497	I
3	15,757	I
4	29,528	I
5	12,925	II
6	9,229	III
7	7,149	III

Tableau 1 : Biefs du canal de Rcade et distances les séparant

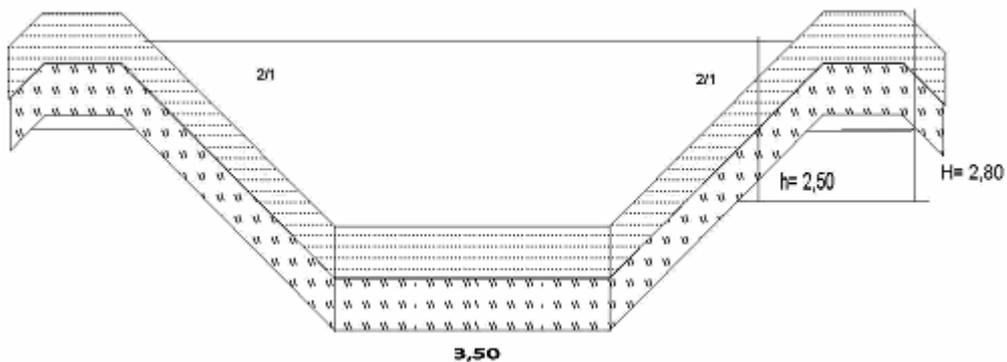


Figure 8 : Forme et dimensions en mètre de la section du canal de Rcade de type I

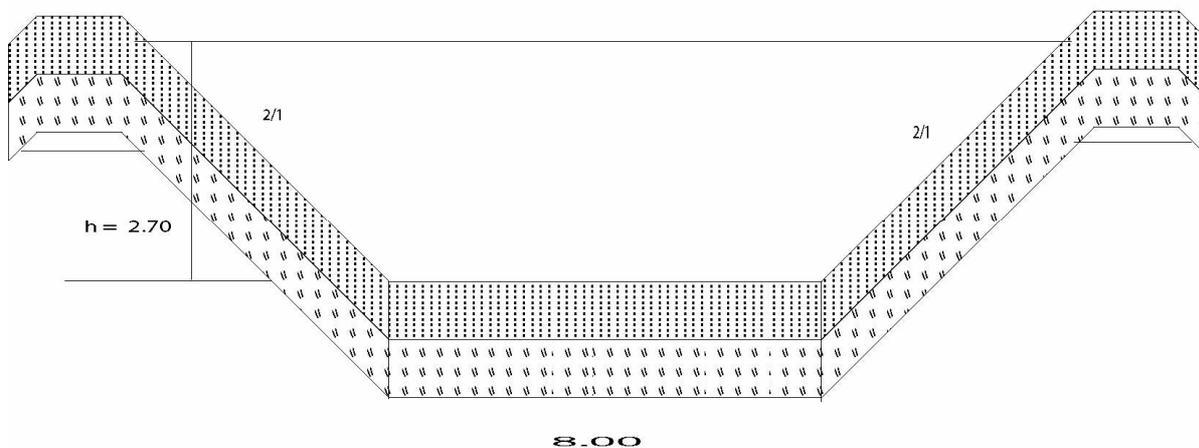


Figure 9 : Forme de la section du canal de Rcade de type II

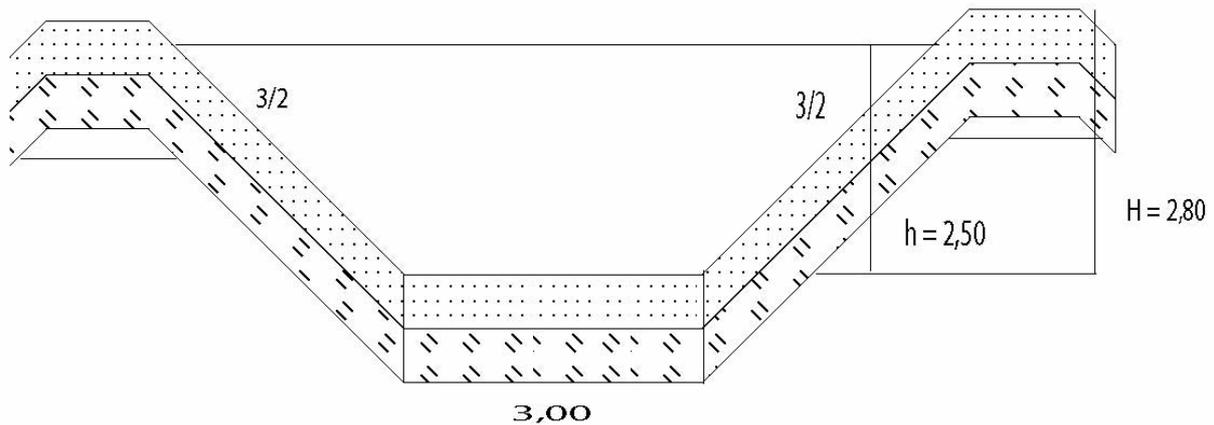


Figure 10 : Forme de la section du canal de Rocade de type III

Les prises du canal de la Rocade :

Le canal est parsemé de prises d'eau destinées à différents usages (eau potables, irrigations ...etc). Les proportions de ces distributions se présentent comme suit :

Nom de la prise	Tagh	TA	R1	R3	Z1	H2	Golf
Volume consommé (m3)	252720	2595762	1761253	1547053	715770	429504	107136

Nom de prise	CV	ONEP	Targha	P3	P4	ASS	pertes
Volume consommé (m3)	173550	4969039	252000	1259059	2452446	41540	391178

Tableau 2 : Les volumes d'eau alloués aux différentes prises du canal

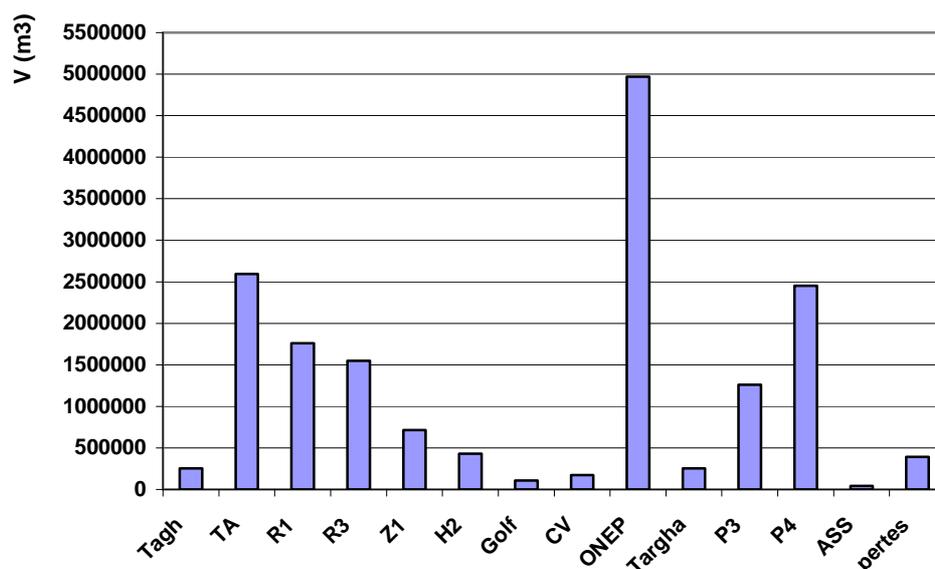


Figure 11 : Volumes d'eau consommés par les prises du canal Rocade en janvier 2011

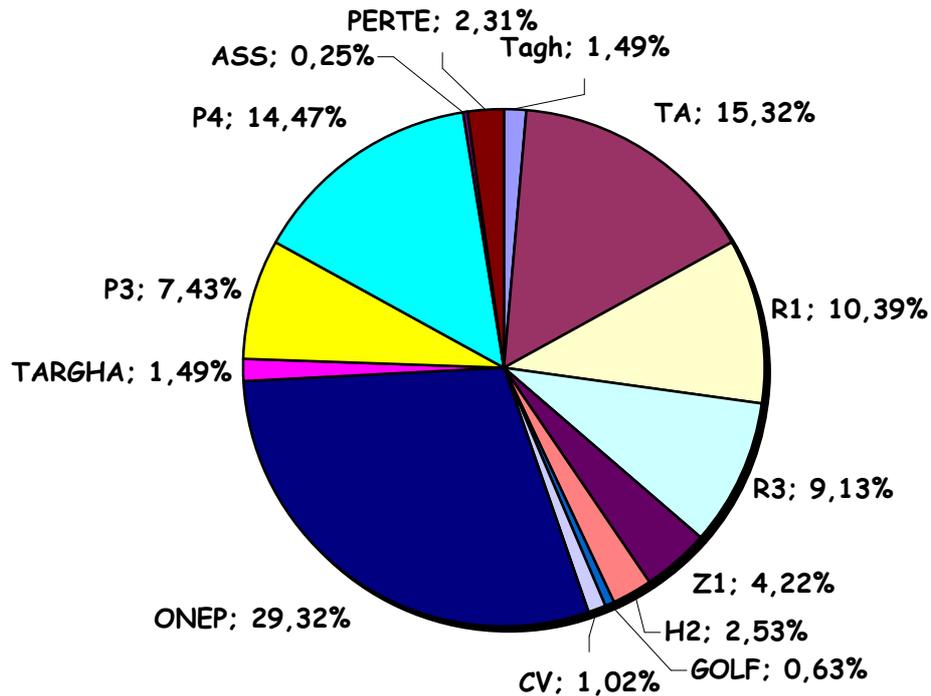


Figure 12 : pourcentages des volumes d'eau consommés par les prises du canal de Rocate en janvier 2011

Il ressort de ces chiffres que l'eau destinée à la consommation ménagère et industrielle occupe une part importante (29 %), mais tout le reste est quasiment destiné à l'irrigation des périmètres agricoles.

3 - Gestion et télécontrôle du canal Rocate :

3-1 Présentation du Centre de Gestion et de Télécontrôle :

Le centre de gestion et de télécontrôle (CGTC) a été créé afin de résoudre le problème concernant le fonctionnement de ces 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 en évitant les pertes.

Le CGTC commande le canal 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.

Le système de régulation permet une surveillance continue des ouvrages et des équipements 24h/24 grâce à des régulateurs disposés sur le canal et munis d'appareils de mesure de niveau et du débit (fig. 13). Ces mesures sont envoyées directement au centre, et selon les besoins, le CGTC commande les vannes des régulateurs soit d'une façon manuelle ou automatique.

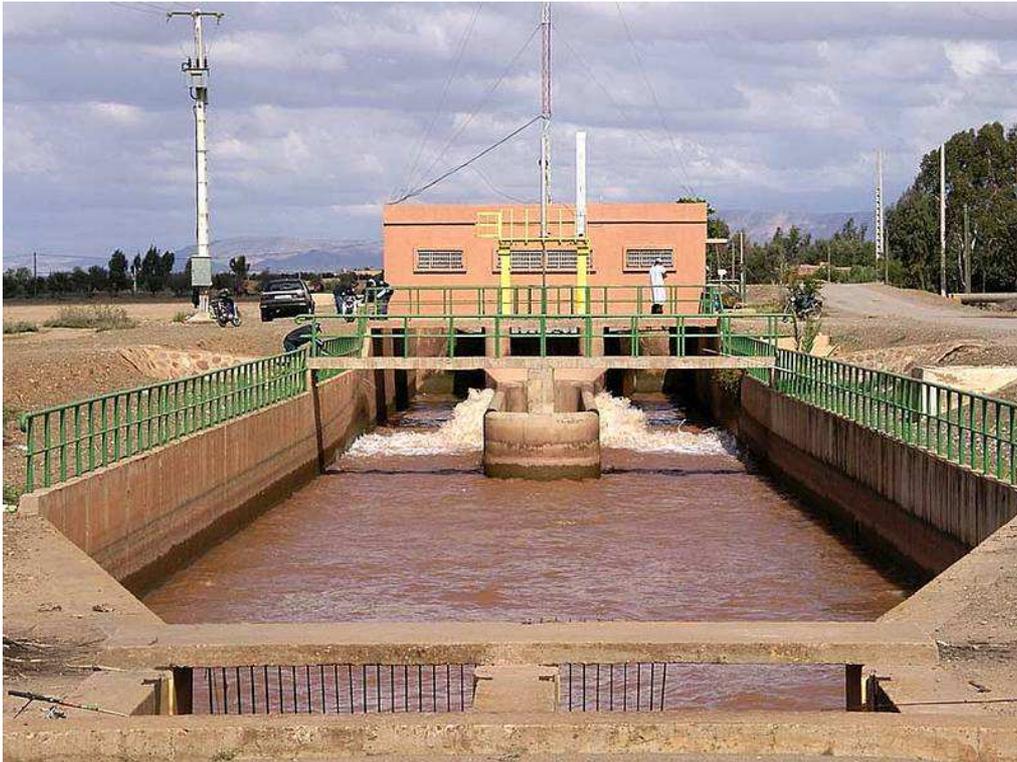


Figure 13 : Exemple de régulateur de commande des vannes du canal de Rocade

3-2 : Etude de la régulation dynamique utilisée dans le canal rocade :

Le mode de régulation est piloté par un ordinateur industriel fonctionnant en temps réel. Un système de contrôle couplé à ce ordinateur, permet la réception des informations hydrauliques du canal (niveaux, débits, positions des vannes...) et l'envoi des ordres, qui auront été élaborés par le logiciel de réglage du débit dans le canal.

Il existe trois procédés pour gérer un système de régulation :

- Architecture centralisée : Un seul centre principale commande plusieurs stations de télétransmission situés le long de l'adduction (cas du canal rocade et canal N'fis).
- Architecture semi-centralisée : le centre général de télé contrôle commande toute les stations. Au cas ou une panne provoque une coupure d'information entre général et

les ouvrages, le centre général et les ouvrages, le centre régional prend la relève pour assurer une continuité dans la gestion de la régulation.

- Architecture décentralisée : les centres de télétransmission recevront les ordres de commande ou de consignes directement par des centres intermédiaires.

La régulation dynamique est définie comme étant un système d'exploitation centralisé.

Le but de la régulation dynamique 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.

Le procédé de la régulation dynamique se définit de la façon suivante: elle gère de façon globale les volumes dans les différents biefs d'un canal en fonction du planning ou des prévisions du bureau d'exploitation du réseau et des centres de mise en valeur (CMV).

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

- Il fait le bilan des apports, prélèvements et réserves
- Il calcul 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 :

- Une 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.

4 – Etude de la qualité des eaux du canal de Rocade :

L'appréciation de la qualité des eaux était basée sur les analyses faites auprès de la station de l'ONEP et sur les analyses faites dans le cadre de l'étude d'amélioration de la qualité des eaux du canal de Rocade.

4-1 : Analyse chimique :

Cette analyse est effectuée à fréquence journalière dans la station de l'ONEP, 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 3 mg/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.

4-2- 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% ;

4-3 : 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 moyennes 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	1670
Juin	3000	500	12680	830	1840	44500	10558
Juillet	1200	1560	427	900	1500	25000	5098
Août	2630	28190	1200	687		24000	11341
Septembre	500	34000	21000	945	3530	27500	14579
Octobre	500	4590	500	960		500	1410
Novembre	500	3000	500	900	500	500	983
Décembre	920	6500	500	3500	500	500	2070
Moyenne	1054	7798	5841	1560	1924	15523	

- Tableau 3 : Teneur maximale moyenne en MES des eaux du canal de Rocade de 2004 à 2009.

Ces mesures reflètent que les matières dépassent rarement 5 g/l, alors que dans les mois qui auraient connu des crues (mois de mars, juin, août et septembre) la teneur peut dépasser 10 g/l (fig. 14). Ceci reste variable selon les années (fig. 15). En 2004 par exemple, on observe des teneurs de l'ordre de 0,5 à 2 g/l, alors qu'en 2009 les valeurs varient entre 0,4 g/l et 45 g/l. Ceci vraisemblablement en raison de la variation des intensités des précipitations et de la fréquence des crues.

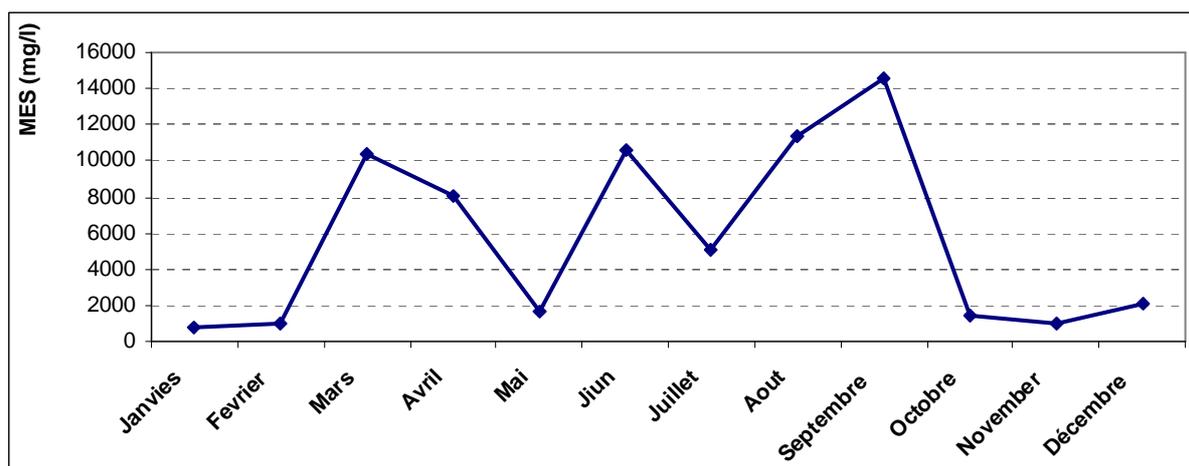


Figure 14 : Teneurs moyennes mensuelles en MES des eaux du canal de Rocade de 2004 à 2009.

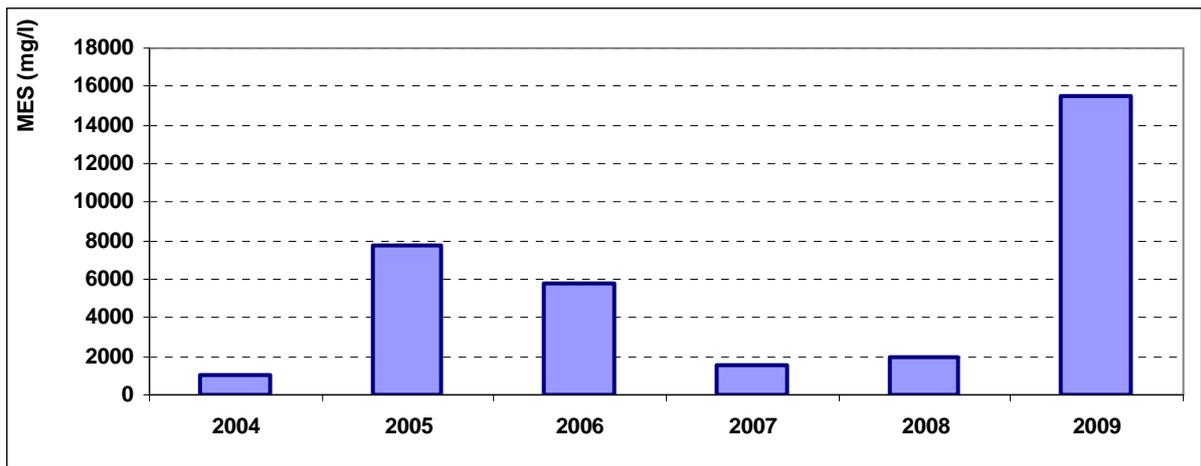


Figure 15 : Teneurs moyennes annuelles en MES (en mg/l) des eaux du canal de Rocade de 2004 à 2009

Le dépouillement des résultats ci-dessus conduit à considérer une valeur de 5 g/l (85% des valeurs sont inférieures de 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 peut atteindre les matières est 50 g/l.

4-4 Vitesse de décantation :

Appelée aussi vitesse de Hazen a été évaluée au niveau de l'étude de l'alimentation en eau potable de secours de la ville de Marrakech et les résultats sont comme suit :

Teneur en MES mg/l	Vitesse de décantation (m/h)	
	Décantation naturelle	Avec réactif
2000 à 6000	0,84	> 1,5

Tableau 4 : vitesse de décantation en fonction de la teneur en MES et la nature de décantation

Ces essais ont été nombreux sur des échantillons de teneur 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 leurs propriétés colloïdales ce qui les rend plus facile à décanter et à flocculer. C'est ce qui explique les vitesses relativement favorables (voire tableau) à la décantation naturelle sans avoir recours au réactif. Sur la base de ce phénomène, on justifie la non utilisation de réactifs accélérant la décantation.

Quatrième chapitre : Qualité des eaux d'irrigation

1- Les Normes de qualité des eaux d'irrigation :

1-1 Pourquoi des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ?

Au Maroc, l'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ; ont des caractéristiques très diversifiées.

De plus, 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
1-Coliformes fécaux	1000/100 ml
2-Salmonelle	Absence dans 5 l
3-Vibrion Cholérique	Absence dans 450 ml

Paramètres Parasitologiques

	valeurs limites
4-Parasites pathogènes	Absence
5-Œufs, kystes de parasites	Absence
6-Larves d'Ankylostomides	Absence
7-Fluococercaires de Schistosoma hoematobium	Absence

Paramètres Toxiques

	valeurs limites
8-Mercure (Hg) en mg/l	0,001
9-Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
10-Arsenic (As) en mg/l	0,1
11-Chrome total (Cr) en mg/l	1
12-Plomb (Pb) en mg/l	5
13-Cuivre (Cu) en mg/l	2
14-Zinc (zn) en mg/l	2
15-Sélénium (Se) en mg/l	0,02
16-Fluor (F) en mg/l	1
17-Cyanures (CN) en mg/l	1
18-Phénols en mg/l	3
19-Aluminium (Al) en mg/l	5
20-Béryllium (Be) en mg/l	0,1
21-Cobalt (Co) en mg/l	0,5
22-Fer (Fe) en mg/l	5
23-Lithium (Li) en mg/l	2,5
24-Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
25-Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
26-Nickel (Ni) en mg/l	2
27-Vanadium (V) en mg/l	0,1

Paramètres Physico-Chimiques Salinité

	valeurs limites
28-Salinité totale (STD) en mg/l	7680
Conductivité électrique (CE) en mS/cm à 25°C**	12
29-Infiltration (SAR)	
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

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

Ions Toxiques (Affectant Les Cultures Sensibles)

	valeurs limites
30-Sodium (Na) en mg/l	
Irrigation en surface (SAR***)	9
Irrigation par aspersion	69
31-Chlorure (Cl) en mg/l	
Irrigation en surface	350
Irrigation par aspersion	105
32-Bore (B) en mg/l	3

Effet divers (affectant les cultures sensibles)

	valeurs limites
33-Température (°C)	35
34-Ph	6,5 à 8,4
35-Matières en suspension en mg/l	
Irrigation gravitaire	2 000
Irrigation par aspersion (localisée)	100
36-Azote nitrique (N-NO₃) en mg/l	30
37-Bicarbonate (HCO₃) [irrigation par aspersion] en mg/l	518
38-Sulfates (SO₄²⁻) en mg/l	250

Tableau 5 : les normes des eaux destinées à l'irrigation.

On doit connaître les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau utilisée en micro-irrigation afin d'éviter des effets négatifs sur les plantes et le colmatage des émetteurs goutte-à-goutte.

1-2 : Caractéristiques physiques :

Il s'agit des particules de sol en suspension dans l'eau. Si aucune précaution n'est prise, ces matières peuvent obstruer progressivement les émetteurs des tuyaux goutte-à-goutte qui ont de très petits orifices. Ce problème se présente le plus souvent lorsqu'on s'approvisionne avec une eau de surface. Les sédiments sont aspirés par la pompe ou entrent en suspension à la suite de l'agitation de l'eau. Un bon système de filtration peut empêcher ces particules d'entrer massivement dans le réseau d'irrigation. La règle du pouce indique que les filtres doivent retenir des particules qui sont jusqu'à dix fois plus petites que le plus petit orifice d'un goutteur qui a environ 1 mm de diamètre. Les particules qui ne sont pas retenues par les filtres sont alors le plus souvent éjectées par les goutteurs à écoulement turbulent généralement utilisés.

Peu importe d'où vient notre eau d'irrigation, on aura toujours au moins un filtre à disque ou à tamis (filtre 200 mesh ou silice n° 16). Si on s'alimente d'un étang ou d'un cours d'eau, où l'eau a généralement davantage de matière organique en suspension, on installera aussi des filtres au sable (media filter), placés en amont du filtre à tamis.

Les filtres, même automatiques, nécessitent de l'entretien. Il faut les contre-laver ou les nettoyer régulièrement et remplacer périodiquement leurs éléments filtrants.

Les particules fines admises dans le réseau doivent être délogées en débloquent les lignes et en les laissant couler librement vers l'extérieur. Le nettoyage se fait en plusieurs étapes en ouvrant chacune des lignes individuellement et non pas toutes ensemble.

1-3 caractéristiques physico-chimiques pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation :

- 1- la salinité : contenu total en sel soluble.
- 2- le sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- 3- l'alcalinité et dureté : concentration d'anions Carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate.
- 4- les bicarbonates (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+})
- 5- le pH de l'eau d'irrigation.
- 6- autres éléments.

Les deux premiers critères sont d'importance majeure, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

- La Salinité :

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), de potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimées en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm). L'ancien nom de cette unité est le mho. Un mmho/cm est l'équivalent de 1 mS/cm qui est l'équivalent de 1 desiemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel.

- **Le Sodium : proportion relative des cations sodium (Na+) par rapport aux autres**

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément est à l'origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques-unes.

- **L'Alcalinité et dureté**

L'alcalinité et la dureté sont deux notions intimement liées au risque de colmatage du système goutte-à-goutte. La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche mère. L'alcalinité, quant à elle, est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le « pouvoir tampon de l'eau ».

Les bicarbonates de calcium et de magnésium sont relativement peu solubles dans l'eau.



Bicarbonate de calcium (peu soluble) = carbonate de calcium (chaux) + dioxyde de carbone + eau

Lorsque l'eau des goutteurs s'évapore, ou encore lorsque le pH ou la température de l'eau d'irrigation change un peu, le bicarbonate de calcium et de magnésium précipite sous forme de paillettes. Celles-ci migrent à travers le réseau et se déposent à l'intérieur des goutteurs, provoquant peu à peu leur colmatage. Pour contrer ce risque, on doit descendre le pH de l'eau sous le pH 7. Des traitements périodiques à l'acide nitrique ou sulfurique vont éliminer ces dépôts. Une fois le processus d'acidification enclenché, la réaction produit alors de l'eau (H₂O), du dioxyde de carbone (CO₂) qui est libéré dans l'air, ainsi que le cation accompagnateur (soit le calcium ou le magnésium).



Bicarbonate de calcium (peu soluble) + (acide) = cation accompagnateur + dioxyde de carbone + eau

Quand vous ajoutez de l'acide pour neutraliser l'alcalinité, vous libérez du fait même le calcium et le magnésium qui, sinon, restent emprisonnés par le carbonate. Vous comprendrez alors qu'il est très important de « casser » cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante.

L'alcalinité, tout comme la dureté de l'eau, est généralement exprimée en ppm (mg/L) de carbonate de calcium (CaCO₃). Il arrive toutefois que la dureté de l'eau soit élevée sans pour autant que son alcalinité le soit. C'est le cas lorsque le calcium et le magnésium de l'eau sont sous forme de sulfates et de chlorures.

- **Le pH de l'eau d'irrigation :**

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution (H⁺). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H⁺, à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0.

Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.

- **Autres éléments :**

Certains éléments de l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques à la culture. Établir des limites de toxicité pour l'eau d'irrigation est compliqué de par les réactions qui peuvent se passer quand l'eau atteint le sol. Les éléments potentiellement dangereux de l'eau peuvent être inactivés par des réactions chimiques ou bien s'accumuler dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes.

Le bore, le sodium et le chlore sont à surveiller. Des excès en bore sont presque tout le temps associés à des puits très profonds qui ont également une forte salinité. Une eau d'irrigation contenant plus de 1 ppm de bore (B) peut causer une accumulation toxique pour les cultures sensibles, tel l'ail, l'oignon, les haricots et les fraises.

Les chlorures peuvent causer des dommages lorsqu'ils sont en trop grande quantité dans l'eau d'irrigation, à plus forte raison lorsque c'est par aspersion.

Les sulfates : le soufre est rarement toxique pour les plantes. Les plantes sont très tolérantes aux sulfates. Leur concentration est généralement mesurée afin d'en prévenir les carences plutôt que d'en vérifier les excès potentiels. Des carences en soufre peuvent être appréhendées si l'eau d'irrigation contient moins de 48 ppm de sulfates.

Le soufre peut parfois occasionner le colmatage. Certaines eaux, facilement identifiables à leur odeur d'œuf pourri, contiennent du sulfure d'hydrogène qui précipite par simple aération.

Le fer : bon pour les plantes mais peut, dans certaines conditions, colmater les émetteurs.

Des niveaux de fer se situant entre 1 et 2 mg/L sont considérés optimaux pour la nutrition de la plante alors qu'à l'opposé, des niveaux supérieurs à 0,1 mg/L de fer ferreux (Fe^{2+}) peuvent causer l'obstruction des émetteurs. En effet, si une oxydation se produit, le fer dissous précipite sous forme d'hydroxyde de fer insoluble (Fe^{3+}). L'oxydation peut se faire soit par agitation de la masse d'eau, par incorporation d'oxygène ou par l'action de bactéries ferrugineuses. Contrairement aux carbonates de calcium, l'action de l'acide ne modifie pas le pourcentage de fer qui précipite.

Lorsque le colmatage est d'origine minérale, deux solutions de traitement sont possibles. La première solution consiste à pomper l'eau souterraine dans un réservoir avant de l'envoyer dans le système d'irrigation en s'assurant qu'il y a une bonne aération dans le réservoir.

L'aération permet la transformation de Fe^{2+} soluble en Fe^{3+} insoluble qui se dépose au fond du réservoir. L'autre alternative consiste à injecter du chlore, un agent oxydant puissant, sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de Javel), pour que le fer précipite et qu'il soit intercepté par le filtre.

1-4 : caractéristiques biologiques :

Il s'agit essentiellement des bactéries et des algues présentes dans l'eau d'irrigation. L'eau pompée directement de puits artésiens pose rarement problème à cet égard. Il peut en être autrement de l'eau de bassin ou de rivières lorsque le nombre de bactéries de tous types dépasse les 10 000/ml d'eau.

Des bactéries individuelles ou des cellules d'algues et leurs résidus organiques peuvent être suffisamment petits pour pouvoir passer au travers des filtres du système d'irrigation et obstruer progressivement les sorties d'eau. En présence de très faibles quantités d'oxygène et de particules organiques en suspension, les bactéries se multiplient et forment des colonies qui prennent l'apparence de traînées gélatineuses, qui peuvent en elles-mêmes

colmater les émetteurs. De plus, ce type de bactéries oxyde certains minéraux comme le fer, le manganèse ou le soufre en composés insolubles, qui viennent aussi colmater les goutteurs.

Les algues sont rarement un problème, car la filtration les élimine presque complètement... mais pas totalement. En guise de précaution, le système doit être composé de matériaux opaques car la lumière facilite beaucoup la croissance des bactéries et celles des algues en suspension.

Il existe un traitement contre le colmatage biologique. C'est l'injection de chlore dans le système d'irrigation goutte-à-goutte. Pour que ce traitement soit efficace, le pH de l'eau doit être en bas de 6,5. Le chlore sous forme d'eau de Javel (hypochlorite de sodium) est un bon bactéricide, facilement disponible et peu dispendieux. Il peut être injecté de façon continue à raison de 0,5 mg/l de NaOCl, ou à haute concentration à intervalles réguliers. L'injection de chlore est une mesure préventive qui n'a que très peu d'effet sur un système déjà colmaté.

1-5 : Quand une eau est-elle conforme à l'irrigation ?

- L'échantillonnage

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.

2- La Turbidité de l'eau d'irrigation :

2-1 : Définition :

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 recroissance de micro-organismes, la remise en suspension de la matière déposée dans les canalisations ainsi que par la corrosion de la tuyauterie.

2-2 : Méthodes d'analyse :

La première méthode de mesure utilisée était le turbidimètre à bougie de Jackson, constitué d'une bougie à luminosité normalisée située sous un tube contenant l'eau à évaluer. Une unité Jackson de turbidité (UJT) correspond approximativement à la hauteur de la colonne d'eau à laquelle la flamme cesse tout juste d'être visible par le dessus de cette colonne.

Bien que l'on retrouve encore des références à la méthode de Jackson, des turbidimètres néphélométriques sont maintenant utilisés; ils mesurent l'intensité de la lumière déviée à un angle de 90° par rapport à la lumière incidente qui traverse en ligne droite l'échantillon à analyser. Un angle de diffusion de 90° est celui qui est le moins sensible à diverses interférences comme la dimension et la forme des particules. Une suspension de formazine est habituellement utilisée comme étalon pour étalonner un néphélomètre. Il est cependant difficile de corréler la turbidité à une concentration massique de solides car la taille, la forme et l'indice de réfraction influent sur la diffusion de la lumière et sont sans lien avec la masse. C'est pourquoi la turbidité est évaluée en unités néphélométriques de turbidité (UNT) et non en termes de concentration de matières en suspension (MES) par volume d'eau (en mg/l, par exemple).

La limite de détection habituelle des néphélémètres utilisée dans les laboratoires est de l'ordre de 0,1 UNT, ce qui correspond à environ 20 particules/ml; une turbidité de 0,5 UNT équivaut à environ 1 000 particules/ml alors que 5 UNT correspondent à environ 20 000 particules/ml.

Une turbidité supérieure à 5 UNT est généralement visible à l'œil, ce qui peut amener la majorité des consommateurs à rejeter une telle eau.

- la Néphélométrie :

On éclaire de l'eau et on mesure le flux lumineux diffusé par rapport au flux lumineux incident :

La valeur du flux diffusé caractérise la diffusion par les particules solides.

Plus il y a de matières en suspension, plus la mesure est élevée.

La mesure du flux lumineux diffusé constitue une mesure néphélométrique lorsque l'observation de la lumière diffusée se fait à 90° par rapport à la direction du faisceau incident.

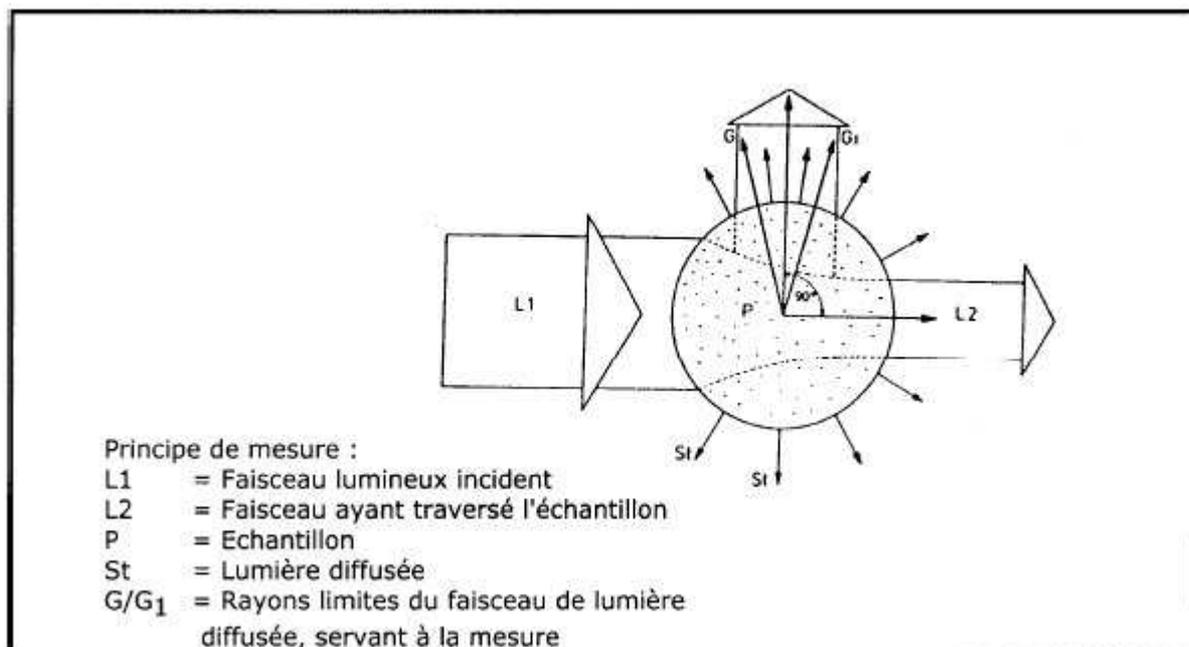


Figure 16 : dispositif de mesure néphélométrique

La mesure du faisceau incident est également effectuée après traversée du milieu afin de compenser les erreurs dues à l'absorption par l'eau, à sa coloration, et au vieillissement des composants électroniques.

- Les normes :

Les mesures de turbidité sont régies par les Normes NF T 90-033 et ISO 7027. L'étalonnage est effectué avec une solution de Formazine de dosage bien précis fixée par la norme.

La mesure donnée doit alors être de 1 NTU (Néphélométric Turbidity Unit) avec un émetteur optique de longueur d'onde = 860 nm (infra rouge proche).

La norme en France impose NTU < 2 pour les eaux destinées à la distribution depuis décembre 2003. (1 NTU en décembre 2008). Une turbidité de 0,5 NTU est une valeur de référence qualité.

NTU < 5 : eau claire ;

5 < NTU < 30 : eau légèrement trouble ;

NTU > 50 : eau trouble.

- Calcul théorique de la turbidité :

Le terme de turbidité est définie par la relation : $\tau = 1/L * \ln (\phi/\phi_0)$

(Loi de diffusion de Beer-Lambert).

τ : turbidité en m^{-1} ou NTU ;

L : distance moyenne parcourue par le faisceau optique en m ;

Φ_0 : puissance lumineuse du rayon émis en Watt ;

Φ : puissance lumineuse du rayon au niveau du capteur optique en Watt.

- Enjeu de la turbidité :

La turbidité joue un rôle très important dans les traitements d'eau.

- Elle indique une probabilité plus grande de présence d'éléments pathogènes. Le ruissellement agricole remet en circulation des germes pathogènes et il existe un lien direct entre pluies et gastroentérites.

- La turbidité perturbe la désinfection. Le traitement par ultraviolets est inefficace et le traitement par le chlore perd son efficacité.

- La matière organique associée à la turbidité favorise la formation de biofilms dans le réseau et par conséquent, le développement de bactéries insensibles au chlore notamment.

- La turbidité révèle une évolution préoccupante de l'état des sols, sur laquelle il faudra être très vigilant.

3- Analyse du système d'irrigation proposé :

3-1 : L'aspersion :

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.

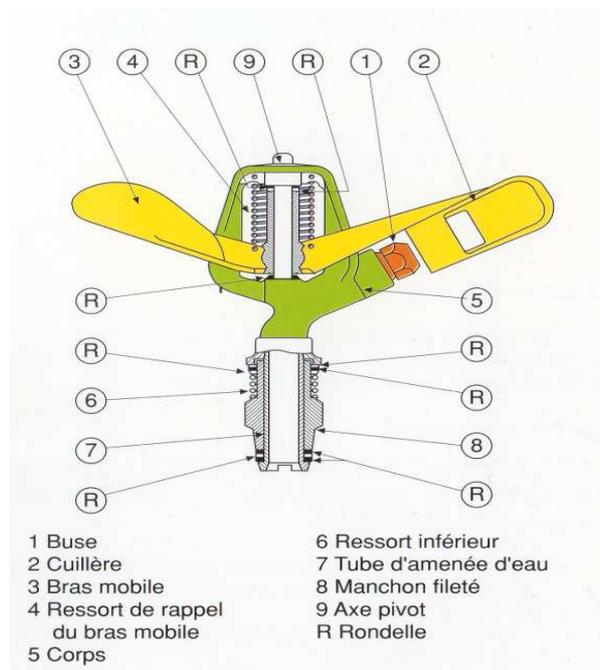


Figure 17 : Schéma d'un asperseur

3-2 : Le goutte à goutte :

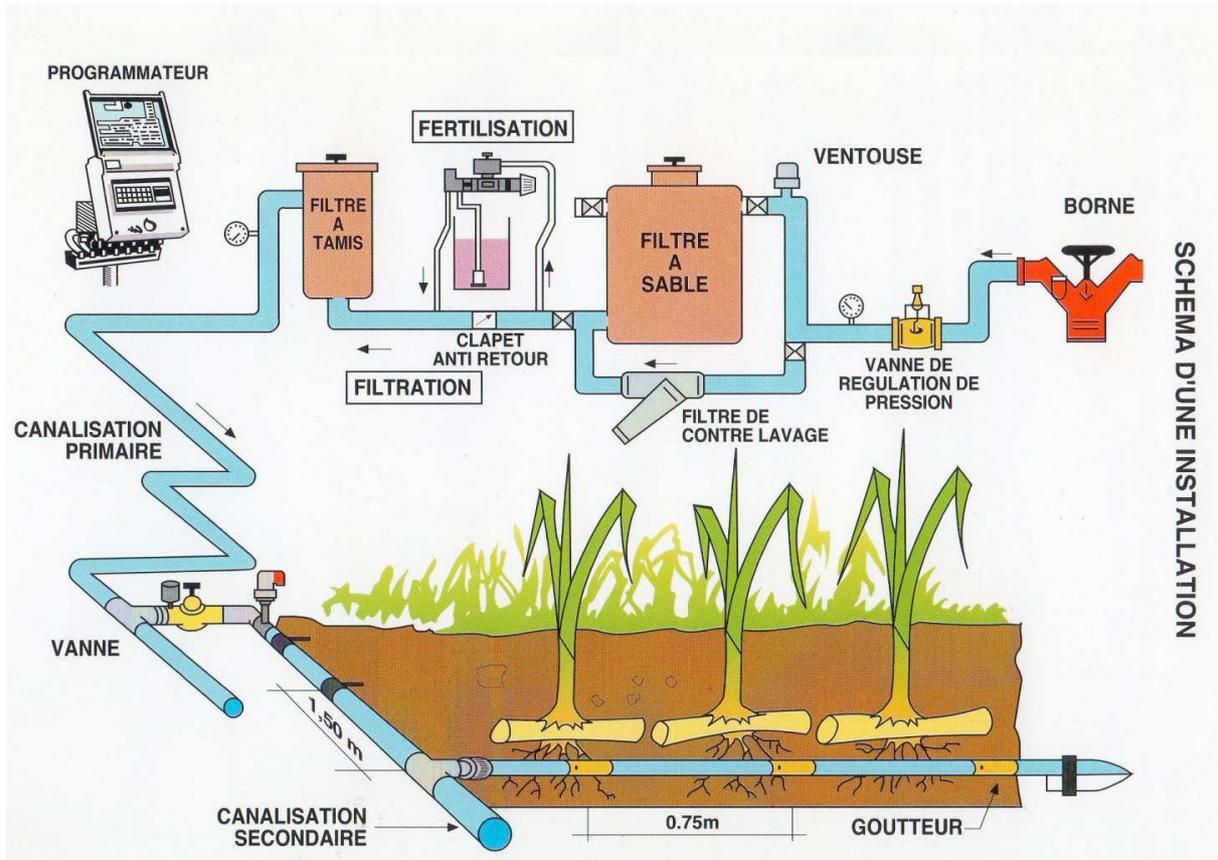


Figure 18 : Schéma d'une installation de goutte à goutte

Système «basse pression» (0,5 à 2 bars), par le biais des goutteurs, l'irrigation goutte à goutte consiste à apporter régulièrement et de façon localisée au niveau des racines, la juste quantité d'eau dont la plante a besoin. Les plus utilisés sont les goutteurs intégrés, les boutons et de moins en moins les goutteurs en ligne. Ces trois types de goutteurs sont des organes de distribution, dont la conception particulière permet de délivrer l'eau à faible débit, dans des conditions de régime turbulent. Ces différents goutteurs existent sous une forme auto-régulante présentant l'avantage de délivrer un débit homogène, même quand la pression varie à l'intérieur d'une gamme.

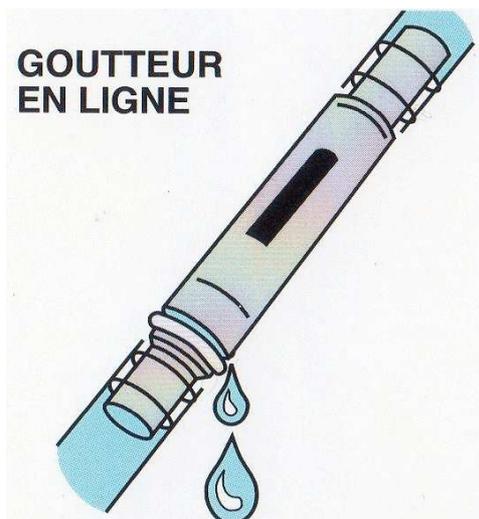


Figure 19 : fonctionnement du procédé du goutte à goutte

3-3 : Avantages et inconvénients :

- **avantages**

Aspersion intégrale	Goutte à goutte
Grande adaptabilité aux différentes conditions de terrain, (climat, sol, pente)	Efficiéce du réseau supérieure à 90 %
Utilisation relativement simple et besoin en entretien restreint	Insensibilité au vent
Levée plus rapide à la plantation et à la reprise de végétation	Possibilité de mécanisation totale en cas de réseau enterré
Humidification de l'atmosphère ambiante qui limite les pertes en évaporation directe	Possibilité d'apporter et de fractionner les engrais et traitements directement par le réseau d'irrigation

- **Inconvénients**

Efficiéce du réseau de l'ordre de 80%	Travail important et soigné de préparation du sol et de pose du matériel
Grande sensibilité au vent qui impose un recouvrement minimum de 75% des surfaces irriguées par poste	Traitement préventif contre l'intrusion des racines à l'intérieur des goutteurs
Création d'une atmosphère humide, propice au développement des maladies cryptogamiques (champignons) et des mauvaises Herbes	Risque important de colmatage nécessitant un équipement performant de filtration, de régulation, ainsi qu'une soupape d'entrée et d'évacuation d'air en cas de réseau enterré
Risque de vol	Travail technique et régulier de vérification et d'entretien de la station de filtration et des lignes de goutteurs

4- Procédés de filtration utilisés dans le traitement de la turbidité des eaux

4-1 : Pourquoi intégrer du matériel de filtration au réseau d'irrigation ?

La station de filtration permet d'arrêter les particules en suspension dans l'eau (sables, limons, argiles, algues, bactéries, etc ...) pour éviter tout colmatage des goutteurs.

Cette station est toujours composée d'au moins deux filtres : le filtre principal et le filtre de sécurité. Elle est dimensionnée en fonction du débit disponible.

4-2 : Les différents types de filtre :

- **Les hydro cyclones** : L'hydrocyclone est un système de filtration permettant d'éliminer par centrifugation le sable en suspension dans l'eau. Ce système est recommandé pour les forages qui sortent beaucoup de sable.

Chaque hydrocyclone est dimensionné pour un débit minimum et un débit maximum. Si le débit est trop faible, la force centrifuge est insuffisante pour sédimenter le sable. Si le débit est trop fort, le sable est entraîné au travers de l'hydrocyclone par effet de turbulence.

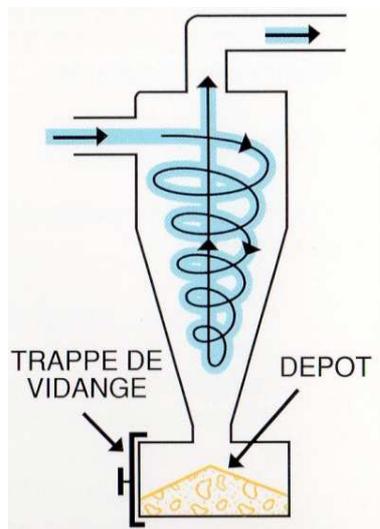


Figure 20 : schéma et photo de l'hydrocyclone

- **Les filtres à disques** : l'élément filtrant est constitué d'un empilement de disques striés formant un cylindre, enfermé dans une cuve étanche en métal ou en plastique.

La circulation se fait de l'extérieur vers l'intérieur, le nettoyage s'effectue en désolidarisant les disques.

La filtration s'opère par le passage de l'eau entre des disques plastiques rainurés serrés les uns contre les autres. Cela se passe donc sur une épaisseur beaucoup plus grande que celle d'un simple tamis.

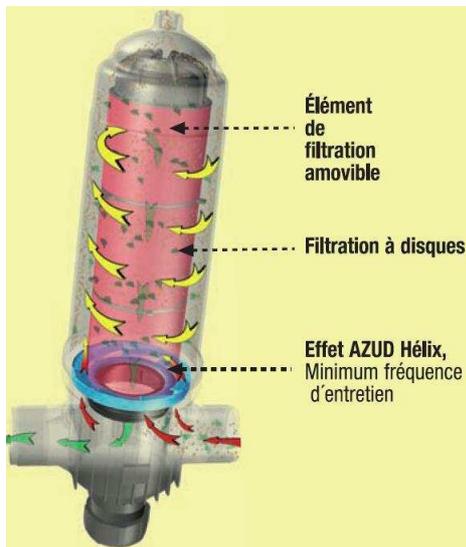


Figure 21: schéma et photo du filtre à disques

- **Les filtres à sable** : il s'agit de cuves métalliques étanches partiellement remplies de sables calibrés. La circulation d'eau se faisant du haut vers le bas, les particules de taille supérieure à 110 microns sont arrêtées par le sable et encrassent le filtre peu à peu. Un contre-lavage, déclenché manuellement ou grâce à un automate, permet en inversant le sens de circulation de l'eau, d'évacuer les saletés et de nettoyer le filtre.

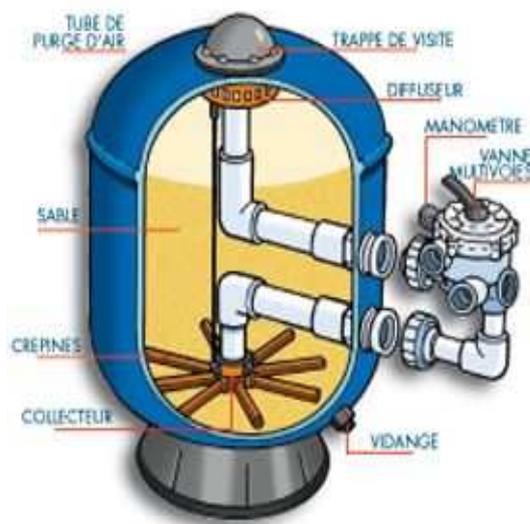


Figure 22: schéma et photo de filtres à sable

- **Les filtres à tamis** : un cylindre constitué d'une toile filtrante en matière plastique ou en acier inoxydable est enfermé dans une cuve étanche. L'eau est filtrée en circulant de l'intérieur vers l'extérieur du cylindre. Comme pour le filtre à sable, l'automatisation du contre

- lavage est réalisable par le réglage d'une horloge et/ou grâce à un appareil (presso stat différentiel). Ce dernier déclenche le lavage dès qu'est détectée une différence programmée des pressions mesurées avant et après le filtre.

Concernant les filtres à tamis et à disques, les mailles de filtration les plus courantes sont 100 microns et 130 microns. Pour des goutteurs à bas débit (moins de 2 l/h), il est préférable d'utiliser une filtration plus fine.

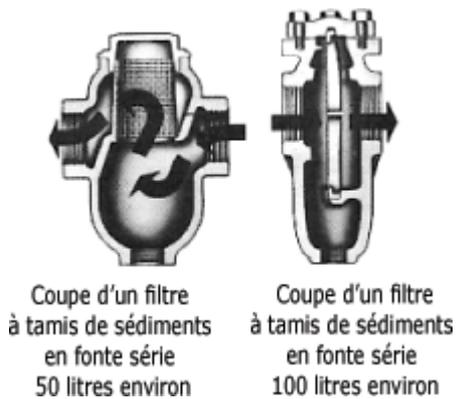


Figure 23 : schéma et photo de filtres à tamis

Cinquième chapitre : Analyse et critique de l'étude recommandée à l'office du Haouz

L'office régional de mise en valeur agricole du Haouz (ORMVAH) a confié à NOVEC (Bureau d'études à rabat), l'étude de la qualité des eaux d'irrigation du secteur du N'fis concerné par le projet de reconversion des systèmes d'irrigation existants à l'irrigation localisée du périmètre du Haouz.

L'objectif de l'étude est de définir les processus de traitement adéquat des eaux du canal alimentant le réseau d'irrigation du secteur précité, ainsi que l'établissement de la note d'orientation sur la pré-filtration et proposition des variantes de filtration concernant le secteur.

1 – Choix de variantes de traitement des eaux brutes :

Le choix des ouvrages à prévoir pour améliorer la qualité des eaux du canal de Rocade doit être appréhendé sur la base des critères techniques et économiques.

Plusieurs types de décanteurs peuvent être utilisés, cependant ils doivent répondre aux exigences suivantes :

- Décantation efficace pour avoir une qualité convenable à l'irrigation ;
- Bonne capacité de concentration des boues ;
- Exploitation et entretien aisés ;
- Encombrement réduit de l'ouvrage ;

Depuis déjà de nombreuses années, des décanteurs plus élaborés ont été mis au point pour la décantation des eaux très chargées et utilisées avec succès dans le monde entier dans de nombreuses installations. Ces appareils autorisent des vitesses de décantation beaucoup plus élevées et de ce fait réduisent considérablement l'encombrement des ouvrages et le cout du génie civil correspondant.

Il s'agit des décanteurs dits lamellaires, ces derniers ne font pas partie de la famille des décanteurs accélérés à circulation de boues. Leur principe est basé sur la décantation naturelle des particules grenues.

Ils permettent une meilleure compacité qui conduit à des économies importantes de place et de coût, une bonne efficacité qui résulte de l'accroissement de la surface de décantation et une fiabilité qui est induite par la simplicité du décanteur.

D'un autre côté, les variantes proposées par l'étude de l'amélioration de la qualité des eaux du canal de Rcade qui se résument en un aménagement du bassin 520 par décantation accélérée (avec réactif) ou par décantation lamellaire, nécessitent des investissements énormes (environ 94 millions Dhs) et des travaux de curage du canal en continu.

En conséquence, il a été décidé de retenir les débourbeurs lamellaires qui présentent plus d'avantage par rapport aux autres solutions. Ce type de décanteur a été préconisé pour le traitement des eaux au niveau de la station de l'ONEP. Lors de la visite de cette station par les concepteurs de l'étude, il s'est avéré que ce système de clarification est efficace pour le traitement des eaux brutes du canal de Rcade.

2 – Principe de fonctionnement du décanteur lamellaire :

La décantation, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée.

Les décanteurs lamellaires utilisent une disposition qui permet d'utiliser aisément cette propriété de la décantation des particules grenues. En effet, si l'on fait cheminer l'eau à traiter entre des plaques parallèles de faible écartement on réalise la disposition recherchée.

Pour permettre l'évacuation facile des boues, il suffit d'incliner les plaques sur l'horizontale d'un angle suffisant pour qu'elles puissent glisser sans s'accumuler.

La vitesse limite de décantation admissible V_e dans un élément peut être approximativement exprimée par la formule suivante :

$$V_e = Q / (n \cdot S \cdot \cos A)$$

Dans laquelle n représente le nombre de lamelles, S la surface élémentaire de chacune d'elle, A l'angle d'inclinaison sur l'horizontale et Q le débit.

La vitesse admissible dépend d'après ce qui précède de la forme, de l'espace entre les parois, de la longueur des éléments et de leur inclinaison.

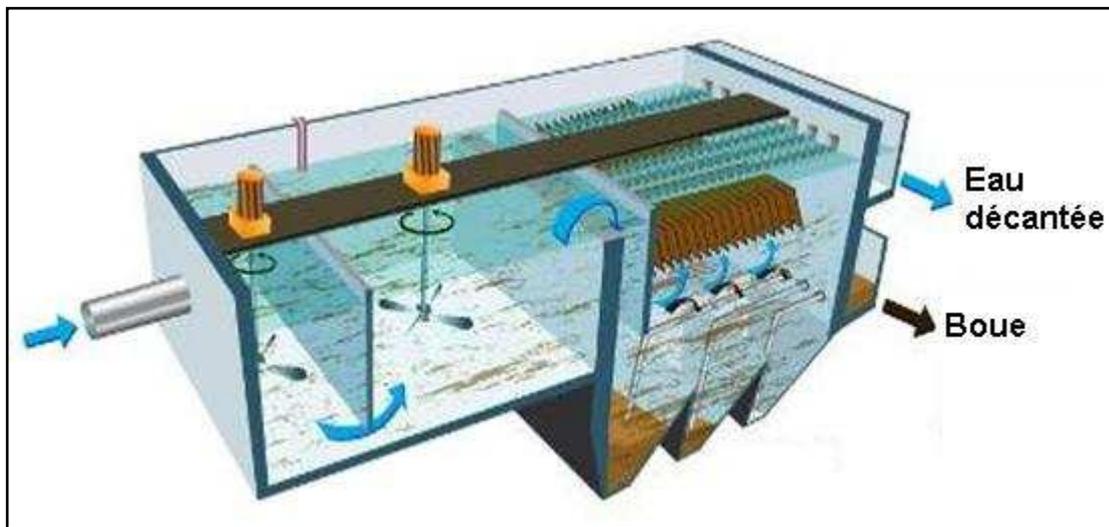


Figure 24 : schéma du fonctionnement du décanteur lamellaire

3 – dimensionnement du débourbeur

3-1 Hypothèses de base :

Les paramètres de base pour le dimensionnement du décanteur lamellaire sont :

- Qualité de l'eau débourbée ;
- Le débit à la sortie des débourbeurs ;
- Les concentrations en MES à considérer ;
- La vitesse de hazen adoptée
- La concentration des boues extraites ;

3-1-1 Qualité de l'eau débourbée :

L'eau d'irrigation provient du barrage. Elle est chargée en matière solide (Sable, argile, autres). L'option de l'irrigation localisée retenue exige une eau limpide contenant moins de 100 mg/l de matières en suspension (MES), conformément à la norme marocaine de qualité de l'eau, jointe au tableau des normes (tableau 5).

Paramètres	Valeurs limites en mg/l
Irrigation de surface	200
Irrigation par aspersion et localisée	100

Avec ce type de décantation, on peut atteindre une efficacité de 80% sans faire recours aux réactifs. Par conséquent, la teneur en MES à la sortie de déboureur sera de l'ordre de 1 g/l. Cette valeur sera améliorée par le système de filtration prévu à l'intérieur du secteur.

3-1-2 Débit d'eau débouree

L'étude d'actualisation de l'Avant Projet Sommaire (APS) du secteur N'Fis montre que la conversion du système d'irrigation exige un débit en tête de secteur de l'ordre de 3130 l/s.

3-1-3 Concentration en MES de l'eau brute :

La teneur en MES de l'eau brute, dans le canal de Rocado, considérée pour le dimensionnement, est de l'ordre de 5 g/l. Cependant, nous étudierons les comportements des ouvrages pour des teneurs supérieures en cas des eaux très chargées de 10 à 50 g/l en MES.

3-1-4 Vitesse de décantation

Il est indispensable, pour pouvoir dimensionner correctement les ouvrages, de se donner une vitesse de décantation. Il s'agit la 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 inférieures à 6 g/l est d'environ 0,84 m/h.

La vitesse de Hazen retenu est de 0,7 m/h, valeur sensiblement inférieur à celle constatée lors des essais.

3-1-5 Concentration des boues

Les qualités de boues à évacuer, surtout pendant les périodes difficiles ; seront importantes il est donc intéressant de concentrer les purges le plus possible, dans la mesure où elles restent liquides et faciles à manipuler.

Selon les expériences de l'ONEP de ce genre, les concentrations de boues obtenues varient entre 120 à 150 g/l. Vu la non utilisation de réactif dans notre cas, il a paru raisonnable d'adopter une valeur minimale de 120 g/l, chiffre qui sera probablement amélioré pendant les périodes de forte turbidité.

3-2 : Note de calcul :

Les dimensions du déboureur, en se basant sur les hypothèses précédentes, seront déterminées en calculant les paramètres suivants :

- Le débit d'eau brute nécessaire ;
- La surface de débouillage ;
- La hauteur totale des déboueurs.

Le débit d'eau brute nécessaire à l'entrée des déboueurs est déterminé par la formule suivante :

$$Q_b = Q_t * C_b / (C_b - C_{e.b} + C_{e.t})$$

Avec : Q_b : Le débit d'eau brute recherché ;

Q_t : Le débit d'eau traitée (3130 l/s)

C_b : Concentration des boues extraites (120 g/l) ;

$C_{e.b}$: Concentration en MES de l'eau brute ;

$C_{e.t}$: concentration en MES de l'eau traitée ;

Nous déduisons de ce qui précède la surface totale de décantation nécessaire en tenant compte de la vitesse de Hazen de 0,7 m/h. Or il a été précisé que les modules adoptés permettent d'utiliser couramment un coefficient V/V_h de 11,3. La surface horizontale de décantation est donnée comme suit : $S = Q_b / (0,7 * 11,3)$

Nous adopterons pour chaque déboureur une section carrée de 20 m de côté, il en résulte que la surface de décantation est un rectangle dont le grand côté est formé par le côté de carré et l'autre réduit de 1 m pour le passage, 60 cm pour l'inclinaison des plaques (du fait de l'angle de 60°) et 20 cm d'environ pour l'épaisseur de la paroi déflectrice. Soit au total 1,8 m environ et une unité de surface réelle de l'ordre de 364 m².

Pour le bon fonctionnement hydraulique, on prend la hauteur des débourbeurs égale à 6,5 m compris la zone de concentration des boues.

Les résultats du calcul sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Hypothèse de calcul		
Qualité d'eau débourbée	g/l	0,1
Débit d'eau débourbée	m³/s	3,1
Concentration en MES de l'eau brute	g/l	5,0
Vitesse de décantation	m/h	0,7
Coefficient de correction de vitesse de hazen	Sans unité	11,3
Concentration des boues	g/l	120
Débit maximal d'eau brute	m³/s	6

Résultat de calcul		
Débit d'eau brute nécessaire	m³/s	3,2
Masse des boues produites/heure	Kg	46 626
Volume correspondant des boues	m³	389
Débit de purge	m³/h	389
Surface horizontale des plaques	m²	1 474

Dimensionnement débourbeur		
Section unitaire	m²	364
Nombre de débourbeur	Nombre	4
Hauteur débourbeur	m	6,5
Zone de concentration	m³	6 605
Temps de séjour de ma boue	h	16

Tableau 6 : Résultat du calcul de dimensionnement des débourbeurs.

D'après ce tableau, pour avoir un débit traité de 3,1 m³/s avec une teneur en MES de départ de 5 g/l, il faut un débit de 3,2 m³/s et quatre débourbeurs de section carrée de 364 m² chacun avec une zone de concentration de volume total de 6 605 m³.

Le calcul effectué correspond à des teneurs en MES de l'eau brute au plus égale à 5 g/l. Il s'avère nécessaire de vérifier les dimensions calculées pour les teneurs supérieures, ne dépassant toutefois pas 50 g/l.

A partir de 10 g/l, le problème de la masse des boues produites se pose avec importance. En effet, il faut un temps minimum de séjour des boues dans la zone de tranquillisation et de dépôt sous les lamelles de l'ordre de 3,5 heures.

Le tableau suivant affiche les débits bruts à traité en cas de forte turbidité.

Teneur en MES (g/l)	Débit brut (l/s)	Débit d'eau traitée (l/s)
10	1 852	1 713
15	1 190	1 052
20	877	738
25	694	556
40	427	288
50	340	201

Tableau 7 : débits bruts à traiter pour des teneurs en MES inférieures à 50 g/l.

Dans le cas des teneurs en MES supérieures à 10 g/l une réduction de débits bruts est indispensable pour limiter la production des boues extraites, donc avoir un temps de séjour nécessaire pour la concentration des boues.

Par conséquent, le débit traité dans les périodes difficiles diminue en fonction de la charge des eaux brutes, ceci nécessite une autre source pour assurer l'irrigation au niveau du secteur, surtout que la tolérance des systèmes localisés est très faible vis-à-vis la disponibilité d'eau. La possibilité d'une connexion avec le barrage de Lalla Takerkoust constitue une solution à étudier pour satisfaire les besoins de secteur en eau d'irrigation.

4 – Station de filtration

4-1 : Rôle de la filtration

Dans les systèmes d'irrigation localisée, la filtration de l'eau est essentielle pour éviter d'endommager les distributeurs par le bouchage. Le type de filtres utilisés dépend du type d'impuretés contenues dans l'eau et du degré de filtration requis par les distributeurs.

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

- * Les particules en suspension de matières organiques ou inorganiques
- * Les éléments constituants précipités (fer, manganèse, calcium, magnésium)
- * Les vases bactériennes

Trois types de colmatage sont distingués : le colmatage biologique causé par les algues, les bactéries, les champignons, le colmatage physique dû à la présence de dépôt de particules

fines de sable, limon, argile, et le colmatage chimique dû au problème de précipitation calcaire ou cimentation de limon ou d'argile.

L'obstruction des goutteurs est l'inconvénient majeur des réseaux goutte à goutte. Il est difficile et coûteux de repérer, nettoyer ou remplacer un goutteur obstrué. L'obstruction entraîne aussi une mauvaise répartition du débit le long des rampes, ce qui peut diminuer sérieusement le rendement.

4-2 : Options proposées : filtration collective ou individuelle

D'après l'étude d'actualisation de l'APS du secteur N'fis, le choix de disposition et de conception ont été proposés, comme suit :

4-2-1 : La filtration commune en tête du secteur

La filtration commune en tête du secteur a été écartée au niveau de l'APS. Cette décision a été justifiée par l'insuffisance de la pression actuelle dans les blocs pour vaincre une perte de charge supplémentaire de l'ordre de 1 à 1,5 Bars en tête de secteur.

4-2-2 : La filtration commune au niveau du bloc :

A ce niveau, trois schémas de disposition des filtres ont été présentés :

- Schéma A : en aval immédiat de la borne actuelle ;
- Schéma B : en aval du point de contrôle dont le débit nominal varie en général de 5 à 18 m³/h ;
- Schéma C : en aval du point de contrôle et pour un débit minimal de 36 m³/h.

4-2-3 : La filtration individuelle

C'est le schéma recommandé par l'ORMVAH et retenu au niveau de l'APS. Il Consiste en l'installation des équipements de filtration au niveau des prises des propriétés (c'est-à-dire au niveau des utilisateurs agricoles)

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :

D'après les résultats de l'analyse des eaux du canal de Rocade, les risques de colmatage ne se posent pas sévèrement, vu que les particules en suspension ont généralement des tailles inférieures à 80 microns (composition argilo-limoneuse). Elles sont donc plus petites que le diamètre du goutteur. Cependant, le risque qui peut être engendré suite à la turbidité des eaux est la sédimentation de ces particules au niveau des rampes, influençant ainsi le bon fonctionnement des goutteurs.

Le dépôt de ces particules dans les conduites peut être corrigé par des opérations de vidanges du réseau d'irrigation à la parcelle. Chose qui nécessite une sensibilisation des agriculteurs sur l'ampleur de la problématique. Le décanteur est une solution incontournable certes, mais l'implication des agriculteurs demeure un facteur indispensable pour garantir la réussite du projet de conversion.

Le choix d'une filtration commune sera sans utilité du fait que les particules ne seront pas retenues et vont se déposer au niveau de la rampe. L'installation d'une station pour filtrer une qualité d'eau pareille ne sera pas justifiée. On appuie donc la variante proposée au niveau de l'Avant Projet Sommaire, qui est la filtration individuelle dont le rôle est de minimiser le passage des particules qui peuvent éventuellement boucher les goutteurs.

Or trois types de filtres avec contre-lavage automatique peuvent être envisagés au niveau de la parcelle : filtration à sable, filtration à disques et filtration à tamis (à maille). De l'analyse des avantages et inconvénients des différents types de filtres, ressortent les conclusions suivantes : le filtre à sable a été rejeté pour la complication de l'opération d'entretien et de maintenance. Quand aux filtres à disques et à tamis, tous les deux peuvent bien fonctionner s'ils sont adéquatement dimensionnés et installés. Cependant, les filtres à tamis ne sont pas efficaces pour des eaux riches en matières organiques (algues). On a donc retenu les filtres à disques pour leur efficacité contre les algues et leur haute qualité de filtration.

Cette reconversion de la technique d'irrigation vers le système du goutte à goutte a, dans l'ensemble, permis une optimisation de la consommation des eau d'irrigation et a permis des rendements agricoles satisfaisants. L'élargissement du projet au maximum des périmètres irrigués est vivement souhaité.

Bibliographie

- Alahiane Naima (2002), Gestion de l'eau d'irrigation dans le périmètre du Haouz. Rapport de ISTP, Marrakech.
- FINET Arnaud (2002), Diagnostic des systèmes de production du périmètre irrigué du N'Fis (Maroc), un aménagement aux résultats contradictoires, Mémoire de fin d'études de diplôme d'ingénieur en agriculture. Centre National d'Etudes Agronomiques des régions Chaudes. France, 89 p.
- Ministère de l'agriculture, les eaux et forêts Marrakech. Fiche de synthèse ; Etude et aménagement Anti-Erosif du bassin versant de L'oued Lakhdar en Amont du Barrage Sidi Driss. Rapport interne.
- Ministère de l'agriculture et de développement Rural et des pêches maritimes (2007), Programme national d'économie d'eau en irrigation.
- 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. Note d'orientation.
- PASCON Paul (1977). Le Haouz de Marrakech, Tome 1, Editions Marocaines et Internationales, Rabat. 687 p
- Sabir Mohamed (2004) Quelques techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de lutte anti-érosive dans le bassin versant de Sidi Driss, Haut Atlas central, Maroc. Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs. Rapport interne, 8 p.

Références électroniques :

- www.eau-tensift.net/fileadmin/userfiles/pdf/publication/3-irrigation.pdf
- www.agrireseau.qc.ac/hotculture-pepiniere/documents/couture-Isabelle.pdf