

## EDITORIAL

Le 26 avril 2002, les deux Associations ANAFID et AMSSOL ont organisé à l'Ecole Nationale de l'Agriculture de Méknes une table ronde sur le thème «Rationalisation de l'utilisation des engrais et des pesticides et la protection des ressources en eaux et en sol». Ont participé à cette table ronde environ une soixantaine de personnes représentant les différentes structures (administrations, institutions de recherche, institutions d'enseignement et de recherche, ORMVA etc) œuvrant dans les domaines liés aux thèmes objets de cette manifestation.

Suite aux prestations et débats qui ont eu lieu de cette table ronde, un certain nombre de constatations et recommandations ont été formulées. Il s'agit notamment de ce qui suit.

### I- CONSTATIONS GLOBALES :

- Une faible utilisation des engrais à l'échelle nationale en comparaison avec d'autres pays méditerranéens, et une forte utilisation dans les zones irriguées qui ne représentant que 13% de la SAU totale ;
- Plusieurs travaux ont été réalisés sur l'utilisation des engrais et sur leur impact sur la qualité des eaux et des sols. Ces travaux méritent d'être rassemblés et synthétisés ;
- La pollution par les nitrates des eaux souterraines semble être plus liée aux sources ponctuelles de pollution. La pollution diffuse est localisée dans des zones très vulnérables (ex. Mnasra, Rmel ou Loukkos ...) ;
- La surexploitation des ressources en eau souterraine ;
- Le non respect de la réglementation marocaine en vigueur relative à l'utilisation des pesticides. A titre d'exemple les organos chlorés continuent à être utilisés ;
- L'obligation de la réalisation des études d'impact sur l'environnement dans les zones où il y a des projets d'aménagement est jugée par l'ensemble des participants d'un grand intérêt national ;
- La dégradation des sols et des eaux suite à une utilisation non rationnelle compromet de plus en plus la durabilité de ces deux ressources naturelles.

### II- RECOMMANDATIONS :

- Engager un diagnostic national minutieux sur l'utilisation des engrais et des pesticides ;
- Encourager les travaux de recherche ayant pour but une rationalisation de l'utilisation des intrants agro-chimiques pour la constitution d'une base de données ;
- Mettre en place un «comité national nitrate» au Maroc ;
- Installer des cellules régionales de ferticonseil au niveau des CT, des CMV et des CDA ;
- Insister auprès des autorités compétentes sur l'application des textes de lois en vigueur sur la préservation et l'utilisation des ressources en eaux et en sols ;
- Encourager les échanges d'informations entre les ORMVA pour mieux profiter des expériences des uns et des autres ;
- Doter les cellules qui travaillent sur la protection de l'environnement dans les ORMVA et les DPA de moyens matériels et humains nécessaires ;
- Mettre en place un programme de formation sur la rationalisation de l'utilisation des intrants et sur la protection des ressources en eau et en sols au niveau des ORMVA et des DPA ;
- Organiser une journée d'étude sur l'utilisation des pesticides ;
- Encourager les agriculteurs à recourir davantage aux analyses de laboratoire pour mieux fertiliser les cultures ;
- Mettre des programmes de diffusion de ces messages auprès du grand public à travers les médias (TV, Radio et les journaux).

Mr. BEKKALI, Président de l'ANAFID  
Mr. BADRAOUI, Président de l'AMSSOL  
Mr DEBBARH, Directeur de l'ENA de Meknès

## MOT D'OUVERTURE DE MONSIEUR LE PRESIDENT DE L'ANAFID

*Mesdames et messieurs,*

C'est avec un grand plaisir que je vais procéder à l'ouverture de ce séminaire, qui entre dans le cadre des activités des comités techniques de l'ANAFID et plus particulièrement du Comité Environnement.

*Mesdames et messieurs,*

Comme vous le savez, l'agriculture constitue le secteur économique le plus important de par sa contribution à l'autosuffisance alimentaire, la création d'emplois dans le milieu rural et le rôle moteur du développement rural de façon générale.

L'agriculture a été caractérisée durant les trois dernières décennies par un développement important de l'agriculture intensive dans les périmètres irrigués, basée sur l'irrigation et l'usage plus ou moins poussé des intrants (engrais et pesticides). Ces derniers contribuent, de façon certaine, dans l'amélioration de la productivité, et par conséquent, dans la réduction du déficit que connaît le pays dans plusieurs denrées alimentaires de base.

Or, l'utilisation de ces produits, de façon anarchique, constitue un danger sur l'environnement : ressources en eau et en sol, santé des populations et également sur les possibilités d'export de nos produits.

*Mesdames et messieurs,*

L'objet du présent séminaire, organisé conjointement par l'Association Nationale de l'Amélioration Foncière, de l'Irrigation et de Drainage (ANAFID) et l'Association Marocaine des Sciences de Sol (AMSSOL), est de faire l'état des lieux des ressources en eau et en sol dans les différents périmètres irrigués du Royaume. Une attention particulière sera accordée aux efforts déployés par les différents acteurs publics, privés et ONG en matière de protection et de gestion durable des ressources en eau et en sol.

Le séminaire sera organisé en deux séances : la première durant la matinée sera réservée aux exposés introductifs sur l'utilisation des intrants et leurs impacts sur les ressources en eau et en sol dans les périmètres irrigués ; la deuxième séance, durant l'après-midi, sera réservée aux études de cas sous forme d'une table ronde

*Mesdames et messieurs,*

En nous félicitant tous de l'organisation de ce séminaire qui porte sur un sujet d'actualité, je tiens à féliciter les deux comités de l'ANAFID et de l'AMSSOL qui ont travaillé durablement pour l'organisation de ce séminaire.

Je tiens également à remercier Mr EDDEBAGH, Coordinateur des comités techniques à l'ANAFID et Directeur de l'ENA qui a accepté avec grande joie d'accueillir ce séminaire chez lui ainsi que tous ses collaborateurs. Mes remerciements vont également à tous les intervenants durant ce séminaire et à l'ensemble des participants et je vous souhaite bonne réussite dans cette journée.

Nous attendons vos recommandations qui seront certainement pratiques et faciles à mettre en œuvre et feront l'objet d'articles de notre revue "Hommes, Terre et eaux".

Mr. BEKKALI, Président de l'ANAFID

# LA RATIONALISATION DE L'UTILISATION DES ENGRAIS ET PESTICIDES ET LA PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL DANS LA REGION DU LOUKKOS

M. Achkar<sup>1</sup>

## RESUME

L'impératif de l'intensification agricole confère à l'irrigation un rôle stratégique prépondérant en raison de la contribution des aménagements hydro-agricoles au développement et de l'étroite corrélation entre l'évolution PIB et PIBA (18%) ;

La région du Loukkos connaît : un taux de croissance démographique relativement élevé, une intense activité culturelle des secteurs irrigués, l'installation d'un tissu industriel important surtout des unités agro-alimentaires, des précipitations importantes, des ressources en sols très diversifiées et abrite également des zones humides d'une importance internationale (Merja Zerga).

La stratégie de mise en valeur agricole dans le périmètre du Loukkos repose sur la promotion de filières prioritaires, tout en visant un développement harmonieux de l'ensemble des cultures au niveau du périmètre y compris en Bour.

La quantité totale d'unités fertilisantes consommée est de 20.000 tonnes/an. Les secteurs irrigués, qui représentent 25% de la SAU, consomment 12.078 tonnes, soit 67% de la quantité totale. Le secteur R'mel-Drarder consomme 7.945 tonnes, soit 44% de la quantité totale et 4.250 tonnes d'unités fertilisantes azotées, soit environ 46,5%

La diversité des pesticides utilisés dans la région est importante, plus de 80 spécialités différentes. Les principales cultures consommatrices des pesticides par ordre hiérarchique sont: La fraise, la pomme de terre, la tomate industrielle les agrumes, l'arachide, la canne à sucre.

Le réseau de suivi se base sur les actions suivantes : Suivi de la qualité des eaux souterraines et superficielles, Suivi de la qualité physico-chimique des sols des secteurs irrigués et Suivi de la nappe du R'Mel-Darder .

A l'exception des eaux des collecteurs d'assainissement du Secteur Plaine du Loukkos à qualité moyennement dégradée, les eaux superficielles sont peu dégradées ;

Les eaux souterraines du Secteur R'mel présentent par endroits des teneurs en nitrates > 50mg/l (surtout les puits proches des agglomérations).

Les sols présentent une légère transformation de leur ambiance physico-chimique, une légère diminution de leur fertilité organique et minérale (secteur Plaine).

La remontée de la nappe au niveau du secteur R'mel a touché une superficie de 850 ha; ceci a amené l'ORMVAL en 1990 à la mise en place d'un réseau d'assainissement par des collatures à ciel ouvert (environ 160Km).

## INTRODUCTION

La variabilité des conditions climatiques et la limitation des ressources en eau font que l'irrigation au Maroc est un impératif technique et économique pour :

- \* assurer la sécurité alimentaire du pays;
- \* améliorer les revenus des agriculteurs;
- \* protéger les ressources naturelles ;
- \* favoriser l'intégration de l'agriculture marocaine au marché national et international.

L'impératif de l'intensification agricole confère à l'irrigation un rôle stratégique prépondérant en raison d'une :

- \* Contribution au développement : emplois, valeur ajoutée, balance commerciale, développements d'activités industrielles ...etc. ;
- \* Corrélation entre l'évolution PIB et celle du PIBA = 18% en moyenne.

La surexploitation des ressources naturelles est à l'origine de problèmes environnementaux tels que: la désertification, l'érosion des sols ,la pollution des eaux ...etc.

Le coût annuel de la dégradation de l'environnement a été évalué à environ 10% du PIB.

## CARACTERISATION DE LA REGION DU LOUKKOS

Cette région connaît :

- \* Un taux de croissance démographique 2,62%/an (population 478.000 habitants) ;
- \* Une intense activité culturelle des secteurs irrigués ;
- \* Un tissu industriel important d'environ 42 unités dont 26 de type agro-alimentaire ;
- \* Des précipitations 700mm/an en moyenne(700 Mm3 / 91 Mm3 nappe du R'mel);

- \* Des ressources en sols très diversifiées(147.500Ha de SAU) ;
- \* Elle abrite des zones humides: Merja Zerga - Ain Chouk ;

Toutefois, le développement urbain conjugué aux activités industrielles et agricoles a engendré certains problèmes environnementaux qui sans doute, s'accroîtront si l'on n'intervient pas à temps pour atténuer leurs effets sur la dégradation des ressources naturelles .

## UTILISATION DES ENGRAIS ET PESTICIDES DANS LE PERIMETRE DU LOUKKOS

**Occupation des sols et rendements des cultures**

La zone d'action de l'Office est dominée essentiellement par les grandes cultures, les agrumes, l'arachide et les cultures maraîchères (la pomme de terre et le fraisier). D'autres cultures

<sup>1</sup> Ingénieur Agro-Pédologie Chef du Bureau Environnement / ORMVA du Loukkos

**Tableau 1: Occupation des sols**

R'mel/Drader		Plaine/Basses Collines	
Cultures	Sup.(Ha)	Cultures	Sup.(Ha)
* Blé tendre	0,6	* Blé tendre	0,3
* Canne à sucre	1,0	* Canne à sucre	1,5
* Pomme de terre de saison	1,2	* Betterave à sucre	0,8
* Pomme de terre d'arrière saison	0,2	* Maraîchage d'été (Tomate)	0,4
* Arachide	2,5	* Bersim	0,2
* Fourrage (surtout Orge)	0,3	* Mais fourrager	0,2
* Divers	0,2	* Divers	0,1
<b>Total</b>	<b>6,0</b>	<b>Total</b>	<b>3,5</b>
<b>Taux d'Intensité Cultural</b>	<b>120%</b>	<b>Taux d'Intensité Cultural</b>	<b>117%</b>

Source : ORMVAL campagne 1996/97

industrielles comme la tomate et le Niora commencent à connaître un développement significatif dans la région.

La taille de l'exploitation type dans le secteur R'mel/Drader est de 5 Ha et représente environ 80% de l'effectif des exploitations ;

La taille de l'exploitation type dans le secteur Plaine/Basses collines est de 3 Ha et représente environ 54% de l'effectif des exploitations ;

Les assolements pratiqués au niveau des exploitations-types des secteurs irrigués se présentent comme suit :

En plus des cultures habituellement pratiquées, on note l'introduction d'autres cultures sous irrigation localisée surtout pour le secteur R'mel/Drader : Canne à sucre, Pomme de terre de saison, Fraisier et Melon sous abri et agrumes .

La stratégie de mise en valeur agricole dans le périmètre du Loukkos ,s'inscrit dans le cadre des orientations générales de la politique du Ministère de l'agriculture , elle tient compte des atouts du périmètre et des contraintes qui pèsent sur le développement agricole, et repose sur la promotion de filières prioritaires ,tout en visant un développement harmonieux de l'ensemble des cultures au niveau du périmètre y compris en Bour.

Les secteurs irrigués ,qui représentent 25% de la SAU, contribuent au développement par leurs effets directs et indirects avec :

\* Emplois : génèrent plus de 60% du Nombre Total des Journées de Travail

\* valeur de production : réalisent environ 50% de la Valeur de Production Totale

**Cycles des principales cultures pratiquées**

Ces données sont très importantes dans l'évaluation du risque de lixiviation de nitrates et/ou de pesticides pour trois raisons essentielles :

\* La position du cycle par rapport au régime pluviométrique;

\* Le taux de couverture du sol;

\* Confrontation de ces données avec celles relatives à la consommation des produits agrochimiques par les différentes cultures pratiquées.

A ce niveau, il y a lieu de constater que la plupart des cultures occupent une

grande place pendant la période hivernale et printanière. Durant cette période, l'essentiel de produits agrochimiques est utilisé.

**Principales rotations des cultures**

Les principales rotations de cultures sont suivantes :

- Secteur R'mel/Darder :
  - Pomme de terre primeur - arachide variété "Haimer" - Pomme de terre d'arrière saison ;
  - Pomme de terre primeur - arachide variété " jumbo" – Pomme de terre primeur ;
  - Pomme de terre - blé tendre – Pomme de terre ;
  - Canne à sucre (sur 3 années / fin vers février) – arachide ;
  - Jachère - fraise- fraise- (melon ou pastèque ou tomate).
- Secteur Plaine/Basses collines :
  - Canne à sucre (sur 5 - 6 années) - Fourrages ;
  - Betterave à sucre - Céréales - Fourrages;
  - Betterave à sucre - Céréales/ Betterave à sucre - Fourrages.
- Bour:
  - Betterave à sucre - Céréales - Fourrages;
  - Betterave à sucre - Céréales - Légumineuses;
  - Céréales - Légumineuse - Fourrages;
  - Céréales - Tournesol - Fourrages .

Cet aspect de rotation des cultures est aussi d'une importance capitale par rapport à la thématique , surtout pour le Secteur R'mel/Darder dans la mesure où la majorité des agriculteurs ne tiennent

**Tableau 2 : Production Végétale**

Cultures	Superficie (Ha)	Rendement (T/Ha)	Production (T)	Nombre Journées de Travail	Valeur Production (milliers DH)
<b>IRRIGUE</b>	<b>33.423</b>			<b>4.544.705</b>	<b>1.022.750</b>
* C. Sucrières	7.400	74,65	552.410	576.000	165.211
* Céréales	5.556	4,57	25.391	126.025	97.279
* Maraîchage	8.265	33	272.745	2.560.000	482.000
* Arachide	10.283	2,55	26.220	1.009.350	209.760
* Arboriculture(agrume)	1.919	28,56	54.800	273.330	68.500
<b>BOUR</b>	<b>99.252</b>			<b>2.969.886</b>	<b>1.170.052</b>
* C. Sucrières	2.075	63,53	131.842	228.250	51.418
* Céréales	59.067	3	179.293	874.925	480.037
* Légumineuses	7.744	0,9	7.164	232.320	60.894
* Fourrages	9.376	35,46	332.554	853.216	415.692
* Maraîchage	6.092	14,86	90.585	300.000	110.515
* Tournesol	6.847	1,15	7.874	239.645	31.596
* Arboriculture(Olivier)	8.051	0,7	5.690	241.530	20.000
<b>Total Périmètre</b>	<b>132.675</b>			<b>7.514.591</b>	<b>2.192.802</b>

pas compte des arrières effets des cultures précédentes en matière de reliquat d'éléments nutritifs dans le sol. Ceci génère inéluctablement un excès potentiellement lixiviable.

### Irrigation

Cette pratique influence fortement la mobilité des produits agrochimiques et particulièrement dans les sols de texture légère (Secteur R'mel/Drader).

La disponibilité des eaux souterraines semble induire des mutations dans les systèmes de culture rencontrés. Ainsi on trouve des parcelles irriguées au goutte à goutte qui autrefois étaient irriguées par aspersion et ce suite à l'introduction de nouvelles cultures telles que la tomate et le poivron.

La rentabilité de la fraise et par suite son expansion au dépens des jachères dans le Secteur R'mel/Drader semble apporter la technologie en matière de fertigation (irrigation fertilisante) et

d'infrastructure pour mener d'autres cultures telles que le melon et la pastèque.

### Utilisation des engrais minéraux

Les principales formes d'engrais utilisés sont les suivants :

- \* Ammonitrate ou nitrate d'ammonium ((NH<sub>4</sub>)(NO<sub>3</sub>)) à 33.5 %N ;
- \* Sulfate d'ammonium ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à 21 % N ;
- \* Urée ((CO)(NH)<sub>2</sub>) à 46%N ;
- \* Triple Super Phosphate ou TSP à 45% ;
- \* Le phosphate Mono-Ammonique (MAP) à 12N-55%P ;
- \* Sulfate de potassium K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 48 % ;
- \* Nitrates de potassium (13N-46%K) ;
- \* 8-18-25c / 18-9-17, utilisé pour la CAS en sols légers ;
- \* 8-33-10/24-12,5-7, utilisé pour la CAS en sols lourds ;
- \* Le 14-28-14, engrais très communément utilisé au Maroc.

Les formes d'engrais les plus utilisées

en fertigation sont les suivantes :

- \* L'Ammonitrate ou nitrate d'ammonium 33.5 %N
- \* Le MAP (12 N-55 %P)
- \* Le nitrate de potasse (13N-46% K)
- \* Le sulfate et/nitrate de magnésium (11N-16 % Mg)
- \* Le nitrate de calcium (17N-33,6% Ca)
- \* L'acide nitrique qui apporte l'azote sous forme nitrique mais son but est aussi d'éviter le bouchage des goutteurs.
- La quantité totale d'unités fertilisantes consommée est de 18.104,27 tonnes = 20.000 tonnes ;
- Les secteurs irrigués, qui représentent 25% de la SAU, consomment 12.078 tonnes, soit 67% de la quantité totale ;
- Le secteur R'mel-Drader consomme 7.945 tonnes, soit 44% de la quantité totale et 4.250 tonnes d'unités fertilisantes azotés, soit environ 46,5% de la quantité totale.

Comme on peut le constater, les cultures les plus consommatrices d'engrais et

### Doses d'engrais appliquées pour les principales cultures

Tableau 3 : Utilisation des Engrais

Cultures	Sup. (Ha)	Qtité d'Engrais (Kg/Ha)			Fréq Util. (%) *	Qtité Totale d'Engrais (En Tonne)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		<b>IRRIGUE</b>	<b>33.423</b>					<b>5.853,82</b>
* C. Sucrières	7.400							
+ C. à sucre	5.200	175-200	55	35-102	100	910-1.040	286	182-530,5
+ B. à sucre	2.200	155	126	63	-	341	277,2	138,6
* Céréales	5.556	67- 97	42-56	21-28	-	372,2-539	233,4-311,1	116,6-155,7
* Maraîchage	8.265							
+ Tomate ind.	1.417	153-400	200-250	288-440	100	216,8-556,8	283,4-396,7	428-623,5
+ P.de terre	2.719	296-600	50-255	110-350	-	805-1.631,4	136-693,3	293-951,6
+ Fraisier	1.624	160-400	100-140	70-155	-	259,8-641,6	162,4-227,4	113,7-251,7
+ Melon -Pastèque	1.650	60	28	14	-	99	46,2	23
+ Niora	855	130-160	114-225	180-220	-	111,2-138,8	97,5-192,4	153,9-188,1
* Arachide	10.283	115-180	0-80	0-85	-	1.263,1-1.977,1	878,7	933,6
* Agrumes	1.919	54-132	45-54	94-96	-	103,6-253,3	86,35-103,6	180,4-184,2
<b>BOUR</b>	<b>99.252</b>					<b>3.227,4</b>	<b>1.841,64</b>	<b>907,24</b>
* C. Sucrières (BAS)	2.075	155	126	63	100	321,6	261,45	130,72
* Céréales	59.067	60-67	28-42	14-21	60	2.126,4-2.374,5	992,3-1.488,5	496,2-744,2
* Légumineuses	7.744	14	28	14	10	10,85	21,7	10,85
* Fourrages	9.376	60	28	14	30	168	78,4	39,2
* Maraîchage(Melon)	6.092	60	28	14	60	219,3	102,34	51,17
* Tournesol	6.847	60	28	14	60	246	114,8	57,4
* Olivier	8.051	14	28	14	10	11,2	22,54	11,2
<b>Total Périmètre</b>	<b>132.675</b>					<b>9.131,22</b>	<b>4.791,51</b>	<b>4.181,54</b>

(%)\* : Fréquence d'utilisation par les agriculteurs

particulièrement azotés qui génèrent la pollution nitrique sont : la pomme de terre, le poivron, le fraisier, la canne à sucre et la tomate industrielle. Ceci confirme encore une fois qu'un grand effort mérite d'être déployé en matière de rationalisation de fumure. Ces excès peuvent encore être majorés lorsqu'on considère le fait que les agriculteurs ne comptabilisent pas les éléments nutritifs et particulièrement azotés fournis par la fumure organique.

### Fumure organique

Dans la région, la fumure organique est une pratique assez bien répandue comparativement aux autres périmètres irrigués du Maroc. Cela est attribué en grande partie à la nature sablonneuse des sols (Secteur R'mel/Drader).

En effet, il est admis que les amendements organiques permettent d'améliorer la structure des sols, la rétention en eau et les éléments nutritifs.

Toutefois, et comme il a été souligné auparavant, les agriculteurs ne comptabilisent pas les éléments nutritifs véhiculés par le fumier dans l'élaboration du plan de fumure minérale. Cela génère automatiquement un excès en ces éléments et particulièrement en azote.

Le produit le plus utilisé est le fumier frais. Celui-ci a deux inconvénients majeurs : la dissémination des agents pathogènes et des graines de mauvaises herbes. Par conséquent, les agriculteurs sont obligés d'appliquer encore davantage de pesticides.

Selon les données d'enquête, l'apport de fumier de fumier concerne essentiellement les cultures suivantes :

- \* La pomme de terre à raison de 50 - 60 tonnes /Ha
- \* L'arachide si le est la canne à sucre à raison de 25 T/Ha
- \* les parcelles de fraisier à raison de 40 à 60 T/Ha.

Consommation en produits phytosanitaires

Aperçu sur les pratiques de traitements  
Traitement du sol

On note que parmi toutes les cultures pratiquées dans la zone, seule la fraise fait l'objet de traitements du sol par les pesticides. Il s'agit de la désinfection du sol avant plantation par le Bromure de Methyl. Les doses utilisées varient de

120 à 270 kg par hectare. La superficie traitée au bromure de methyl est de 251 ha avec une consommation totale en ce produit de 49 tonnes .

Même si dans l'avenir, il y a tendance à réduire l'utilisation de ce produit (protocole de Montréal dont le Maroc est signataire), On rencontre déjà l'utilisation d'autres produits, qui ne sont pas sans effet sur l'environnement, le Metamsodium et les nématicides liquides qui viennent d'être homologués (organophosphorés et carbamates) qui sont injectés dans le réseau d'irrigation goutte à goutte.

### Pulvérisations foliaires

Ce type d'application concerne toutes les cultures et la majorité des produits appliqués.

### Données générales sur la consommation des pesticides par les différentes cultures

La diversité des pesticides utilisés pour les traitements phytosanitaires dans la région est importante, on peut dénombrer plus de 80 spécialités différentes.

Les doses moyennes appliquées, d'après les spécialistes dans le domaine de la phytopathologie (Communications personnelles de Ammati, Ezzahiri et Chataïna), dans la plupart des cas sont excessives.

### Données spécifiques des principales cultures

Les principales cultures consommatrices des pesticides par ordre hiérarchique sont:

La fraise, la pomme de terre, la tomate industrielle, les agrumes, l'arachide, la canne à sucre.

Dans ce qui suit, on se propose de donner des éléments relatifs aux traitements de ces cultures :

### La fraise

Elle vient en première place avec 12 à 20 traitements phytosanitaires.

La fréquence des fongicides est nettement supérieure à celle des insecticides et des acaricides ;

La quantité consommée a donnée une moyenne de 23 kg /Ha de produit commercial.

### Pomme de terre

Elle fait l'objet de **6 à 7 traitements** dont 4 à 5 sont dirigés vers le mildiou. Les spécialités à base de metalaxyl (phenamide) sont les plus utilisés pour leur action curative ;

La consommation moyenne de cette culture est évaluée à **4.8 kg /Ha** .

### Tomate industrielle

Elle fait l'objet d'au moins **10 traitements**, dont 4 fongicides pour le contrôle du mildiou, 3 traitements insecticides pour le contrôle de la noctuelle "heliethis armigera" et 2 traitements acaricides ;

La consommation est évaluée à **7 kg/Ha** de produit commercial plus le soufre juste après la floraison à raison de **50 Kg /Ha** en deux applications.

### Agrumes

Ils bénéficient en moyenne de **5 traitements** par an, dont 4 insecticides et 1 traitement acaricide ;

La consommation par ha est évalué à **10 kg/Ha** .

### Arachide

Cette culture bénéficie à la limite d'un traitement insecticide avec le produit presque exclusivement utilisé le delthamethrine (pyrethroïde)

### Betterave à sucre

Elle bénéficie à la limite d'un traitement insecticide avec le produit presque et parfois d'un traitement fongicide;

La consommation par ha est évalué à **15-20 kg/Ha** (Insecticide-sol) .

En effet, l'utilisation du Parathion Methyl contre le Cléone Mendian présente un risque pour l'environnement.

### Céréales : Blé tendre -Blé dur

Ils bénéficient à la limite d'un traitement Herbicide (Printazol ou 2,4D) ;

La consommation est estimée à **1 litre/Ha**;

Le traitement fongicide contre la Septoriose est faiblement pratiqué .

### Tournesol

Elle bénéficie à la limite d'un traitement Herbicide (Fusilade ou Gallant) ;

La consommation est estimée à **1 litre / Ha**.

*Légumineuses*

Ils bénéficient à la limite d'un traitement Herbicide (Randop) ou bien un traitement fongicide ( Pelt 44) ;

La consommation est estimée à 0,125litre/Ha -0,25litres/Ha (Pelt 44) .

*Olivier*

Il bénéficie d'un seul traitement par le fongicide avec le produit Pelt 44 ;

La consommation est estimée à **0,125 litre/Ha** .

*Canne à sucre*

Cette culture ne fait l'objet d'aucun traitement même contre les mauvais herbes .

**IMPACTS DE L'UTILISATION DES ENGRAIS ET PESTICIDES SUR L'ENVIRONNEMENT**

**Constats Majeurs**

- \* L'usage abusif des engrais azotés pour les cultures maraichères
- \* Les éléments nutritifs du fumier ne sont pas comptabilisés dans la fertilisation
- \* Le dépôts de fumier dans les champs en période hivernale favorise la lixiviation d'azote
- \* La fertilisation n'est pas basée sur des analyses du sol et ne tient pas compte des reliquats d'azote laissés par la culture précédente.
- \* La liste des produits phytosanitaires appliquée est très diversifiée et le

nombre d'application est très élevé. Cette utilisation n'est - elle pas influencée par les mécanismes de commercialisation des produits qui ne sont pas efficacement contrôlés ?

- \* La non maîtrise des techniques d'application ,ceci augmente les risques sanitaires et de pollution de l'environnement.

**Risque de pollution nitrique des eaux souterraines**

Les bilans de masse d'azote ont permis de calculer des quantités d'azote nitrique potentiellement lixiviable sous ces cultures variant de **100 à 150 Kg d'azote /Ha** ;

Les cultures qui se sont avérées les plus génératrices d'excès d'azote lixiviable sont : la pomme de terre (134Kg/Ha), le fraisier (120Kg/Ha), les agrumes (113Kg/Ha), Canne à sucre (105Kg /Ha), Arachide (70Kg/Ha) et les cultures maraichères (120Kg/Ha) de manière générale( Soudi (1999) pour le projet ONEP – GTZ dans le Secteur R'mel).

En plus des doses excessives d'engrais azotés appliquées, d'autres facteurs favorisant et amplifiant la lixiviation des nitrates sont cités et discutés ci-après :

**\* Utilisation du fumier frais**

Sur la base des doses moyennes de fumier appliquées (> 40 tonnes/ha) un apport supplémentaire d'environ 10 Kg d'azote par tonne de fumier généralement non comptabilisés par les agriculteurs ; par conséquent, le fumier constitue un facteur important de la

pollution nitrique dans la région surtout avec dépôt sous forme de tas dans les champs en période hivernale

**\* Texture sableuse dans le Secteur R'mel/Drader**

La texture sableuse des sols permet une mobilité très importante de l'ion Nitrate vers les eaux souterraines avant son absorption par les cultures; Ceci augmente considérablement la vulnérabilité des eaux souterraines.

**\* Irrigation et pollution nitrique**

L'irrigation par aspersion domine dans la région et favorise la lixiviation des nitrates au niveau du Secteur R'mel/Drader.

En effet, La micro-irrigation par goutte à goutte associant la fertilisation (fertigation) est actuellement en développement dans Secteur R'mel/Drader. Cette technique permet d'économiser de plus de 40 % les volumes d'eau appliqués et de fractionner les apports de fertilisants

Risque de contamination des eaux souterraines par les pesticides

Le problème de contamination des eaux souterraines par les pesticides se heurte à des problèmes d'évaluation ;

Les analyses récentes effectuées par l'ONEP n'ont pas montré de contamination ;

S'agit-il d'un manque de maîtrise des techniques d'échantillonnage ou d'analyses? ou de timing d'échantil-

**Tableau 4 : Evaluation du risque de contamination des eaux souterraines par les pesticides (McBride,D.K., 1989).**

Caractéristiques	Risque faible	Risque élevé
<b>Caractéristiques de pesticides</b>		
Solubilité dans l'eau	Faible	Elevée
Adsorption au sol	Elevée	faible
Persistance	Faible	Elevée
<b>Caractéristiques du sol</b>		
Texture	Fine - argileuse	Grossière - sableuse
Matière organique	Elevée	faible
porosité	Faible macro porosité	Forte macro porosité
Niveau de la nappe	profond	faible
<b>Apports d'eau</b>		
Eau de pluie/Irrigation	Faible volume et faible fréquence	Grand volume et fréquence élevée

lonnage? ou problème de bio transformation des pesticides en d'autres métabolites auxquelles les analyses proposées ne sont pas adaptés ? Ou tout simplement, il n'y a pas de contamination ?

Le risque n'étant plus élevé en ce qui concerne la contamination des fruits étant donnée la dominance de la technique de pulvérisation foliaire ?

Le constat commun est que les applications de pesticides sont loin d'être bien maîtrisées tant sur le plan techniques d'application que doses et fréquences d'application.

Les facteurs susceptibles d'augmenter le risque de contamination des eaux souterraines par les pesticides sont liés :

- \* A la nature de pesticides : la solubilité, la persistance et le pouvoir d'adsorption aux colloïdes du sol ;
- \* Au sol : la texture, le pouvoir filtrant, la rétention en eau, la porosité ;
- \* D'autres pratiques dont la plus importante est l'irrigation (dose et fréquence).

D'après le système d'évaluation rapporté dans le tableau ci-dessus, on peut dire que les conditions du Secteur R'mel/Drader demeurent très favorables à la mobilité des pesticides.

Sur la base de l'importance des superficies relatives à chaque culture dans la zone d'étude et de la fréquence d'utilisation de chaque matière, on peut mettre en exergue les produits à risque et dont les aspects écotoxicologiques méritent d'être étudiés. Ces produits sont:

- \* Le bromure de methyl ou monobromomethane (nematicide fumigant);
- \* Le dimethoate, le malathion et le chlorpyrifos (insecticides organophosphorés) le methomyl (insecticide carbamate);
- \* Le deltamethrine (insecticide pyrethrinoides de synthèse) ;
- \* Le lufenuron (insecticide sulfonyle urée);
- \* Le dicofol, tetradifon et le fenazaquin (acaricides; le premier est un carbinol, le deuxième est un sulfone, le troisième est un quinazoline) ;
- \* Le benomyl et thiophanate methyl (fongicides dérivés carbamates: le premier un benzimidazole et le

deuxième un thiophanate) ;

- \* Le mancozebe (fongicide dithiocarbamate) ;
- \* Le metalaxyl (fongicide phenylamide);
- \* Le phosethyl d'Al (fongicide phosphite) ;

## SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT DANS LE PERIMETRE DU LOUKKOS

### Historique de l'observatoire

Au début des années 80, mise en eau des premiers secteurs R'mel / Drader l'ORMVA du Loukkos a prévu une entité qui se chargeait du suivi de la qualité des eaux et de la nappe; c'était le "Bureau de Pédologie"

- \* Le réseau de suivi de la qualité des eaux : se limitait à une dizaine de sites englobant l'Oued Loukkos, les Canaux d'irrigation et les forages destinés à l'irrigation du théier .
- \* Le suivi de la nappe des secteurs R'mel-Drader: se basait sur la prospection (sondages à la tarière) et la délimitation des endroits submergés par la remontée de la nappe .

A partir de 1996, création du Bureau d'Environnement et réalisation de l'étude d'évaluation environnementale par l'Office du Loukkos (1993-1998) dont l'observatoire de qualité figurait parmi les principales recommandations, un nouveau réseau de suivi de l'évolution de la qualité des eaux et des sols a été redéfini par le Bureau d'Environnement afin de suivre l'état de l'environnement dans le périmètre du Loukkos :

- \* Suivi de la qualité des eaux superficielles et souterraines ;
- \* Suivi de la qualité des sols des secteurs irrigués ;
- \* Suivi du niveau piézométrique de la nappe du R'mel.

### Méthodologie

Le suivi de l'Environnement a pour objectifs :

- Suivi de l'évolution des différentes composantes (sol et eau) ;
- Détermination de l'efficacité des mesures atténuantes (suivi de la nappe);
- Constitution d'une base de données ;

Le réseau de suivi se base sur les actions suivantes :

\* Suivi de la qualité des eaux souterraines et superficielles  
+ Prélèvement bimestriel des eaux au niveau de 80 sites le long :

- Des Oueds: Loukkos, Drader et Soueir (8);
- Des zones humides; Merjas: Zerga, Halloufa, Bargha, Skhar et Aïn Chouk (5);
- Des collecteurs d'assainissement des secteurs : R'Mel, Drader et Plaine du Loukkos (6);
- Des canaux d'irrigation des secteurs R'Mel (3);
- De certains puits et forages des secteurs : R'Mel, Drader et Plaine du Loukkos (60).

- Analyse physico-chimique et de quelques paramètres de pollution (OD, DCO, DDO5 nitrates et phosphates).

\* Suivi de la qualité physico-chimique des sols des secteurs irrigués

- Prélèvement annuel des sols des secteurs irrigués pendant les mois de Juillet-Aout au niveau de 50 parcelles représentatives des unités pédologiques les plus répandues dans chacun des secteurs irrigués: R'Mel (11), Drader (5), Plaine du Loukkos (17), Plaine de Ksar (5) et Basses Collines (10) ;

- Analyse physico-chimique de 150 échantillons ;

- Comparaison des résultats d'analyses à la situation de référence avant la mise en eau (profils types de ces mêmes unités pédologiques).

\* Suivi de la nappe du R'Mel-Drader

- Prospection par des sondages à la tarière au cours du 1er trimestre de chaque année;

- Délimitation sur cartes topographiques au 1/5.000ème des endroits submergés par la remontée de la nappe en vue de la mise en évidence de l'efficacité du réseau d'assainissement existant dans le rabattement de la nappe et de son extension aux endroits submergés;

- Mesure des niveaux piézométriques de certains puits (70 sites) ;

## RESULTATS

### 1- Qualité des eaux:

#### Eaux de surface

\* Oueds

Les eaux des oueds Loukkos et Drader sont :

- Moyennement salées (CE <0,750 Mmhos/cm ;
- pH neutre à alcalin ;
- faible risque d'alcalinisation (SAR<2,5) ,
- faible minéralisation (R.S < 500 mg/l) et de faibles signes de pollution (OD >5 mg/l).

*\* Zones humides*

Les zones humides (Merja Halloufa et Aïn Chouk) ont :

- une salinité moyenne à élevée (0,5<CE < 0,86 Mmhos/cm) ;
- une faible à moyenne minéralisation et de faibles signes de pollution (OD >5 mg/l).

*\*Collecteurs d'assainissement*

- Secteur R'mel

Les eaux des collecteurs d'assainissement ont :

- une salinité moyenne à élevée (0,5<CE < 0,9 Mmhos/cm) ;
- un pH neutre à alcalin ;
- une minéralisation moyenne à élevée (430<RS <740mg/l) ;
- des teneurs moyennes en nitrates et de faibles signes de pollution (OD > 5 mg/l).

- Secteur Plaine du Loukkos

Les eaux des collecteurs d'assainissement ont

- une salinité élevée à très élevée (3,2<CE < 9,2 Mmhos/cm, en effet ces eaux sont probablement utilisées par les agriculteurs au lavage des emballages des intrants) ;
- un pH neutre ;
- une minéralisation excessivement élevée (2260<RS<6280mg/l) ;
- des teneurs très faibles en nitrates et des signes de pollution liées à la stagnation des eaux et prolifération des algues(OD < 5mg/l).

*\*Canaux d'irrigation*

Les eaux des canaux d'irrigation ont :

- une salinité moyenne (CE <0,750 Mmhos/cm) ;
- un pH neutre ;
- un faible risque d'alcalinisation (SAR<2,5) et une faible minéralisation (R.S<500 mg/l).

*Eaux souterraines*

*- Nappe R'mel-Darder*

Les eaux de la nappe du R'mel ont :

- une salinité faible à moyenne (0,3<CE > 0,83 Mmhos/cm) ;
- un pH neutre ;
- un faible risque d'alcalinisation (SAR<2,5) ;
- des teneurs moyennes à élevées en nitrates (NO3 > 50 mg/l par endroits).

En effet, 15 puits /60 présentent des taux de nitrates entre 55-180mg/l dont quelques uns se situent près des agglomérations ;

D'après l'étude menée par l'ONEP < renforcement de l'AEP de la ville de Larache > par Beller Consult GMBH 2001 :

- le taux des nitrates au niveau de la partie supérieure de la nappe varie pour certains forages entre 116-315mg/l dont les valeurs les plus élevées sont attribuées à l'infiltration des eaux usées domestiques ;
- le taux des nitrates au niveau de la partie inférieure de la nappe est nettement plus homogène de 30mg/l

Les valeurs mesurées dans le cadre des analyses des pesticides organochlorés et organophosphorés sont inférieures au seuil de détection .

*- Nappe Loukkos*

Les eaux de la nappe du Loukkos ont :

- une salinité élevée (1,1<CE < 1,37 Mmhos/cm) ;
- un pH neutre ;
- un risque d'alcalinisation moyen (2,4<SAR<5,5) ;
- des teneurs faibles en nitrates (5 -30 mg/l).

**2 - Evolution de la qualité des sols:**

Le suivi de l'évolution de la qualité des sols a mis en relief les faits suivants :

*- Secteur R'mel*

Sols peu évolués d'apport éolien - Fersiallitiques

- Augmentation des taux de la M.O. surtout au niveau des 30 premiers cm;
- Transformation du pH avec une tendance vers la gamme du pH neutre (Légère augmentation);
- Augmentation de la salinité;
- Augmentation de la teneur en P2O5

assimilable surtout au niveau des 30 premiers cm;

- Légère diminution de la teneur en K2O surtout au niveau des 30 premiers cm;
- Sols hydromorphes

- Légère diminution du taux de la M.O. surtout au niveau des 30 premiers cm;
  - Transformation du pH avec une tendance vers la gamme du pH neutre (Légère diminution);
  - Diminution de la salinité;
  - Légère augmentation de la teneur en P2O5 assimilable surtout au niveau des 30 premiers cm;
  - Légère augmentation de la teneur en K2O surtout au niveau des 30 premiers cm;
- Secteur Plaine du Loukkos

Sols peu évolués d'apport alluvial - Vertisols

- Diminution du taux de la M.O. surtout au niveau des 30 premiers cm;
- Transformation du pH avec une tendance vers la gamme du pH neutre à légèrement alcalin (diminution);
- Légère diminution de la salinité en surface tout en marquant parfois une augmentation en profondeur;
- Diminution de la teneur en P2O5 assimilable et en K2O échangeable surtout au niveau des 30 premiers cm;

Sols Hydromorphes - Sodiques

- Légère augmentation du taux de la M.O. surtout entre 30-60 cm;
- Transformation du pH avec une tendance vers la gamme du pH neutre à légèrement alcalin (diminution);
- Légère diminution de la salinité (sols sodiques) ;
- Légère augmentation de la salinité (sols hydromorphes) ;
- Diminution de la teneur en P2O5 assimilable et en K2O échangeable surtout au niveau des 30 premiers cm;

**3 - Evolution de la superficie submergée:**

Le niveau piézométrique de la nappe varie entre 0,3-8,5m/terrain naturel (une seule mesure 2000) ;

La remontée de la nappe (Secteur R'mel/Drader ) a touché une superficie de 850 ha dont 200 ha submergées et 650 ha engorgées sur une profondeur de 40 cm ;

La mise en place du réseau d'assainissement par des collatures à

ciel ouvert (environ 160Km) au cours de l'année 1990 a réduit à 150ha dont 60ha submergées après l'installation.

#### CONCLUSION

La maîtrise de la pollution agrochimique nécessite l'adoption de bonnes pratiques culturales :

##### - *Engrais*

- \* Analyse du sol ;
- \* Détermination du besoin réel des cultures pour un rendement donné ;
- \* Apport fractionné ;
- \* Compostage de fumier ;

- \* Comptabilisation des reliquats azotés ;
- \* Maîtrise des apports d'eau.
- Pesticides
- \* Approche de protection intégrée des cultures ,lutte biologique ;
- \* Prendre en compte les caractéristiques du site ;
- \* Tenir compte de la localisation des puits et des captages ;
- \* Dosage adéquat ;
- \* Zone tampon / lieu de mélange et d'utilisation ;

#### Références Bibliographiques

- ORMVAL, 1996 : Programme de développement agricole dans les Communes Rurales de la Province de Larache
- ORMVAL/MADREF, 1998: Etude d'évaluation environnementale du périmètre du Loukkos CID / NEDECO/ MAROC DEVELOPEMENT
- ORMVAL, 1999/2000: Fiches technico-économiques des principales cultures dans le périmètre du Loukkos
- ORMVAL, 2000 : Appréciation de la capacité des agriculteurs à supporter des augmentations de tarifs d'eau d'irrigation
- ONEP, 2001: Renforcement de l'AEP de la ville de Larache. Etude de la qualité de la nappe du R'mel Bellet Consult GMBH
- SOUDI, 1999 : projet ONEP – GTZ dans le Secteur R'mel
- SOUDI, 2002: Enquête agrochimique et atelier de formation

# NEW REFERENCES FOR THE FERTILIZATION OF WHEAT, SUGAR BEET, AND SUNFLOWER IN DOUKKALA AND GHARB IRRIGATED PERIMETERS IN MOROCCO

M. Badraoui<sup>1</sup>, M. Agbani<sup>1</sup>, M. El Gharous<sup>2</sup>, M. Karrou<sup>2</sup>, R. Bouabid<sup>3</sup>, M. Zeraoui<sup>4</sup>

## ABSTRACT

*In arid and semi arid mediterranean regions like Morocco, irrigation permits to ensure good yield. However, water use efficiency needs to be improved by using adapted and performant agricultural techniques such as fertilization. Balanced fertilization of the major crops should be based on soil testing. The interpretation of soil tests needs regional crop and soil specific critical levels obtained from field experiments. In addition, data on soil nutrients supplying capacity and crop nutrient requirements are needed to estimate the amount of fertilizers to be used by farmers.*

*In the framework of a large program dealing with the improvement of the large scale irrigation scheme performance (PAGI), a sub-program was set to support the agricultural development in irrigated areas of Morocco (PSDA). Soil fertility management for the major crops under irrigation was one of the adaptative research components of the PSDA. 70 field experiments testing the response of the crops (sugar beet, wheat, and sunflower) to fertilizers (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O) additions were performed in Doukkala and Gharb regions between 1995 and 2001. Relative yield and crop response coefficient were used to assess the response of the crops to fertilizers. Crop response curves were used to estimate the optimal rates of fertilizers. The crop uptake of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and K<sub>2</sub>O at maturity stage was considered to be the minimum soil supplying capacity of these 3 nutrients. Nitrogen, phosphorus, and potassium use efficiencies were calculated for each treatment. The apparent fertilizer use coefficient by the crops was also calculated.*

*It is clearly demonstrated that the soil fertility status does not depend on soil types. It is related to the agricultural history of the plots. However, critical levels depend on soil types and the crop yield performance. For example, in Doukkala wheat responded to potassium fertilizer only when the yield is higher than 5 t/ha on Hamri, Rmel and Faid soil types only. It is also confirmed that the response to nitrogen was not related to soil mineral nitrogen or organic matter content before planting.*

*For farmers who can afford to make soil test analyses before planting, the amount of fertilizer to be added to each of the crops can be estimated using the results obtained in this study. For those, who are not able to analyse their soils, adapted regional fertilizer formula were proposed for each crop considering the global fertility of the soils for the majority of farmers.*

*Some of the proposed fertilizers formulas are used by farmers in the Doukkala and Gharb regions. This research program is extended to cover more soil types, crops, and irrigated regions of Morocco.*

## INTRODUCTION

Soil fertility management for intensive cropping systems under irrigation is a major component of sustainable agricultural development in mediterranean countries. Although, in arid and semi arid mediterranean regions like Morocco, irrigation permits to ensure good yield, water use efficiency needs to be improved by using adapted and performant agricultural techniques such as fertilization. Balanced fertilization of the major crops should be based on soil testing. The interpretation of soil tests needs regional crop and soil specific critical levels obtained from field experiments. In addition, data on soil nutrients supplying capacity and crop

nutrient requirements are needed to estimate the amount of fertilizers to be used by farmers.

In the framework of a large program dealing with the improvement of the large scale irrigation scheme performance (PAGI), a sub-program was set to support the agricultural development in irrigated areas of Morocco (PSDA). Soil fertility management for the major crops under irrigation was one of the adaptative research components of the PSDA. Diversity of crops, soil types, and climatic conditions make fertilizers recommendations very difficult. Non adapted general fertilizer formulas have been used for a long time with no monitoring of soils fertility changes.

With the development of laboratory facilities to perform soil test for farmers, reference critical levels to interpret the results are becoming necessary. In fact, local soil test interpretation data are needed for the major crops and soil types. The objective of this paper is to present a synthesis of the major results obtained from field trials in the Doukkala and Gharb agricultural regions of northwestern Morocco.

The specific objectives of the trials were: i) to determine critical levels for the interpretation of soil tests specific to each region, soils types, and crops, ii) to evaluate the soil supplying capacities of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and K<sub>2</sub>O, iii) to evaluate the crop requirements of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and K<sub>2</sub>O for potential yields in each region, iv) to

1. Institute of Agronomy and Veterinary Sciences, Rabat, Morocco

2. National Institute of Agronomic Research, Rabat, Morocco

3. National School of Agriculture, Meknes, Morocco

4. Regional Office of Agricultural Development in the Gharb region, Kenitra, Morocco

calculate the amount of fertilizers based on soil test for farmers who can afford to make soil analyses before planting, and v) to suggest new regional fertilizers formulas to be used by those farmers who can not make soil analyses before planting.

## MATERIALS AND METHODS

Doukkala and Gharb regions are two of the nine large scale irrigation systems of Morocco. The potential irrigable land is evaluated to 380 000 ha, from which 190 000 ha (50 %) are effectively irrigated. Sugar beet, wheat, and sunflower are the major crops cultivated in these regions. Chromoxerets (Tirs), calcixerolls (Tirs and Hamri), xerochrepts (Faid), and xeralfs (Hamri and Rmel) are the major soil types occurring in the Doukkala semi arid region. In the Gharb region, which is located in a sub-humid mediterranean type climate, the major soil types are pelloxererts (Tirs), haploxerolls (clayey Dehs), xerochrepts (loamy Dehs), and calcixerolls (Hamri).

70 field experiments testing the response of the crops (sugar beet, wheat, and sunflower) to fertilizers (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O) additions were performed in Doukkala and Gharb regions between 1995 and 2001. The experiments were performed according to a completely randomized block design with 4 replicates and 2 treatments each time (N<sub>x</sub>P, N<sub>x</sub>K, P<sub>x</sub>K). Relative yield and crop response coefficient were used to assess the response of the crops to fertilizers. Crop response curves were used to estimate the optimal rates of fertilizers. The crop uptake of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and K<sub>2</sub>O at maturity stage was considered to be the minimum soil supplying capacity of these 3 nutrients. The nitrogen, phosphorus, and potassium use efficiencies and the apparent fertilizer use coefficient by the crops were calculated.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

### Response to fertilizers

Because of the high spatial and temporal variability of mineral nitrogen in the soils before planting, no correlation was found between the response of wheat, sugar beet, and sunflower to nitrogen

fertilizer. Response to nitrogen occurred even for high soil mineral nitrogen plots. So, no critical levels were set to interpret soil nitrogen fertility (Table 1 to 4). In other words, in these irrigated areas, we can not use initial mineral nitrogen to assess the nitrogen fertility of the soils.

Wheat responded to the addition of phosphorus in the Gharb and Doukkala regions. However, the critical level is different in the 2 regions. Wheat responded to phosphorus in Doukkala region in plots testing less than 17.5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen/kg of soil (Table 1). In the Gharb region, the response limit is only 16 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen/kg of soil (Table 2). Presently it is very exceptional to find soils having less than these values in the two regions because of P fertilizer overuse by farmers for more than 20 years.

Sugar beet and sunflower responded also to phosphorus fertilizer when the soil P-Olsen test is less than 12.2 and 21.6 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /kg of soil, respectively (Tables 3 and 4).

This is the first time in Morocco that wheat responded to potassium fertilizer. The response occurred in Doukkala region when the yield obtained is higher than 5 t/ha and only on non clayey soils (Hamri, Rmel, and Faid). The critical level under which the response was observed is 260 mg K<sub>2</sub>O/kg of soil (Table 1). In the Gharb region having younger soils, rich in K bearing minerals like illite and interstratified illite/smectite the response of wheat to potassium was not observed.

Sunflower crops, which need more K than wheat, responded to potassium fertilization. The critical level in the Gharb region is 149 mg K<sub>2</sub>O/kg. However, very few plots have less than this value in this region. Sugar beet is a very highly potassium demanding crop. The response to potassium addition in the Doukkala region was systematic on all soil types including the Tirs soils which are clayey. An exchangeable potassium interpretation scheme was established for sugar beet taking into consideration the clay content (Figure 1).

### Crop nutrient requirements

The amounts of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and K<sub>2</sub>O required to produce 1 quintal (100 kg) of the harvested crops are presented in tables 1 to 4. These quantities are referred to as nutrient use efficiency. They are needed to calculate the amount of fertilizer to be added in order to get a given yield.

Wheat needs to take up 3.5 kg N to produce 1 quintal in the Doukkala region. In the Gharb region, this quantity is 3.95 kg N/quintal produced. For sugar beet the mean N use efficiency in the Doukkala region is 3.14 kg/tonne of fresh beets. To produce one quintal of sunflower seeds in the Gharb region, the crop absorbs 3.47 kg N.

Wheat needs 0.6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/quintal in the Doukkala region and 0.74 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/quintal in the Gharb region. Sugar beet requirement in phosphorus is 1.4 kg/tonne of beets. Sunflower needs only 0.67 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/quintal.

Sugar beet and sunflower require large quantities of potassium; 6 kg K<sub>2</sub>O/tonne

Table 1: Critical levels, nutrient use efficiency, and apparent fertilizer use for wheat under irrigation in Doukkala region

Nutrient	Critical level	Nutrient use efficiency (kg/100 kg grains)	Apparent fertilizer use coefficient	Observations
Nitrogen	No critical level	3.50	0.65	Soil nitrogen supplying capacity can be estimated using the max. Yield without N addition and organic matter content
Phosphorus	< 17.5 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg soil.	0.60	-	-
Potassium	< 260 mg K <sub>2</sub> O/kg soil for Hamri, Rmel and Faid soil series. No response on Tirs soil series	1.54	-	No addition of K <sub>2</sub> O if the yield < 5 tons/ha.

**Table 2: Critical levels, nutrient use efficiency, and apparent fertilizer use for wheat under irrigation in Gharb region**

Nutrient	Critical level	Nutrient use efficiency (kg/100 kg grains)	Apparent fertilizer use coefficient	Observations
Nitrogen	No critical level	3.95	0.60	Soil nitrogen supplying capacity can be estimated using the max. Yield without N addition. No correlation between N soil test and crop response to N fertilizer.
Phosphorus	< 16 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg soil.	0.74	0.165	Critical level for Dehs soil series only. Needs to be determined for Tirs soil series.
Potassium	No response to K <sub>2</sub> O addition.	3.00	-	Soils have a very high potassium supplying capacity. No K fertilizer required.

**Table 3: Critical levels, nutrient use efficiency, and apparent fertilizer use for sugar beet under irrigation in Doukkala region**

Nutrient	Critical level	Nutrient use efficiency	Apparent fertilizer use	Observations
Nitrogen	No critical level.	3.14	0.56	Soil nitrogen supplying capacity can be estimated using the max. Yield without N addition. No correlation between N soil test and crop response to N fertilizer.
Phosphorus	< 12.2 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg soil.	1.40	-	Very few plots have less than 12 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg.
Potassium	See soil test K interpretation scheme in relation to clay content.	6.00	-	Low: add crop requirement x 1.2. Medium: add crop requirement High: no K <sub>2</sub> O addition.

of beets and 7.23 kg K<sub>2</sub>O/quintal of seeds. Only 1.54 kg K<sub>2</sub>O/quintal is required by wheat in the Doukkala region. The K use efficiency by wheat in the Gharb region is exceptionally high because of the luxury consumption from very high K fertility soils.

The recovery of fertilizers by the crops is expressed by the apparent fertilizer use coefficient (Tables 1 to 4). The results show that between 50 and 65 % of fertilizer nitrogen are taken up by the crops. The use of P and K fertilizers is very low. The remaining fertilizers in the soils can be used by the following crops. It was found that fixation and release processes complicate the understanding of the fertilizers recovery. The use of <sup>15</sup>N labelled techniques is necessary in order to better understand the recovery of nitrogen fertilizer by the crops.

**Table 4: Critical levels, nutrient use efficiency, and apparent fertilizer use for sunflower under irrigation in Gharb region**

Nutrient	Critical level	Nutrient use efficiency (kg/100 kg)	Apparent fertilizer use coefficient	Observations
Nitrogen	No critical level.	3.47	0.53	Soil nitrogen supplying capacity can be estimated using the max. Yield without N addition. No correlation between N soil test and crop response to N fertilizer.
Phosphorus	21.6 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg soil.	0.67	0.21	Critical level for Dehs soil series only. Needs to be determined for Tirs soil series..
Potassium	149 mg K <sub>2</sub> O/kg soil.	7.23	0.44	Low: add crop requirement x 1.2. Medium: add crop requirement High: no K <sub>2</sub> O addition.

## Recommendations of new fertilizers formulas

A survey of soil fertility status was performed in the Doukkala and Gharb regions. Taking into account the results obtained in this study, we were able to suggest general fertilizer formulas adapted for the majority of the farmers.

Table 5 presents the quantities of nutrients needed to make better use of water in the Gharb and Doukkala irrigated perimeters. Farmers who can afford to make soil analysis before planting can use the data presented in tables 1 to 4 to compute the amount of fertilizers to be added to each plot. For those who are not yet able to do soil analysis, the quantities to be added depend on the region, the crop, the soil types, and the targeted yield.

The Doukkala and Gharb agricultural development services are presently promoting the use of these formulas. They are also building their laboratory capacities to make soil test for the farmers. Similar experiments are being done for other crops, especially orchards and sugar cane in the Gharb region and sunflower in the Doukkala region.

Table 5: Recommended fertilizers formulas for wheat, sugar beet, and sunflower in The Gharb and Doukkala irrigated regions in Morocco

Crop	Region	Soil type	Yield (t/ha)	N (kg/ha)	P2O5 (kg/ha)	K2O (kg/ha)
Wheat	Doukkala	Tirs	5	153	23	0
		Hamri, Faid, Rmel	5	153	23	75
		Hamri, Faid, Rmel	< 5	153	23	0
	Gharb	Dehs, high in P2O5	5	120	0	0
		Dehs low in P2O5	5	120	80	0
Sugar beet	Doukkala	All types high in P2O5	80	220	0	360
		All types low in P2O5	80	220	53	360
Sunflower	Gharb	Dehs high in P2O5	4	120	0	0
		Dehs low in P2O5	4	120	70	0

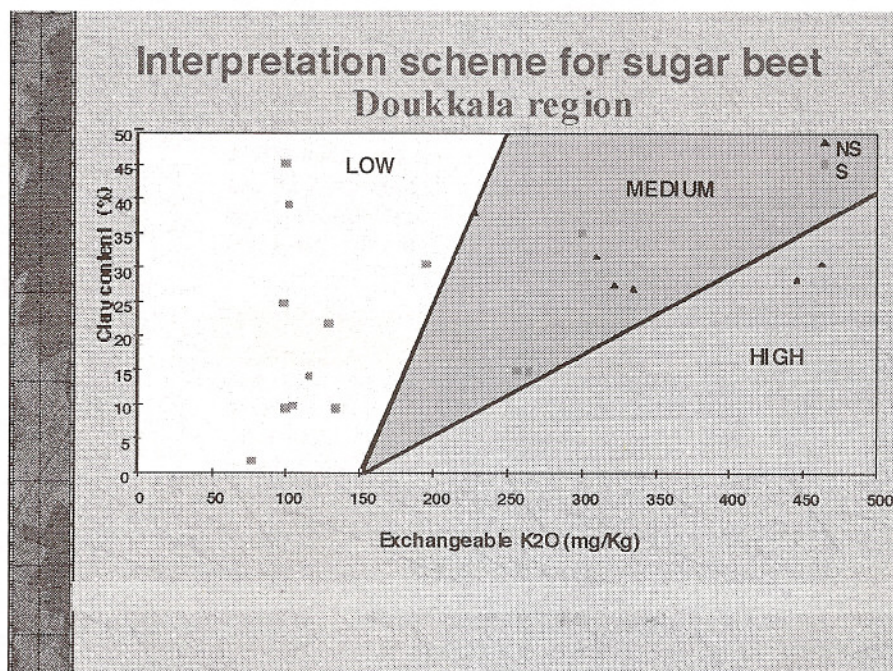


Figure 1: Soil Exchangeable Potassium interpretation scheme for sugar beet in the irrigated perimeter of Doukkala, Morocco



# SITUATION ACTUELLE DE LA POLLUTION NITRIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE PERIMETRE IRRIGUE DES DOUKKALA

B. Soudi<sup>1</sup>, M. Agbani<sup>1</sup> et F. Id Ahmad<sup>1</sup>

## 1. INTRODUCTION

Au Maroc, la disponibilité en eaux, jusqu'à présent très limitée, risquerait de diminuer fortement à long terme en raison des périodes de sécheresses prolongées. En effet, les estimations prévisionnelles effectuées par la banque mondiale (1994, cités par Berdaï, 1997) ont déclenché la sonnette d'alarme dans la mesure où les ressources hydriques renouvelables par habitant devraient diminuer de moitié en passant de 800m<sup>3</sup> en 1990 à 400m<sup>3</sup> en 2020, classant ainsi le Maroc dans la catégorie des pays en situation de "Stress hydrique chronique".

La détérioration de la qualité des ressources en eau constitue une menace aussi importante que celle liée au déséquilibre quantitatif. La pollution continue à réduire le bilan global des ressources hydriques et engendre un risque pour la santé humaine surtout lorsqu'il s'agit de la consommation des eaux de puits dans le milieu rural où la majorité de la population s'approvisionne directement de l'aquifère (Id Ahmad, 1998).

Au Maroc, l'agriculture intensive en zones irriguées est pour sa part responsable de la pollution diffuse des eaux souterraines (Soudi et al, 1999). Effectivement, en raison des avantages fiscaux accordés aux agriculteurs depuis 1985, l'intensification s'est fortement accentuée et les périmètres irrigués, qui ne représentent que 12% de la superficie agricole utile (SAU) totale du pays, consomment à eux seuls plus de 50% des intrants fertilisants à l'échelle nationale (Hamdaoui, 1996). En plus de l'emploi intensif, voir abusif, des intrants agrochimiques, cette intensification s'accompagne aussi d'une mauvaise maîtrise de l'irrigation et du drainage des parcelles cultivées (Soudi et al, 1999). Du fait de son caractère diffus, cette pollution reste difficile à résorber; son évaluation et son traitement posent des problèmes particulièrement ardu.

D'après la DRPE (1998), la pollution par les nitrates constitue l'un des facteurs majeurs de dégradation de la qualité des eaux souterraines au Maroc. En effet, selon le rapport de la DRPE sur l'état de la qualité des ressources en eau au Maroc pour l'année 1995-1996 (DRPE, 1998), 32% des eaux analysées des différentes nappes superficielles dépassent la valeur maximale admissible pour l'eau potable fixée à 50mg/l et 57% des cas dépassent la valeur maximale recommandée qui est de 25mg/l. Ce même rapport qualifie les eaux de la nappe des Doukkala comme étant de qualité mauvaise (70% des puits contrôlés) à moyenne. Cet état de qualité est dû à la forte minéralisation des eaux et aux teneurs en nitrates qui ont dépassé dans 53% des puits contrôlés la valeur maximale admissible pour l'eau potable.

Le présente communication se propose d'appréhender la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique des Doukkala à travers une caractérisation de la situation actuelle de la salinité et de la pollution nitrique qui matérialisent les principaux processus de la détérioration de la qualité des eaux souterraines déjà manifestés dans les Doukkala (Soudi et al, 1999).

## 2. MATERIEL ET METHODES

Pour la présentation du périmètre irrigué des Doukkala, nous renvoyons à l'article sur la situation actuelle de la qualité des sols et des eaux dans le périmètre. Selon la carte des systèmes aquifères du Maroc (Direction de l'Hydraulique, 1976), Le sous-sol des Doukkala renferme un aquifère multicouche à nappe supérieure libre et nappe(s) inférieure(s) captive(s) continues. Selon cette même carte, ces nappes soit n'ont aucun échange d'eau entre elles par drainance verticale, soit communiquent par une drainance non significative ou dont le sens est inconnu. Il existe aussi des nappes perchées formées dans les parties superficielles les

plus sableuses des limons alluviaux récents, l'imperméable étant constitué par les limons anciens sous-jacents (Ferré & Ruhard, 1975).

Les sites d'échantillonnage des eaux souterraines ont été choisis sur la base d'un système de maillage de la région d'étude. En effet, des cartes topographiques au 1/50000 des Doukkala ont été maillées à raison d'un puits par 784 ha, tout en essayant de situer au moins 1 puits au sein de chaque maille et en tenant compte qu'il soit le plus possible près d'un site d'échantillonnage du sol. Il est à noter qu'une densification des points de prélèvement a eu lieu dans les zones à risque (rejets des eaux usées, rejets des sucreries, etc.). Cette opération s'est soldée par le choix de 80 puits répartis dans les principaux casiers du périmètre irrigué bas service des Doukkala (Figure 1).

Chaque puits a subi des analyses de ses paramètres de qualité in situ. Pour le choix des indicateurs de qualité, on a retenu ceux qui sont en relation directe avec les problèmes réels que connaissent les eaux souterraines de la nappe des Doukkala: salinité et pollution nitrique. Les paramètres concernés sont alors: la conductivité électrique, les nitrates et la bathymétrie.

Pour pouvoir établir des cartes thématiques spatiales des paramètres analysés, les résultats des analyses ont été intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG) et ont subi une spatialisation selon la méthode d'interpolation du krigeage universel. Les normes d'interprétations sont celles de la Direction de Recherche et de Planification de l'Eau (DRPE).

Il est important de noter que la campagne d'échantillonnage et d'analyse s'est déroulée durant le mois de mai 1998.

1. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département des Sciences du Sol, Rabat

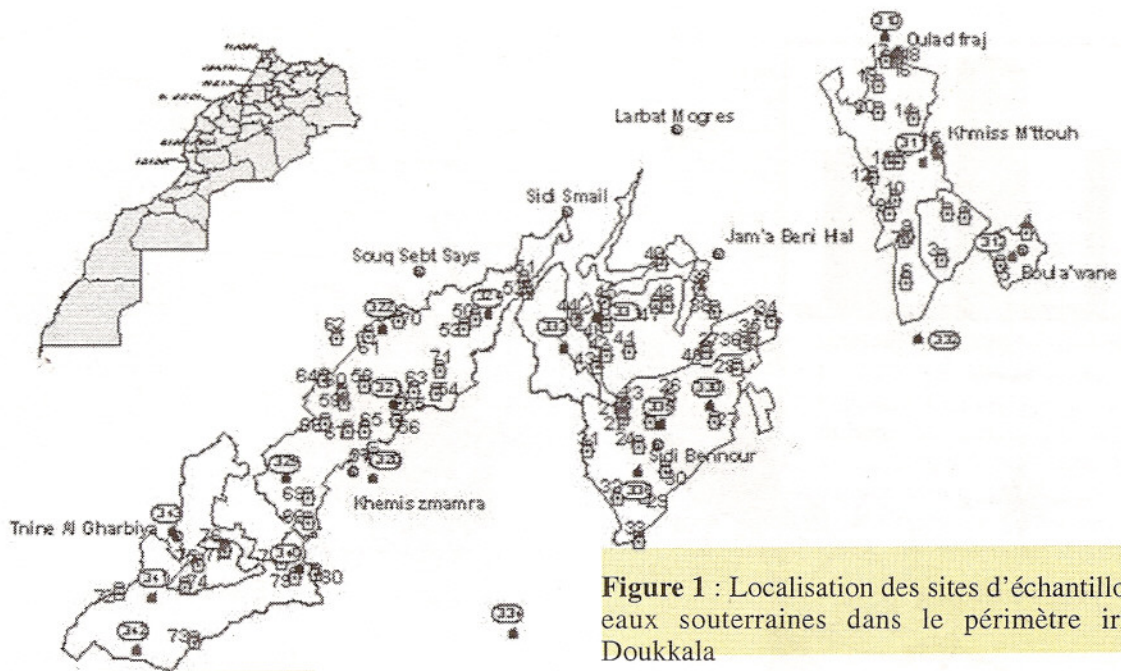


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Doukkala

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Bathymétrie

Le caractère moyennement profond de la nappe phréatique des Doukkala est mis en évidence par la carte des isobathes de la figure 2. en effet, les niveaux bathymétriques se trouvent, en

général, à des profondeurs moyennes, sauf par endroit où le niveau dépasse 60m de profondeur.

La distribution fréquentielle des différents niveaux bathymétriques révèle que pour la période où les mesures ont été effectuées (mai 1998), 35% des puits recensés ont des profondeurs inférieures à 20 m, 52,5%

sont entre 20 et 40 m et seuls 12,5% dépassent 40 m. L'examen de la carte des isobathes montre les deux caractères majeurs suivants:

- Les niveaux bathymétriques les plus profonds sont enregistrés à proximité des grandes agglomérations. Ceci doit son explication en grande partie à la surexploitation des eaux de la nappe;

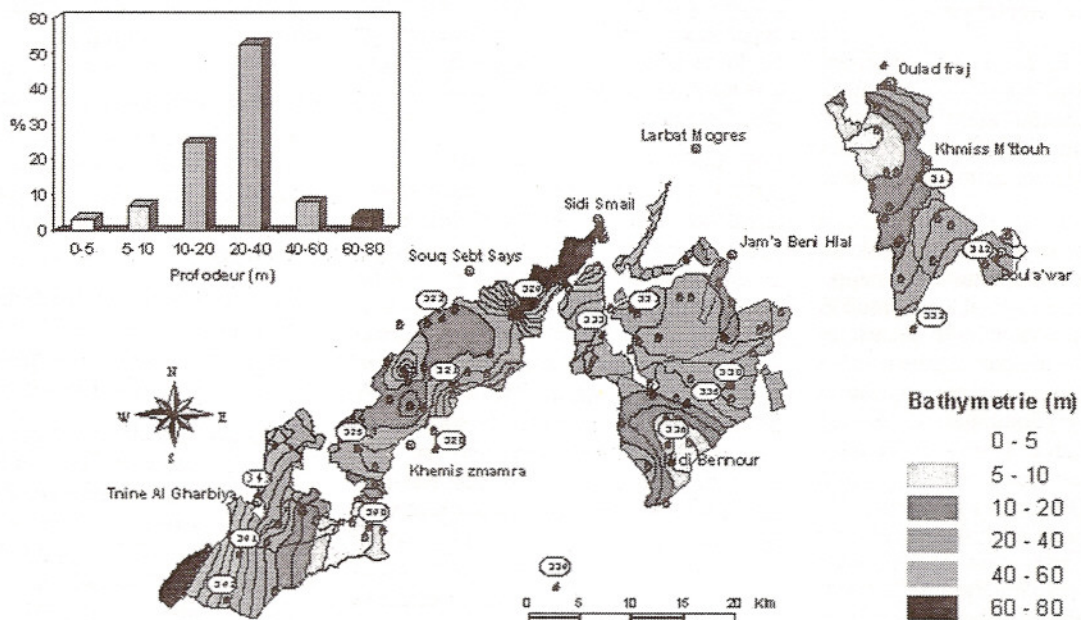
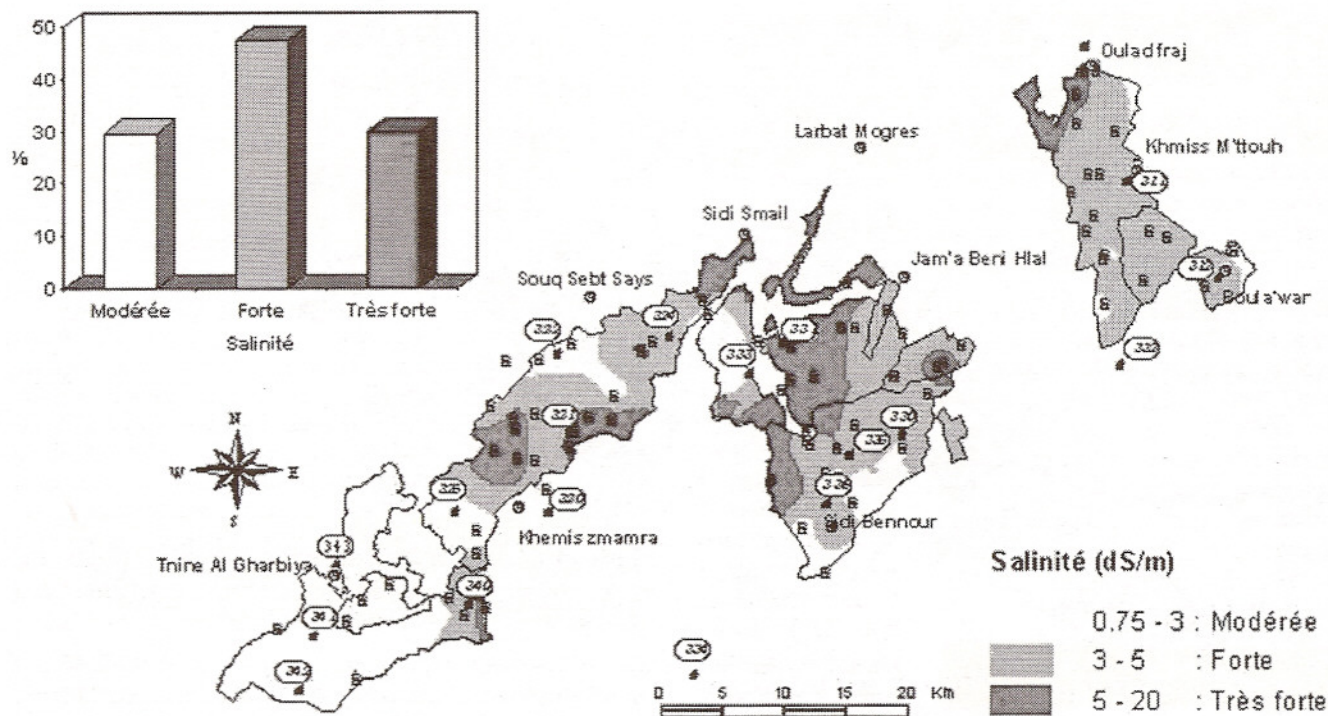


Figure 2: Carte bathymétrique de la nappe phréatique au niveau du périmètre irrigué bas service des Doukkala (état de mai 1998)



**Figure 3:** Salinité des eaux souterraines au niveau du périmètre irrigué bas service des Doukkala (état de mai 1998)

- Les endroits où la nappe est proche de la surface (bathymétrie inférieure à 5m) coïncident avec les zones qui présentent des sols affectés par la salinisation.

### 3.2. Conductivité électrique

Déjà en 1976, la carte des systèmes aquifères du Maroc considérait la nappe des Doukkala comme étant une nappe saline à très saline dont la qualité des eaux est très médiocre et impropre à tout usages.

Pour caractériser le niveau actuel de la salinité des eaux souterraines de la nappe phréatique des Doukkala, il a été procédé à la mesure de la conductivité électrique de ces eaux. En totale conformité avec la carte des systèmes aquifères du Maroc (Direction de l'Hydraulique, 1976), les analyses effectuées ont clairement montré que les eaux de la nappe phréatique des Doukkala sont salines. En effet, 77% des puits analysés renferment des eaux très fortement à fortement salines selon la classification de la FAO, le reste des puits étant de salinité moyenne (Figure 3).

En terme de distribution spatiale, la carte de la figure 3 montre une variabilité très

importante de la conductivité électrique (de 0.76 dS/m à 10.61 dS/m). Globalement, tous les casiers renferment des eaux fortement salines, notamment Sidi Smaïl, Faregh et Zemamra. Des zones où l'eau est légèrement saline (ne dépasse pas 3 dS/m) se répartissent en quelques îlots localisés au sud de Faregh, à l'Ouest de Tnine Gharbia et au sud de Sidi Bennour.

Les analyses statistiques ont montré qu'il n'existe pas de corrélation claire entre le taux de salinité des eaux souterraines et le niveau bathymétrique de la nappe, de ce fait il est improbable que le retour des eaux d'irrigation chargées en sels ait une contribution significative dans la salinisation des eaux de la nappe. Néanmoins la proximité de la nappe de la surface au niveau des CDA 310, 336 et 340 pourrait avoir une contribution aux très fortes teneurs mesurées en ces secteurs.

### 3.3. Pollution nitrique

Avant de caractériser l'état actuel de la pollution nitrique des eaux souterraines du périmètre irrigué des Doukkala, une étude de l'impact des activités agricoles sur la qualité de ces eaux a été réalisée.

Cet impact a été élucidé à travers l'établissement d'un bilan de masse d'azote pour les différentes cultures et dans les différentes zones, et ce afin d'identifier les cultures et les zones qui contribuent le plus à cette pollution nitrique. Toutefois quelques observations s'imposent:

- L'occupation des sols est dominée par les céréales et la betterave sucrière avec 57% de la superficie cultivée. Dans les zones Bour, les cultures sont limitées aux céréales, légumineuses et fourrages;
- La superficie de culture de la betterave a augmenté de 35% sur les dix dernières années alors que les autres cultures n'ont pas beaucoup varié;
- Les quantités élevées d'engrais azotés apportés dépassent de loin les besoins des cultures, notamment les cultures rémunératrices: betterave et maraîchage (Tableau 1). Le déficit observé pour les cultures fourragères est compensé par les apports organiques.
- Les dates d'apports, qui coïncident avec l'hiver, ne correspondent généra-

**Tableau 1** : Besoins en azote et quantités d'azote minéral ( $N_{min}$ ) apportées pour les différentes cultures du périmètre irrigué des Doukkala.

Culture	Dose Moyenne (kg Nmin/ha)	Besoins (kg N/ha)
Betterave	492.12	315
Blé	162	120
Luzerne	208.64	602
Bersim	246.59	516
Maraîchage		
Pomme de terre	398.18	100
Tomate	237.25	96

lement pas aux moments opportuns du cycle de croissance de la plante. Une fois les doses apportées excèdent les besoins de la culture, le processus de lixiviation de l'azote se déclenche.

### 3.3.1. Calcul du bilan de masse d'azote

Dans le but d'évaluer la quantité d'azote lixiviable, le bilan de masse d'azote a été dressé. Cette méthode inclut pratiquement toutes les voies d'entrées et sorties d'azote dans le système sol-plante-atmosphère. Le bilan global s'exprime par la formule suivante:

$$N_0 + N_{IR} + N_P + N_{ENG} + N_F + N_{LEG} + N_M = N_R + N_{EXP} + N_{LIX} + N_{VOL} + N_{DEN}$$

$N_0$  = Azote minéral initial dans le sol

$N_{IR}$  = Azote minéral apporté par les eaux d'irrigation

$N_P$  = Azote minéral apporté par la pluie

$N_{ENG}$  = Azote minéral apporté par les engrais

$N_F$  = Azote minéral du fumier

$N_{LEG}$  = Azote minéral fixé par les légumineuses

$N_M$  = Azote organique minéralisable

$N_R$  = Reliquat d'azote après la culture

$N_{EXP}$  = Azote exporté par la culture

$N_{LIX}$  = Azote lixiviable

$N_{VOL}$  = Azote volatilisé

$N_{DEN}$  = Azote dénitrifié

La quantité d'azote lixiviable est déduite comme suit:

$$N_{LIX} = \sum \text{entrées} - (N_{EXP} + N_{VOL} + N_{DEN})$$

Le calcul des bilans de masses par type de culture et par exploitation a été établi moyennant le programme informatique N-Balance réalisé par Lahlou et Soudi (1997). Ce programme est en cours d'amélioration. La quantification des différents termes du bilan a été basée sur trois sources:

- Le dépouillement des enquêtes auprès de 152 agriculteurs Doukkali: NENG,  $N_F$ ,  $N_{IR}$  et  $N_{EXP}$ ;

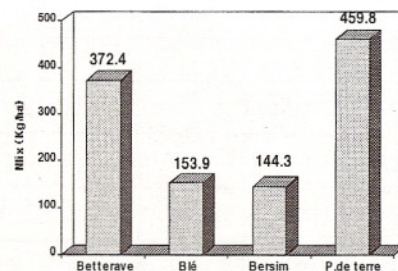
- Les résultats des analyses effectuées au laboratoire dans le cadre du projet:  $N_0$  et  $N_M$  selon les types de sol et les précédents culturaux;

- Une base de données bibliographique intégrée au programme N-Balance (les différents types d'engrais et leurs teneurs en azote, les types de fumiers et leurs teneurs en azote et taux de minéralisation, les exportations pour chaque culture, l'azote fixé par les légumineuses, l'azote volatilisé selon le pH).

Le bilan par culture a montré que les cultures peuvent être classées dans un ordre décroissant en fonction du risque de pollution nitrique comme suit (figure 4):

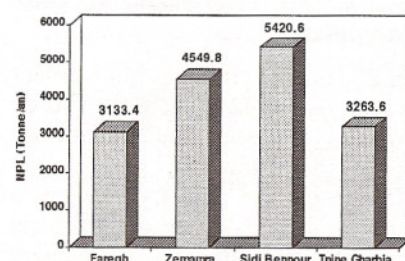
**Maraîchage > Betterave > Céréales > Fourrages**

Du fait de leur incapacité de valoriser les fortes doses qu'elles reçoivent durant leur cycle de croissance, les cultures maraîchères génèrent des excès d'azote très importants. D'un autre côté, étant donné que la betterave revêt un intérêt économique pour les agriculteurs, ces derniers ne s'attardent pas à apporter sans le moindre contrôle des quantités parfois trop élevées d'engrais et de fumier dans l'espoir d'avoir de bons rendements, négligeant le fait que cette culture présente un faible pouvoir d'exportation. Les cultures fourragères présentent un risque faible puisque même si les apports sont très importants, ces cultures peuvent exporter des quantités très élevées.



**Figure 4** : Quantités d'azote potentiellement lixiviable par culture

Le bilan par casier et sachant que la betterave sucrière génère des quantités importantes d'azote lixiviable, les casiers ayant la plus grande superficie en cette culture seront les plus risqués à être touchés par la pollution nitrique, à savoir les casiers de Sidi Bennour et Zemamra (Figure 5). La quantité d' $N_{PL}$  à l'échelle du périmètre avoisine 225 kg/ha.



**Figure 5** : Quantités d'azote potentiellement lixiviable par casier

A l'échelle des Centres de Développement Agricole (CDA), ce sont les CDA 321, 324, 333, 312, 330 et 343 qui montrent les plus fortes quantités d' $N_{PL}$ .

### 3.3.2. Autres sources d'azote

Parallèlement à la fertilisation minérale, on assiste aux Doukkala à une utilisation assez importante du fumier notamment pour les cultures fourragères et maraîchères. Ces apports azotés organiques, issus des activités d'élevage, sont généralement négligés malgré leur contribution très significative dans le bilan de masse d'azote.

La majorité des CDA (76%) apportent des quantités qui varient entre 300 et 800 tonne/an, notamment les CDA des casiers Faregh et Zemamra. A l'échelle des casiers, les apports organiques représentent annuellement 33%, 32.6%, 41.2% et 37.4% de l'apport d'azote total

**Tableau 2:** Quantités d'azote organique appliquées dans les casiers du périmètre

Casier	Norg (kg/ha)	Norg (tonne/an)
Faregh	183.208	2172.196
Zemamra	153.445	2788.612
Sidi Bennour	206.973	4869.106
Tnine Gharbia	181.209	2340.192

respectivement dans les casiers Faregh, Zemamra, Sidi Bennour et Tnine Gharbia, ce qui n'est pas négligeable (Tab. 10.4).

D'un autre côté, l'industrie sucrière déverse des rejets liquides et des eaux boueuses vers les égouts en période estivale après la récolte de la betterave.

### 3.3.3. Identification des zones à grand impact négatif sur la qualité des eaux souterraines

Afin d'identifier les zones qui méritent une surveillance particulière vis à vis de la qualité des eaux souterraines, les impacts des activités agricole et d'élevage ont été combinés, ce qui a permis de dresser la liste des CDA qui semblent contribuer de manière

prépondérante à la détérioration de la qualité des eaux souterraines, plus particulièrement à la pollution nitrrique. Les CDA concernées sont 310, 311, 320, 321, 340 et 343. Cette liste a été établie en considérant les effets des apports azotés de type minéral et organique et des quantités d' $N_{LUX}$ .

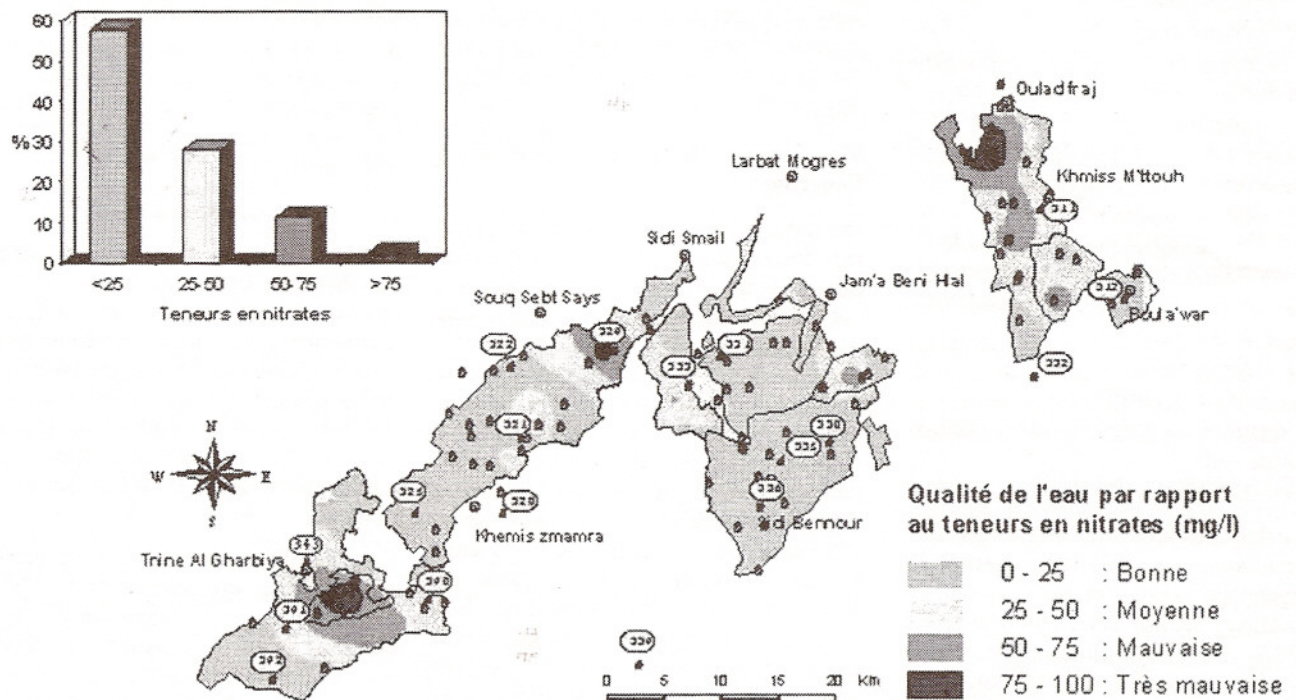
Au terme de ce chapitre, on peut conclure que la contribution des activités agricole à la pollution nitrrique des eaux souterraines se chiffre aux alentours de 225 kg d' $N_{LUX}$ /ha. Il est clair que le transfert de cette quantité vers la nappe subira une première dilution dans les eaux infiltrées et une seconde dans le réservoir de l'aquifère. Toutefois, un excès continu se traduirait par une augmentation du risque de la pollution.

### 3.3.4. Etat de la pollution nitrrique

Globalement, pour la période de mesures qui s'est effectuée durant le mois de mai 1998, les eaux de la nappe phréatique des Doukkala sont en deçà de la valeur maximale admissible pour leur utilisation à la consommation humaine. En effet, 82,73% des puits analysés montrent des valeurs inférieures à 50 mg/l de nitrates avec un maximum de 99mg/l. Les concentrations qui dépassent les normes de potabilité sont localisées dans des zones bien limitées (Figure 6).

- au nord et au centre du casier Faregh (CDA 310 et 311);
- au nord du casier Zemamra (CDA 324);
- au centre de Sidi Smaïl extension (CDA 330)
- la zone médiane de Tnine Gharbia (entre les CDA 340, 341 et 343).

La distribution fréquentielle des teneurs en nitrates à l'échelle des casiers montre que la situation la plus risquée s'annonce au niveau du casier Faregh où 40% des mesures sont comprises entre 25 et 50 mg/l et 20% sont supérieures à 75 mg/l, notamment dans la région d'Oulad Fraj.



**Figure 6:** Pollution par les nitrates des eaux souterraines du périmètre irrigué bas service des Doukkala

Dans le casier de Tnine Gharbia, les eaux souterraines sont d'une bonne qualité dans 66% des cas (concentration inférieure à 50mg/l) et d'une qualité mauvaise dans 22% des cas. Le même constat est enregistré pour le casier des Zemamra où la majorité des puits renferment des eaux dont les teneurs en nitrates sont inférieures à 25mg/l. D'un autre côté, les casiers de Sidi Bennour et de Sidi Smail se sont révélés être les seuls casiers épargnés de toute pollution nitrique de leurs eaux souterraines, et ce malgré les fortes doses apportées et lixiviées d'azote notamment au niveau du CDA 330.

Il est vrai que les apports exagérés d'engrais azotés sont majoritairement responsables de cet état de pollution par les nitrates des eaux souterraines des Doukkala, cependant, il ne faut pas négliger les rejets des activités industrielles (les rejets des sucreries notamment) et les rejets des eaux urbaines qui sont parfois utilisées sans traitement pour l'irrigation des sols Bour. Toutefois, et malgré le choix de points de mesure à l'aval de ces sources de pollution, il n'a pas été enregistré de

concentrations importantes en nitrates. Ceci tient son explication essentiellement au fait que la campagne de mesure s'est effectuée après la saison pluviale (effet de dilution) et avant la période de récolte et d'usinage de la betterave sucrière qui s'opère uniquement en période estivale.

Pour tenter d'expliquer cet état de pollution, la figure 7 montre la superposition des cartes de la répartition des teneurs en nitrates et des courbes isobathes ainsi que les CDA ressortis par le bilan de masses comme les générateurs des quantités d' $N_{LIX}$  les plus importantes.

L'examen de cette figure a permis de relever les observations suivantes:

- En comparant les profondeurs de la nappe et la répartition spatiale des nitrates, il est constaté que les zones où la nappe est peu profonde présente en général des concentrations en nitrates relativement élevées; la zone non saturée étant vraisemblablement peu épaisse pour retarder le lessivage des nitrates. Ceci est particulièrement le cas du CDA 310 (nord du casier

Faregh) qui malgré le fait qu'il n'est pas ressortit par le bilan de masse de l'azote comme présentant un risque de pollution, la proximité de la nappe de la surface (entre 0 et 10 m) contribue efficacement dans sa propre pollution diffuse par les nitrates. Toutefois, il a été enregistré des concentrations fortes en nitrates dans des secteurs où le niveau d'eau est relativement profond: c'est le cas du CDA 324.

- Contrairement aux attentes, le casier Sidi Bennour ne présentait pas, lors de cette campagne de mesure, de pollution nitrique malgré les quantités importantes d' $N_{LIX}$  et malgré la faible profondeur de la nappe. L'explication de cet état des lieux tiendrait à deux facteurs essentiels: la nature de la zone non saturée qui empêcherait le lessivage des nitrates et/ou la migration des eaux polluées vers l'aval hydraulique de la nappe en empruntant le sens général de l'écoulement qui est SW-NE. Ce dernier facteur pourrait aussi contribuer dans la concentration en nitrates observée au nord du casier Faregh (CDA 310);

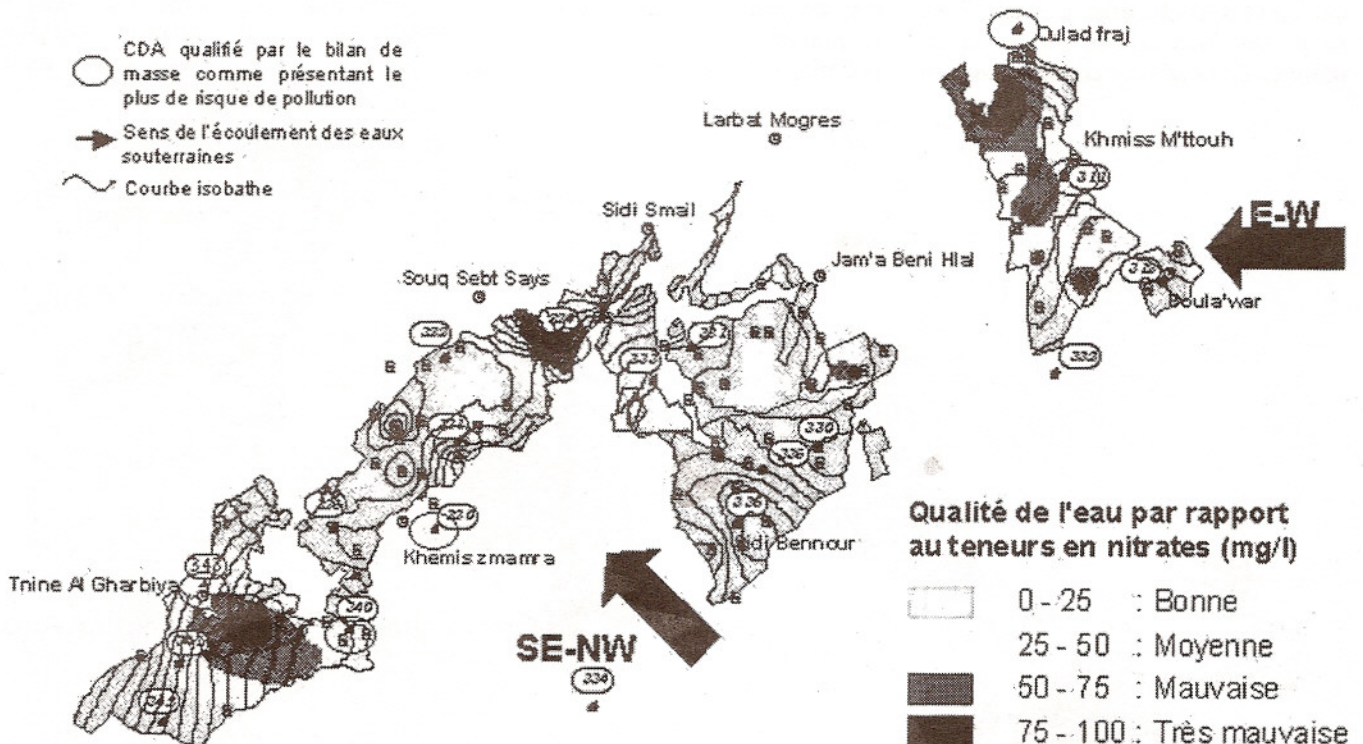


Figure 7: Combinaison de la répartition des nitrates, courbes isobathes et CDA

- Pour pouvoir faire une comparaison, le réseau d'échantillonnage comprend aussi des puits implantés en des zones Bour. La quasi-totalité de ces puits présentent une bonne qualité quant à leurs teneurs en nitrates. Néanmoins, trois puits localisés dans la zone médiane non irriguée du casier Tnine Gharbia (puits n° 74, 75 et 77) montrent des teneurs très importantes qui dépassent 50mg/l. Ceci pourrait probablement être dû au fait que cette zone présente une sorte de réceptacle des eaux pour les régions irriguées environnantes, notamment les CDA 340 et 343.

### 3.4. Evaluation de la qualité générale des eaux souterraines des Doukkala

Les enquêtes auprès des agriculteurs ont montré que l'utilisation des eaux souterraines est dictée principalement par son état de salinité. En effet, des eaux moyennement salines continuent toujours à être utilisées dans 54% des cas, alors que les eaux de très mauvaise qualité quant à leur concentration en nitrates sont utilisées dans 100% des cas. Ce constat nous a poussé à réaliser une carte pour classer les eaux de la nappe des Doukkala en combinant les mesures de la salinité et des teneurs en

nitrates, l'objectif étant de délimiter les zones les plus polluées et les zones "saines" en vue d'une utilisation plus rationnelle aussi bien pour la boisson que pour l'irrigation.

Pour ce faire, la méthode basée sur le principe de la contrainte maximale a été adoptée. Ainsi, la classe finale de la qualité de l'eau souterraine est définie par la contrainte (salinité ou teneurs en nitrates) la plus pénalisante. La carte est, donc, réalisée suite à la superposition de la carte de salinité (Figure.3) et la carte des nitrates (Figure 6) moyennant le SIG.

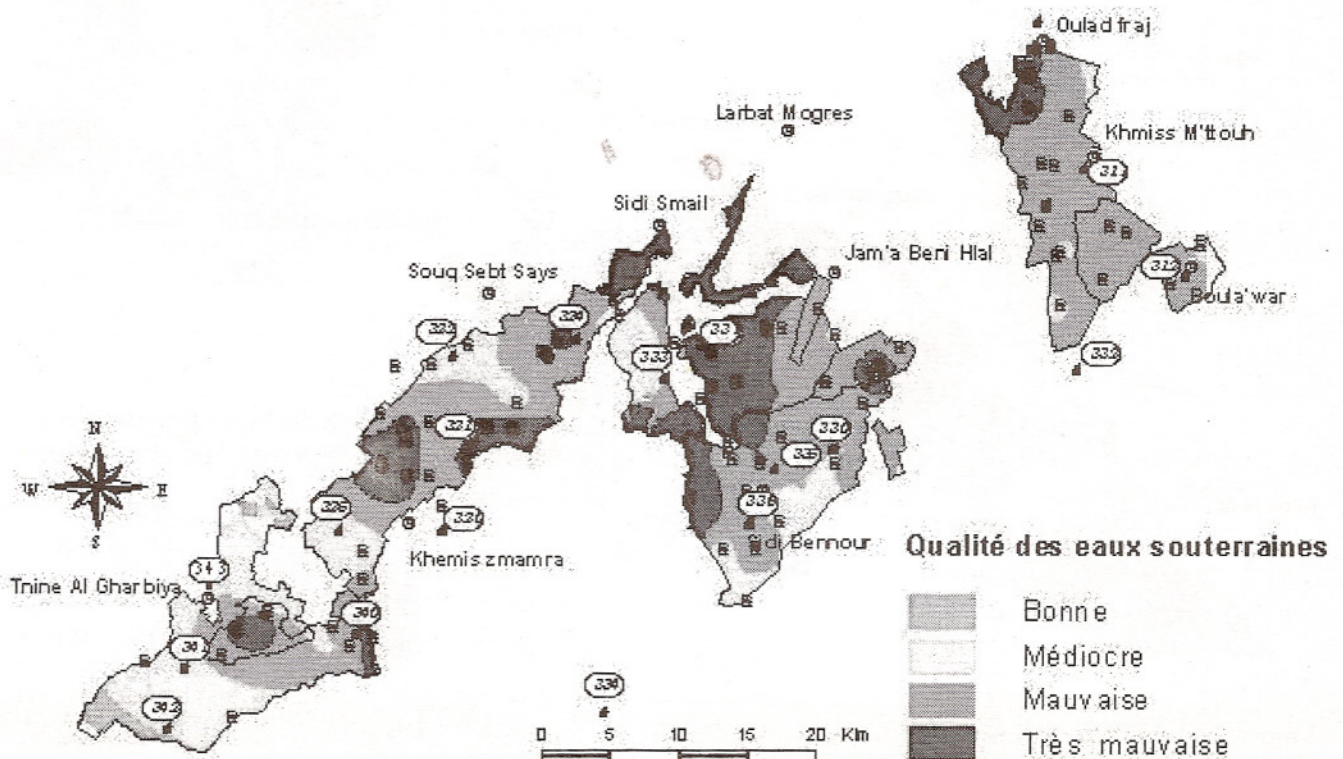
La carte résultante de la qualité générale des eaux de la nappe des Doukkala (Figure 8) montre que ces eaux sont d'une qualité mauvaise à très mauvaise dans la grande majorité des puits analysés, soit 75.53% des cas, le reste étant classés de qualité moyenne. Ce résultat ne fait que renforcer l'état de la qualité de cette nappe relevé par la DRPE pour l'année 1995-1996. En effet, cet organisme a classé la nappe des Doukkala comme une nappe à mauvaise qualité (DRPE, 1998). Cet état est principalement dû à la forte salinité des eaux de cette nappe. La pollution nitrique vient en second lieu.

## 4. CONCLUSION

La présente étude s'est intéressée au diagnostic de l'état actuel de la pollution nitrique des eaux souterraines au niveau du périmètre irrigué bas service des Doukkala. Les points les plus saillants de cette étude sont:

- Apports abusifs des engrais azotés et du fumier organique;
- Le maraîchage et la betterave sont les cultures qui présentent le plus de risque vis-à-vis de la pollution nitrique des eaux souterraines;
- Les CDA qui contribuent significativement à la pollution nitrique sont: 310,311,320,321,340 et 343;
- La carte de répartition spatiale des teneurs en nitrates montre que la pollution nitrique est relativement locale pour certaines régions, cette répartition est largement liée à la bathymétrie, le sens de l'écoulement des eaux souterraines et les quantités d'azote lixivié;

En conclusion, il y a matière à confirmer l'existence d'une contribution importante des pratiques agricoles intensives dans la pollution nitrique des eaux souterraines de la



### Références Bibliographiques

- Berdaï, H. (1997). Synthèse des travaux réalisés au Maroc sur la pollution nitrique des eaux souterraines. Division des études, service des expérimentations des essais et de la normalisation, Rabat.
- Direction de l'Hydraulique (1976). Carte des systèmes aquifères du Maroc au 1/1000000, Provinces du Nord, Feuilles 1 et 2 et notice explicative. Ressources en eau du Maroc, 44p. Rabat.
- Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (1998). Etat de qualité des ressources en eau au Maroc: Année 1995-1996. Direction Générale de l'Hydraulique, Ministère de l'Equi-pement, Royaume du Maroc. Avril 1998.
- Ferré, M. & Ruhard, J.P. (1975). Les bassins des Abda-Doukkala et du Sahel de Azemmour à Safi. In Ressources en eau du Maroc, T. 2, Notes Mém. Serv. Géol. Maroc, n°231, pp. 261-298.
- Hamdaoui, F. (1996). Caractérisation actuelle de la qualité des sols et des eaux dans le périmètre irrigué des Doukkala. Mém. 3ème Cycle, Dept. Sci. Du Sol, IAV Hassan II, Rabat.
- Id Ahmad, F. (1998). Impact des activités agricoles et d'élevage sur la pollution nitrique des eaux souterraines dans le périmètre de Doukkala. Mém. 3ème Cycle, Dept. Sci. Du Sol, IAV Hassan II, Rabat.
- Office Régionale de Mise en Valeur Agricole des Doukkala (1998). Monographie de la région des Doukkala-Abda. Bureau Environnement, avril.
- Soudi, B.; Rahoui, M.; Chiang, C.; Badraoui, M. & Aboussaleh, A. (1999). Eléments méthodologiques de mise en place d'un système de suivi et de surveillance de la qualité des eaux et des sols dans les périmètres irrigués. Hommes Terre et eaux, Vol. 29, n°111, juin 1999, pp. 13-22.

nappe des Doukkala, et plus particulièrement la fertilisation azotée. Cependant, le calcul des quantités d' $N_{Lix}$  ne peut pas à lui seul expliquer la répartition des teneurs en nitrates dans ces eaux à causes de la multitude des facteurs qui entrent en jeux depuis l'introduction du polluant dans le sol (nitrates entre autres) jusqu'à sa propagation dans l'aquifère, d'où l'intérêt de l'établissement d'une carte de vulnérabilité de la nappe des Doukkala vis-à-vis de la pollution et

précisément la pollution nitrique. En effet, la carte de vulnérabilité de la nappe souterraines vis-à-vis de la pollution couplée au suivi de la variation de la bathymétrie et des nitrates permettront une meilleure compréhension des processus mis en jeux pour la répartition des teneurs en nitrates entre autres. D'un autre côté, la surveillance des zones affectées par la pollution nitrique est nécessaire. Le SIG serait d'un apport incontournable.

# PROGRAMME DE REDUCTION DES EXCES D'AZOTE APPORTES A LA BETTERAVE A SUCRE ET AU BLE DANS LE PERIMETRE IRRIGUE DU TADLA

L. Moughli<sup>1</sup> & F. Cherkaoui<sup>2</sup>

## INTRODUCTION

La pratique de l'irrigation est toujours accompagnée d'une utilisation excessive des engrais surtout azotés et des produits phytosanitaires. Ces pratiques couplées à la non maîtrise de l'irrigation engendrent des impacts négatifs sur la qualité des eaux souterraines représentés par la pollution nitrique. Cette pollution diffuse d'origine agricole est amplifiée par des pollutions ponctuelles générées par des rejets industriels et urbains. Les nitrates transférés vers la nappe causent un problème sanitaire s'ils dépassent le seuil de la potabilité fixé à 50 mg/l.

Dans le périmètre irrigué du Tadla, une étude de diagnostic sur l'utilisation des intrants a permis de déceler des apports excessifs d'azote aux cultures dans le périmètre. Pour faire face à ce problème, l'ORMVAT a conçu dans le cadre du projet management des ressources du Tadla (MRT), financé par l'UASID, une stratégie visant une meilleure gestion de l'azote et permettant l'amélioration de la rentabilité des cultures tout en diminuant le danger de la pollution nitrique des eaux souterraines.

Les objectifs escomptés de cette étude sont :

- l'établissement d'un programme rationnel d'utilisation des engrais
- La vulgarisation de nouvelles stratégies de fertilisation auprès des agriculteurs
- L'amélioration du taux d'adoption de la nouvelle stratégie de fertilisation.

## I - ESSAIS DE DEMONSTRATION

Pour concevoir un programme de vulgarisation permettant aux agriculteurs d'adopter des méthodes de fertilisation basées sur la consilience des apports aux besoins de la plante, des essais de démonstrations sur l'amélioration de

l'efficacité de l'utilisation des engrais ont été menés chez les agriculteurs durant la campagne agricole 1996/1997, ils ont concerné neuf sites pour la betterave à sucre et quatre sites pour le blé. Au niveau de chaque site, une parcelle de 0.2 ha a été retenue pour la démonstration, le reste constituait le témoin fertilisé par l'agriculteur.

Les résultats de ces essais ont montré qu'il est possible de réduire les quantités d'azote de 30% et 13% respectivement pour la betterave à sucre et le blé. Les rendements des deux cultures sont au moins identiques à ceux obtenus par les agriculteurs. De point de vue économique, l'amélioration de la marge brute dans les parcelles de démonstrations par rapport à celle des agriculteurs a été de 22% pour la betterave à sucre et de 25% pour le blé.

Ces démonstrations ont permis de déterminer les doses moyennes optimales qui sont de 240 KgN/ha pour la betterave et de 120 KgN/ha pour le blé.

## II - PROGRAMME DE VULGARISATION

Durant la campagne agricole 1997/1998, il a été décidé de recommander les résultats obtenus aux agriculteurs faisant partie du programme de la vulgarisation individuelle dans les filières de la betterave à sucre et des céréales. Ce programme visait :

- la vulgarisation des nouvelles formules d'engrais

- l'amélioration du taux d'adoption des nouvelles stratégies de fertilisation
- la formation des agents de terrain

Les agriculteurs faisant partie du programme sont de 1048. Les superficies concernées sont de 1425 ha pour la betterave et 2350 ha pour le blé.

Pour déterminer d'éventuels changements dans la conduite de la fertilisation du blé et de la betterave à sucre, 253 parcelles de la betterave à sucre couvrant une superficie de 360 ha, et 235 parcelles de céréales occupant 425 ha ont fait l'objet d'un suivi détaillé.

### 1- Résultats pour la betterave à sucre

La dose moyenne d'azote utilisée durant la campagne agricole 1997-1998 est de 243 UN/ha, contre 340 KgN/ha en 1995-1996 qui représente l'année de base du projet "MRT". L'apport d'azote a été réduit de 28% (Tableau N°1), l'essentiel de la réduction a concerné l'azote du fond. Cette réduction est due à la nouvelle formule utilisée qui est de 3 qx/ha de l'engrais composé 19-38-0 au lieu de 5 qx/ha de 26.3-21.4-0

Le rendement racine moyen réalisé a passé de 48 t/ha en 1996/1997 à 60 t/ha en 1997/1998, soit une amélioration de 24% (Tableau N°2). La polarisation a marqué une légère augmentation qui est de 4% par rapport à la campagne 1996/1997.

En réduisant les doses d'engrais azotés apportées à la betterave à sucre, la

Tableau N° 1 : Utilisation des engrais azotés sur la betterave à sucre

	1995/1996	1996/1997	1997/1998
Apports d'azote	(KgN/ha)	(KgN/ha)	(KgN/ha)
Azote de fond	130	115	59
Azote de couverture	210	204	184
Azote total	340	320	243
Part de l'azote de couverture	57	63	75

1. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat

2. Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Tadla, Fquih Ben Saleh

Tableau N° 2 : Rendements racines moyen et polarisation moyenne réalisés dans les parcelles de suivi

Productivité de la betterave à sucre	97/98	96/97	Amélioration par rapport à 1996/97	
			Absolue	Relative
Rendements racines (T/ha)	60	48	12 t/ha	24%
Polarisation (%)	17,63	16,7	0,93%	4%

Tableau N° 3 : Doses d'azote apportées au blé et rendements grains réalisés par les agriculteurs du suivi

	1995/96	1996/97	1997/98
Dose moyenne d'azote De fond (Kg N/ha)	50	17	17
Dose moyenne d'azote de Couverture (Kg N/ha)	90	76	92
Part de l'azote de couverture (%)	64	81	84
Dose totale moyenne d'azote (Kg N/ha)	140	93	109
Rendement moyen en grains (qx/ha)	36	37	50

productivité n'a pas été affectée, mais au contraire on a noté une légère amélioration qualitative et quantitative.

## 2 - Résultats pour le blé

La dose d'engrais azoté apportée au blé a été en moyenne de 109 KgN/ha. Cette dose reste inférieure à 120 KgN/ha, dose au-dessus de laquelle on peut soupçonner des excès d'azote qui peuvent contribuer à la pollution nitrique des eaux souterraines. Cependant l'apport d'une fraction de la dose d'azote au moment de semis est à éviter puisque la culture est encore au stade plantule et ses besoins peuvent être satisfaits à partir des réserves existantes dans le sol. La part de l'azote de fond a passé de 36% en 1996/1997 à 16% en 1997/1998 (Tableau N° 3).

Le rendement moyen en grains réalisé par les agriculteurs de suivi était de 50 qx/ha durant la campagne agricole 1997/1998, contre 36 qx/ha en 1995/1996, année de référence du projet "MRT". L'amélioration du rendement

qui est de 40% était la conséquence non seulement de la stratégie de fertilisation adoptée, mais aussi des autres techniques culturales (traitement phytosanitaires...).

## 3 - Conclusions

Les résultats de ce travail avec les vulgarisateurs et les agriculteurs ont permis de réduire la dose d'azote apportée à la betterave à sucre et au blé de 97 KgN/ha et 30 KgN/ha respectivement. Ainsi la quantité totale réduite durant la campagne agricole 1997/1998 est de 180 tonnes d'azote, soit 10% de la somme totale des excès d'azote provenant de ces deux cultures. Outre cette réduction importante des excès d'azote qui génère une pollution nitrique des eaux souterraines, la productivité a été améliorée pour les deux cultures.

### III - GENERALISATION DES RESULTATS

Tenant compte des résultats obtenus durant la campagne agricole 1997/1998

et afin d'améliorer la rentabilité de la betterave à sucre, une nouvelle formule d'engrais a été adoptée dans tout le périmètre (18.600 ha) pour la campagne 1998/1999. Il s'agit d'appliquer 2.5 qx/ha de l'engrais composé 18-46-0 avant le semis, 1.5 qx/ha d'urée au démarrage et 3 qx/ha d'ammonitrate entre 90 et 120 jours après le semis. Pour le blé, les mêmes agriculteurs concernés par le programme de 1997/1998 sont pris en considération, ils sont au nombre de 1048 avec une superficie de 2350 ha. La dose d'engrais recommandée ne devait pas dépassait 120 KgN/ha.

Le suivi détaillé a porté sur 114 betteraviers (156 ha) et 235 céréaliers (425 ha).

La dose moyenne d'azote utilisée pour la betterave est de 250 KgN/ha en 1998/1999, contre 340 KgN/ha appliquée en 1995/1996, ce qui représente une réduction de 26%. La dose totale réduite sur 18.600 ha est de 930 tonnes d'azote.

Pour le blé la dose moyenne appliquée par les agriculteurs en 1998/1999 est de 118 KgN/ha, soit une réduction de 20 KgN/ha par rapport l'année de référence. La quantité totale réduite est de 47 tonnes d'azote sur une superficie de 2350 ha.

Les résultats de ce travail avec les agents du terrain et les agriculteurs ont permis donc de réduire la quantité d'azote apportée à la betterave à sucre et au blé de 977 tonnes d'azote soit 54% de la somme totale des excès d'azote apportés à ces deux cultures au niveau de tout le périmètre est qui est de 1800 tonnes d'azote. En plus de cette réduction substantielle des doses d'azote, les résultats de la campagne agricole 1998/1999 ont montré que la productivité des deux cultures n'a pas été affectée.



# UTILISATION DES ENGRAIS DANS LES PERIMETRES IRRIGUES

H. El Mekki<sup>1</sup>

## I- Présentation du secteur des engrais à l'échelle nationale

Les engrais constituent l'un des facteurs clés de toute intensification de la mise en valeur agricole. Toutefois, le niveau actuel d'utilisation des engrais au niveau national, se situe en moyenne aux environs de 750.000 Tonnes, soit l'équivalent de 315.000 Tonnes d'unités fertilisantes (UF), ce qui représente 30% des besoins réels estimés à 2,5 millions de tonnes soit l'équivalent de 1.2 Millions de Tonnes UF. 65% de cette consommation est réalisée au niveau des périmètres irrigués.

Cette situation ayant coïncidé avec l'extension de la superficie cultivée engendre une baisse notable de la consommation à l'hectare qui ne dépasse pas actuellement 45 Unités Fertilisantes (UF). Comparé aux consommations dans les pays Nord Méditerranéens tels que l'Espagne, l'Italie, et la France, ce volume n'en représente respectivement que 55%, 28% et 15%. En outre, il y a lieu de signaler que le niveau de consommation des engrais marque au cours de la dernière décennie une certaine stagnation causée essentiellement par l'augmentation de la sécheresse et la détérioration du revenu des agriculteurs.

L'approvisionnement du pays se fait à partir de la production nationale pour les engrais complexes et phosphatés et de l'importation des engrais azotés et potassiques.

Depuis 1990, et en vue de mettre en place un marché concurrentiel dans le secteur, l'Etat a procédé à sa dérégulation totale.

Parallèlement à cette dérégulation, l'Etat a instauré un système de suivi du marché des engrais. Ce système qui est coordonné par le Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts repose sur la concertation permanente avec la profession et l'OCP d'une part, et sur les éléments d'appréciation concernant la

situation de l'approvisionnement du pays en engrais fournis régulièrement par les Services extérieurs du Ministère de l'Agriculture, d'autre part.

Toutefois, le secteur des engrais continue à souffrir d'un manque d'organisation lié à l'intervention de certains opérateurs n'ayant aucune structure commerciale (moyens de stockage, réseau de commercialisation, etc...) et qui tirent profit de certaines situations particulières dans le marché international pour effectuer des importations sporadiques. Les tonnages importés sont parfois revendus directement au niveau des ports sans aucune garantie de la qualité.

## II- Utilisation des engrais

L'évolution de la consommation des engrais à l'échelle nationale au cours des cinq dernières campagnes agricoles est présentée dans le tableau ci-dessous:

L'analyse du tableau fait ressortir que la consommation des engrais d'une manière globale a enregistré au cours des cinq dernières campagnes agricoles une progression.

Cette tendance pourrait s'expliquer par ce qui suit :

- La baisse des prix de vente des engrais azotés qui est très lié, à son cours à l'échelle mondiale ;
- Les actions promotionnelles menées par l'OCP en révisant à la baisse les prix des engrais phosphatés ;
- La prise de conscience des agriculteurs quant à l'intérêt de la place des engrais dans le système de production agricole ;
- Les précipitations qui parviennent en

début de campagne agricole incitant les agriculteurs à s'approvisionner en ces intrants.

La répartition de la consommation des engrais selon les cultures montre qu'environ 32% des engrais sont utilisés par les agrumes, les cultures sucrières et les cultures maraîchères qui n'occupent que 5% de la superficie cultivée et qui sont pratiquées essentiellement en irrigué. Quant aux cultures céréalières qui occupent 60% des superficies cultivées, elles ne mobilisent qu'environ 43% des tonnages globaux, de plus, l'analyse de la consommation des engrais selon les zones agricoles montre qu'environ 58% des tonnages sont utilisés au niveau des zones irriguées contre 42 % en bour.

Concernant les formules utilisées, il y a lieu de soulever la prédominance des formules classiques telle que le 14-28-14 détenant en moyenne 25% du volume global des engrais utilisés.

## III- Contraintes du secteur

Sur la base d'une enquête menée par la Direction de la Production Végétale auprès des ORMVA, il s'est avéré que le secteur au niveau des périmètres irrigués souffre de certaines contraintes. Il s'agit principalement de :

### \* Sur le plan d'approvisionnement :

- difficulté de suivi du circuit de commercialisation et de l'utilisation des engrais vendu et ce raison, de la multitude des intervenants dans le secteur;
- rupture des stocks en certaines formules d'engrais notamment celles les plus demandées pendant la période de

Tableau 1: Quantités d'Engrais utilisés au Maroc

Année	Unité (1000 Tonnes)						
	95-96	96-97	97-98	98-99	99-2000	moyenne	2000-2001
Engrais de fonds	356	394	402	383	440	395	436
Engrais de couvertures	316	245	366	386	420	347	437
Total	672	639	768	769	860	742	873
Total UF	280	274	328	325	368	315	368

1. Chef de Service des Approvisionnements en Facteurs de Production à la Direction de la Production Végétale

pointe de leur utilisation telles que K2S04 (48%), TSP (45%) 14-28-14...;

- existence d'intervenants non structurés dans les circuits de commercialisation (Importateurs et revendeurs);
- industriels exigent pour la fabrication d'une formule la commande à l'avance tel est le cas du 19-38-0 dans la Province de Nador;
- prix des engrais élevés.

**\* Sur la plan techniques**

- insuffisance des moyens humains et matériel au niveau des CMV/CDA nécessaires pour assurer un encadrement intensif en matière de ferticonseil;
- absence de normes de fertilisation adaptées aux spécificités régionales;
- manque de structure pour le suivi des problèmes liés à la fertilisation (résidus, salinité...);
- recours des agriculteurs aux analyses reste limité et ne touche pas toutes les régions;
- introduction sur le marché de nouvelles formules méconnues par les agriculteurs et qui sont parfois inadaptées aux conditions pedoclimatiques marocaines.

**IV- Actions entreprises en matière de rationalisation de l'utilisation des engrais.**

Les principales interventions entreprises par les ORMVA liées à la fertilisation s'articulent au tours des axes suivants :

- Organisation de journées de sensibilisation et de formation sur l'intérêt des analyses du sol au profit des techniciens et des agriculteurs;
- Suivi des exploitations ayant fait l'objet d'analyses du l'eau et du sol
- Etablissement de cartes de fertilisation pour certaines cultures (céréales);
- Recommandation de formules spécifiques par cultures;
- Installation et suivi des essais de fertilisation et de fertilisation pour certains office;
- Instauration d'Observatoire local de suivi et de contrôle de l'environnement (ORMVAT);

**V- En matière de développement du secteur des engrais**

**\* l'organisation de l'exercice de la Profession des engrais :**

Dans ce cadre, il y a lieu de souligner la

poursuite des réflexions relatives à l'organisation du secteur des engrais et suite au non aboutissement des deux projets de loi qui ont été élaborés à ce sujet (loi réglementant l'exercice de la profession et décret sur le stock de sécurité) et ce en raison des divergences des points de vue entre les différentes parties concernées du Ministère de l'Industrie et du Ministère de l'Agriculture et la Profession.

A ce titre, un comité technique composé des représentants des deux Ministères précités a été constitué. Ce comité propose l'examen de la mise en place d'une caution de bonne exécution par les Industriels pour l'importation des engrais, et ce à l'instar des céréales. La faisabilité de cette alternative est en cours d'étude par la DPAE.

**\* l'élaboration de normes marocaines des engrais ;**

La contribution aux travaux du comité technique de normalisation des fertilisants constitué depuis 1995, qui a élaboré, en 2001, 24 projets de normes relatives aux méthodes d'essai et d'analyse des matières fertilisantes et des supports de culture. Lesdits projets de normes ont été lancés en enquête public de 3 mois. En décembre 2001, il y a lieu de signaler la participation aux travaux du Conseil Supérieur Interministériel, de la qualité et de la Productivité, pour homologation en normes marocaines des projets de normes en question.

**\* Promotion de l'utilisation rationnelle des engrais**

**◇ Formulation des engrais**

- Afin de mieux répondre aux besoins réels des cultures et de réduire le coût de la fertilisation par l'optimisation de l'utilisation des engrais, la DPV envisage la mise en œuvre, conjointement avec le groupe OCP d'un programme d'action en matière d'établissement des cartes de fertilité au niveau national.

**◇ Ferticonseil**

Le système ferticonseil sera testé dans un cadre de programme pilote au niveau des DPA de Settât, Khemisset et Sidi Kacem. Ce programme consistera en la réalisation des analyses du sol, la

recommandation de formules d'engrais, le suivi des réalisations et l'évaluation des résultats.

**Procédure :**

Dans le cadre de la mise en œuvre de ce programme, il sera procédé ainsi :

- Etablir la liste des agriculteurs concernés par ce programme;
- Faire des prélèvements des échantillons du sol et les transporter aux laboratoires;
- Interpréter les résultats des analyses de laboratoire et proposer les formules d'engrais appropriées;
- Assurer le suivi et l'encadrement des agriculteurs concernés;
- Evaluer le programme ferticonseil en question.

**Mesures d'accompagnement :**

Pour la réussite de ce programme, il y a lieu de réaliser les actions ci-après :

- Organiser des séances de formation au profit des techniciens des CT concernés par ce programme en matière des méthodes de prélèvement et de préparation des échantillons de sol;
- Doter les CT concernés de matériels de prélèvement (Tarières, sachets, ...etc.);
- Mettre à la disposition desdits techniciens les moyens de transport nécessaires pour réaliser le programme en question.

**\* Couleurs des sacs**

A ce titre, la DPV en collaboration avec la DPVCTRF et en concertation avec la profession ont étudié les possibilités de normalisation des couleurs des sacs d'engrais afin de faire face aux confusions créées par certains Industriels et revendeurs qui utilisent des couleurs de sacs d'engrais similaires pour les formules différentes et ce, malgré que le sac porte la désignation exacte de la formule.

**\* Introduction des fertilisants au Maroc**

L'importation de nouvelles formules d'engrais minérales et organiques par certaines sociétés sans aucun contrôle ou enregistrement préalable par le Ministère de l'Agriculture peut porter préjudice à notre environnement et au secteur agricole du fait que ces produits

peuvent contenir des agents pathogènes et/ou des éléments nocifs (les métaux lourds) ou ne pas être adaptés à nos conditions édapho - climatiques.

Afin de pallier cette situation, il y a eu création d'une commission composée des représentants de la DPV, DPVCTRE, l'INRA et l'IAV Hassan II. Cette commission est chargée

d'examiner, en collaboration avec la DCQ de Casablanca, la mise en place d'un registre national pour l'inscription pour l'importation de nouvelles formules d'engrais.

L. Gana<sup>1</sup>

## I. INTRODUCTION

La zone d'action de l'ORMVAD s'étend sur une superficie totale de 550.000 ha. Actuellement 61.000ha sont irrigués par la grande hydraulique et font partie du périmètre Bas service. La première tranche (16.000 ha) du périmètre Haut Service, qui présente une superficie de 64.000 ha, est mise en eau. Tandis que deuxième tranche s'étalant sur 19.000 ha est en cours d'équipement.

L'aménagement hydro-agricole de la plaine des Doukkala est fondé sur l'utilisation des eaux de l'oued Oum er-Rbia qui constitue la seule ressource en eau pour l'irrigation. En effet, le développement de l'irrigation à partir de l'Oum er Rbia date de 1958. La grande irrigation a eu des effets socio-économiques positifs sur les agriculteurs en améliorant le revenu des exploitations agricoles et constitue le support principal de la production agricole. La mise en eau du périmètre bas service des Doukkala a permis l'intensification de la mise en valeur et la diversification des spéculations pratiquées.

La région se caractérise essentiellement par les productions de betterave à sucre, céréales, maraîchages, lait et viande rouge. A titre indicatif, la région des doukkala produit 38% de la production nationale en betterave à sucre et 20% de la production nationale en lait commercialisé.

Afin de valoriser la production agricole, d'importantes unités agro-industrielles se sont implantées dans la région à savoir :

- deux sucreries;
- trois laiteries;
- une minoterie;
- une unité d'aliment de bétail;
- une cave de production de vin;
- 22 stations de conditionnement.

Aussi, l'activité agricole importante dans la région des Doukkala, génère plus de 8 millions de journées de travail par campagne agricole, permet la disponibilité de l'eau pour les ruraux et atténue l'exode rural.

Cependant, ce développement agricole qui est à l'origine de l'augmentation des revenus peut être aussi à l'origine des problèmes environnementaux dus, d'une part à une pratique agricole mal maîtrisée par les agriculteurs (préparation du sol, irrigation, apport de fertilisants et de produits agro-chimiques), et d'autre part aux problèmes d'assainissement urbains et aux activités des unités de transformation des produits agricoles qui génèrent des effluents (pollués) dont le déversement sans traitement préalable conduit à la dégradation du milieu récepteur.

Pour assurer la durabilité de ces ressources naturelles, la conservation de ces systèmes de production et pour mener à bien les trois principales missions qui lui sont assignées à savoir:

- l'aménagement des terres agricoles ;
- la gestion des réseaux d'irrigation et de drainage;
- la mise en valeur agricole,

l'ORMVAD, assure un suivi régulier de la qualité des eaux et des sols dans sa zone d'action, a instauré un système d'alerte, de contrôle et de suivi de la qualité des sources de production, mène des études d'impact et d'évaluation de l'état de ces ressources naturelles avant le démarrage de chaque projet d'aménagement et même après la mise en eau, équipe progressivement son laboratoire d'analyse des eaux et des sols et ces cellules de suivi sur le terrain et restent à l'écoute des problèmes des agriculteurs de sa zone d'action.

Ainsi, le présent exposé s'articule autour des points suivants:

- Les principaux résultats et recommandations résultant du diagnostic de la situation de la qualité des eaux et des sols dans le périmètre des Doukkala puisés des études réalisées par l'ORMVAD dans ce domaine;
- Les actions entreprises par l'ORMVAD.

## II- QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION

Le périmètre des Doukkala reçoit des eaux provenant de l'oued Oum Er Rbia.

Ce dernier, second fleuve au Maroc par l'importance de son bassin versant, est la seule source d'eau régulière dans la région des Doukkala dont il assure largement la couverture des besoins domestiques et d'irrigation. Les autres oueds qui traversent la région des Abda-Doukkala (oued Faregh, oued M'tal, oued Felfel,...) ont des régimes saisonniers et ne débitent qu'en période de crue.

La qualité physico-chimique de l'Oued Oum Er Rbia à l'amont est dégradée par les rejets des villes, des unités industrielles, des sucreries et l'agriculture intensive. La majeure partie de la pollution industrielle dans le bassin de l'Oum-Er-Rbia est produite dans la province de Beni Mellal. En effet, cette province abrite trois sucreries SUBN, SUTA et SUNAT qui rejettent des quantités importantes de matières polluantes.

Les résultats de suivi de la qualité de eaux d'irrigation dans le périmètre des Doukkala se résument comme suit :

- La conductivité électrique moyenne (CE) de l'eau d'irrigation est de l'ordre de 1,43 ms/cm (0,9 g/l). Cette eau est assez riche en sels de chlorures, de sodium et de sulfates. Les teneurs moyennes en nitrates (4,15mg/l), phosphates (1,62mg/l) et en matière organiques (4,54 mg/l) sont faibles. La comparaison de ces résultats d'analyses de la qualité de l'eau d'irrigation aux normes dictées par la FAO (1985) montre que cette eau peut être utilisée avec restriction légère .
- La classification de l'eau d'irrigation sur la base de la conductivité électrique selon l'échelle USDA montre que cette eau appartient à la classe C3-S1 (CE entre 0,75 et 2,25 ms/cm et SAR de 3,90), le sel dominant est le chlorure de sodium, ce qui indique un risque de salinisation des sols irrigués avec cette eau si la pratique de l'irrigation n'est pas pilotée de manière rationnelle et si les sols sont à drainage limité.

<sup>1</sup>chef de bureau de l'Environnement / ORMVA de Doukkala

- Les risques d'alcalinisation ou de sodification des sols demeurent faibles, le SAR moyen (Sodium Adsorption Ratio) est de l'ordre de 3,90.
- Le pH de cette eau se trouve dans la gamme normale (pH moyen est de 7,73).
- L'irrigation par ces eaux conduirait à l'accumulation de sels dans le sol et pourrait avoir des effets négatifs sur le rendement des cultures et des risques de salinisation du sol à long terme. En effet, des quantités de sels apportées par l'eau à chaque irrigation sont importantes : 271 kg/ha de chlorures, 130 kg/ha de sodium, 107 kg/ha de sulfates.... En Outre, le lessivage important des sels vers les eaux souterraines entraîne aussi une dégradation de leur qualité physico-chimique.
- Les risques de toxicité au sodium sont modérés dans le cas de l'irrigation gravitaire. Par contre, pour l'aspersion où les phénomènes de toxicité sont accentués par l'absorption foliaire des ions toxiques, les teneurs en sodium sont très élevées et dépassent largement la concentration modérée de 3 méq/l. En ce qui concerne les chlorures, les teneurs de cet élément sont très élevées, nécessitant des restrictions fortes commençant à partir de 10 méq/l pour l'irrigation gravitaire et à des concentrations bien inférieures pour l'irrigation par aspersion (3 méq/l).
- Les variations intra-annuelles montrent une relation étroite avec le régime hydrologique, les activités agricoles du bassin versant et avec les conditions climatiques. En effet, la qualité de l'eau accuse une légère dégradation, qui s'opère notamment en période estivale, liée au comportement hydrologique saisonnier de l'oued Oum er Rabia et à l'impact des pollutions urbaines, notamment les sucreries qui rejettent leurs déchets liquides bruts au niveau de l'Oued Oum er Rbia. La période hivernale est caractérisée par une diminution de la salinité globale des eaux engendrées par les pluies.

### III. QUALITE DU SOL

- Les sols des Doukkala se sont révélés non salins (97 % des sols analysés). Cependant des sites peu salins ont été rencontrés dans les casiers de Sidi Bennour, Faregh et Tnine Gharbia.

Cette salinité est causée essentiellement par la réduction de l'efficacité du système de drainage et se répartit sur l'ensemble du profil des sols.

Dans le périmètre des Doukkala, les zones touchées par la salinité affectent un territoire très limité et concentré dans quelque sites bien connus. Ce problème est relativement récent puisque son apparition a survécu après la mise en irrigation des terres. Cela peut être déduit des cartes pédologiques établies avant la mise en eau et qui ne montrent pas la présence de sols salés.

La salinité connaît également un régime saisonnier intra-annuel. En effet, la salinité diminue sous l'effet de la lixiviation occasionnée par les premières pluies, alors qu'elle augmente, et particulièrement dans l'horizon 0-40 cm, sous l'effet de la remontée capillaire des sels à partir des horizons profonds suite au dessèchement des horizons de surface durant les mois secs à la fin du cycle des cultures qui s'y trouvent installées.

- Les sols des Doukkala présentent des pH faiblement à moyennement basiques (7,3 à 8,5) sur leurs horizons de surface. Cependant, dans les horizons profonds, les pH sont moyennement basiques (7,8 à 8,5) à tendances alcalines (8,5 à 9).
- La teneur moyenne en matière organique des sols est faible et de l'ordre de 1,3%, la majorité des sols sont très pauvres en MO (< 1,5%). Le taux de perte après dix années, varie à travers les quatre principaux types de sols de 18 à 32%. Les pertes s'avèrent plus importantes dans les sols sableux. Les principales causes de déperdition de la matière organique des sols dans le périmètre sont:
  - la défaillances de gestion des résidus de récolte;
  - la mise en valeur intensive accompagnée d'une gestion inadéquate des résidus de culture. En effet dans le périmètre des Doukkala, les résidus de récolte sont généralement exportés hors des parcelles;
  - les conditions de température et l'irrigation assurent des conditions thermiques et hydriques optimales pour la minéralisation.

- Les sols du périmètre des Doukkala ont une densité qui varie de 1,07 à 1,85 g/cm<sup>3</sup>, elle dépasse généralement 1,5 cm<sup>3</sup>. Cette densité est assez forte. Les plus fortes densités correspondent aux sols les plus tassés qui ont une texture sableuse ou sablo-limoneuse. Cette compacité est plus importante dans les horizons sous jacsents que dans ceux de surface.

Le tassement du sol ne peut être que la conséquence directe des travaux du sol pratiqués par les agriculteurs du périmètre. Ces derniers utilisent principalement les outils à disque (cover-crop et charrue à disque) qui ne travaillent le sol que sur des profondeurs limitées généralement inférieures à 25 cm. Ces outils engendrent aussi la formation de semelles de labour et des accidents structuraux surtout dans les sols lourds. Ce qui porte préjudice à la stabilité structurale et à la fertilité physique du sol et par conséquent à la germination et à la levée des cultures.

### IV. QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

Les principaux résultats de suivi de la qualité des eaux souterraines se résument comme suit:

- Le pH est généralement compris entre 7 et 8,3 sans subir de variation significative. le pH moyen au niveau du périmètre est de 7,4.
- La conductivité électrique moyenne annuelle présente des variations importantes d'un casier à un autre. Elle varie entre:
  - 0,5 et 3 ms/cm, située au niveau du casier Tnine Gharbia;
  - 1 et 3,6 ms/cm située dans le casier Faregh;
  - 0,7 et 7,5 ms/cm située dans les casiers Zemamra et Sidi Bennour. Les CE les plus élevées se trouvent surtout dans les puits situés à proximité des rejets des eaux usées de Sidi Bennour et de Zemamra;
  - les zones bours et surtout celles situées à l'amont du périmètre irrigué, présentent une faible salinité.

En moyenne les eaux souterraines ont une conductivité électrique de 2,2 ms/cm. La caractérisation de la salinité de ces eaux selon la classification de la

FAO, permet de ressortir les catégories suivantes:

- une salinité faible des eaux (< 0,75ms/cm) : 10% des cas;
- une salinité moyenne des eaux (de 0,75 à 3 ms/cm) :75% des cas;
- une salinité forte des eaux ( de 3 à 5 ms/cm) : 10% des cas;
- une salinité très forte des eaux (> 5 ms/cm) : 5% des cas.

□ La teneur moyenne en nitrates au niveau des eaux souterraines est de 40 mg/l, elle varie entre 6 à 140 mg/l. La répartition des niveaux de la concentration nitrique est comme suit:

- 76% des puits ont des eaux avec des teneurs en nitrates inférieures à 50 mg/l et sont qualifiées de moyenne à bonne qualité;
- 16% ont des teneurs en nitrates comprises entre 50 et 100 mg/l, il s'agit d'une eau de qualité moyenne à mauvaise qualité;
- 8% ont des teneurs en nitrates supérieures à 100 mg/l et représentent des eaux de qualité très mauvaise. Cette situation se présente à proximité de la daya Z3 qui reçoit les eaux d'assainissement urbains et industrielles de la ville de Zemamra, au Nord-Ouest de Sidi Bennour où l'épandage et l'irrigation avec les eaux usées se fait à l'état brut et à Tnine Gharbia où la nappe est peu profonde et la fertilisation est importante à cause du maraîchage.

□ Le niveau de la nappe par rapport au sol dans le périmètre bas service est relativement profond et varie de 7 à 65 m. Au niveau du casier Faregh, la profondeur varie de 12 à 45m. Par contre au niveau de Tnine Gharbia, on trouve les profondeurs les plus faibles entre 7 et 37m. Au niveau de Zemamra, Sidi Bennour et Sidi Smail, la nappe semble être continue et varie de 12 à 65m de profondeur. La nappe perchée est peu profonde et peut atteindre 1,2 m de profondeur.

La nappe plioqua-ternaire a un sens d'écoulement orienté du sud-est vers le nord-ouest. La nappe des Doukkala s'écoule vers celle du sahel central et du sahel côtier qui constituent les exutoires naturels de l'unité hydrogéologique des Doukkala. L'alimentation de cette nappe se fait essentiellement par les pluies efficaces et les eaux d'irrigation.

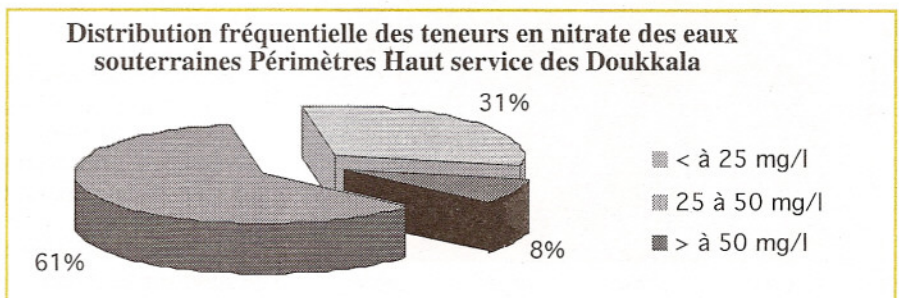
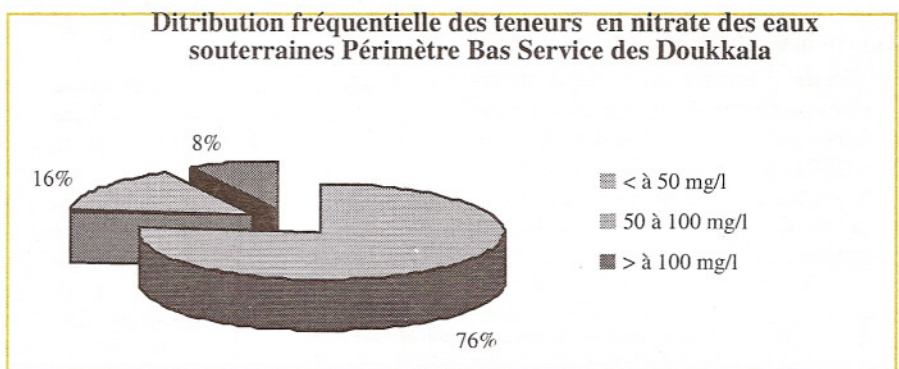
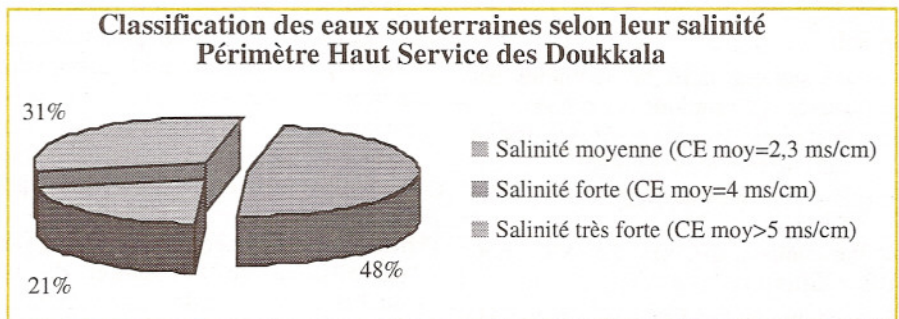
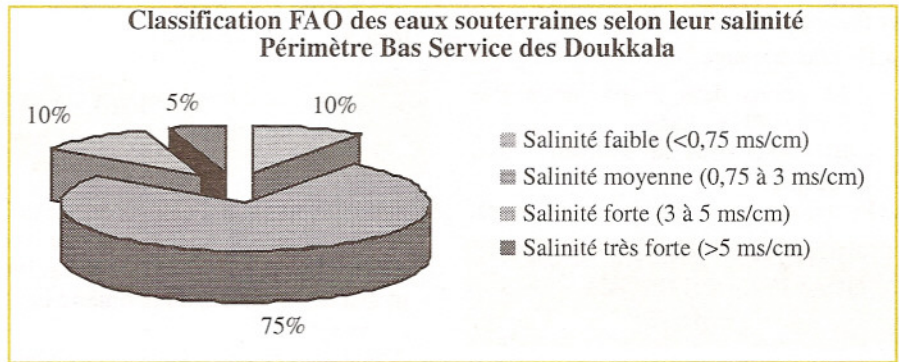
La nappe des Doukkala a connue une remontée globale dans tout le périmètre irrigué bas service au cours des trois années. Le taux de remontée est évalué de 0,8 à 3 m pendant trois années . La piézométrie connaît une évolution continue sous le périmètre irrigué.

La remontée du niveau piézométrique enregistrée au niveau de chaque casier est de:

- 3 m dans le casier Faregh;
- 2,4 m dans le casier de Sidi Bennour;
- 1,22 m dans le casier de Tnine Gharbia et;
- 0,80 m dans le casier Zemamra.

L'observatoire de la qualité des eaux et des sols se résume comme suit :

- ◆ Eau d'irrigation
  - 6 points dans le périmètre Bas Service



- 6 points dans le périmètre Haut Service
- ✓ Paramètres: CE, RS, pH, BI, OD, Turbidité et T
- ◆ Eau souterraine
  - 60 points dans le périmètre Bas Service ;
  - 40 points dans le périmètre Haut Service ;
  - 10 points dans le bour.
- ✓ Paramètres : CE, RS, pH, BI, Nitrates et Piézométrie
- ◆ Eau de drainage
  - 12 points dans le périmètre Bas Service (3 par casier)
  - 10 points dans le périmètre Haut Service
- ✓ Paramètres : CE, RS, pH, BI, Nitrates,

### V- OBSERVATOIRE DE LA QUALITE DES EAUX ET DES SOLS

OD, Turbidité

- ◆ Sols
  - 40 stations dans le périmètre bas service (10 stations par casier)
  - 15 stations dans les points localisés à salinité moyenne à élevée
  - 30 stations dans le périmètre Haut Service
- ✓ Paramètres: CE, pH, BI, MO, DA, BE, Infiltration

Les actions entreprises par l'ORMVAD pour la composante protection de l'environnement se résume comme suit:

- 1- Etude d'impact de l'irrigation sur l'environnement du périmètre Bas Service des Doukkala en collaboration avec la Faculté des Sciences d'El-jadida, dans le cadre du projet d'Amélioration de la Grande Irrigation (PAGI II) ;

- 2- Etude de diagnostic de la situation actuelle des ressources en eaux et en sols dans le périmètre Haut Service des Doukkala, dans le cadre du Projet de Gestion des Ressources en Eau (PGRE). Les objectifs assignés à cette étude sont:

\* disposer d'un état initial permettant d'évaluer les processus de détérioration qui pourraient affecter la qualité des eaux et des sols suite à l'irrigation et l'intensification de la mise en valeur agricole;

### VI- ACTIONS ENTREPRISES PAR L'ORMVAD

\* disposer d'une zone de référence qui est le haut service par rapport au bas service dans le système de suivi global de l'entièreté du périmètre haut et bas service.

\* diagnostiquer de la situation actuelle de la qualité des eaux (dans une centaine de points de prélèvements bien répartis dans les trois tranches du périmètre haut service) et des sols (dans 30 stations répartis dans les trois tranches d'irrigation du périmètre haut service selon les différents type de sol existant);

\*Instaurer un système de suivi et de surveillance de l'évolution de la qualité des eaux et des sols au niveau du périmètre Haut Service des Abda-Doukkala suivant un canevas optimisé.

- 3- Etude relative à la mise en place d'un système de suivi et de surveillance de la qualité des ressources en eaux et en sols dans le Périmètre Bas Service des Doukkala, pilotée et coordonnée par l'Administration du Génie Rural /DDGI/Service des Expérimentations, des Essais et de la Normalisation dans le cadre du Projet de Gestion des Ressources en eau (PGRE).

4- Acquisition par l'ORMVAD de matériel technique et scientifique destiné au renforcement du suivi environnemental au niveau du périmètre des Doukkala et équipement des cellules de suivi sur le terrain.

- 5- Introduction de la lutte biologique contre la prolifération et le développement de la végétation aquatique dans les canaux adducteurs des périmètres Bas et Haut Service et dont les objectifs sont :

- préservation de la qualité de l'eau et diminution du phénomène d'eutrophisation du milieu ;
- meilleur écoulement de l'eau dans les canaux ;
- réduction du coût d'entretien et curage.

- 6- Organisation de session de formation au profit des techniciens, ces sessions portent sur:

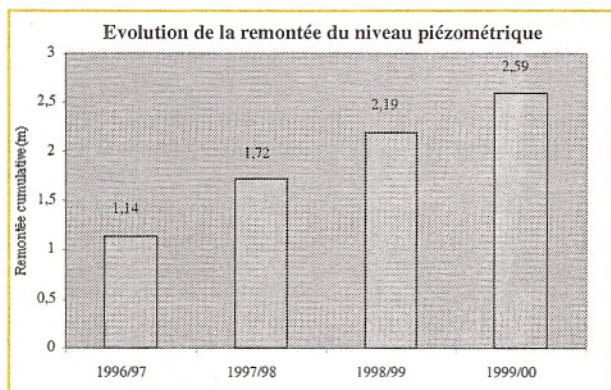
- les nouvelles méthodes d'analyses in situ au profit de 20 techniciens et agents techniques ;
- les méthodes d'échantillonnage et d'analyses de la qualité des eaux et des sols;
- la normalisation et réglementation de l'environnement;
- la problématique environnementale au niveau des périmètres irrigués ;
- l'amélioration de l'efficience et de l'utilisation de l'eau et des intrants dans le périmètre irrigué.

- 7- Suivi chez les agriculteurs :

Une équipe multidisciplinaire en matière d'irrigation et d'environnement a été constituée de cadres de l'ORMVAD et du SEEN pour l'encadrement et le suivi 20 agriculteurs dans le cadre du PGRE, et ce depuis la campagne 1999/00.

L'objectif de cette opération est de suivre la conduite culturale, comme elle est réellement pratiquée par l'agriculteur au niveau de sa parcelle. Les défaillances constatées permettront d'encadrer les agriculteurs suivis pour l'amélioration de leurs pratiques agricoles en vue de la préservation des ressources en eau et en sols. Le suivi consiste en :

- des prélèvements et analyses des échantillons de sol (avant et après récolte des cultures betterave à sucre et céréales);
- des prélèvements et analyses de l'eau d'irrigation et souterraine (en cas présence d'un puit) au niveau des parcelles de suivi;
- l'instruction des carnets de champs (un carnet par culture pratiquée au niveau des parcelles de suivi). Ce carnet



concerne les informations sur l'itinéraire technique et la conduite de la culture à savoir les travaux du sol, le semi, la fertilisation, l'irrigation et la récolte.

## VII. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

Les mesures d'accompagnement pour instaurer un observatoire de suivi, de surveillance et d'alerte de la qualité des

ressources en eau et en sol dans le périmètre des Doukkala se résument comme suit :

1- Création de cellules de suivi, d'alerte et de surveillance de la qualité des eaux et des sols dans le périmètre des Doukkala. L'objectif de cette opération est de mettre en place un observatoire de suivi, de surveillance de la qualité des eaux et des sols dans le périmètre irrigué des Doukkala ;

2- Renforcement des équipements de mesure ;

3- Mise au point d'un plan de formation, d'information et de sensibilisation sur la protection de l'environnement au profit des agriculteurs et des techniciens ;

4- Instauration d'un observatoire de suivi de la qualité des eaux et des sols dans le périmètre des Doukkala.

# ATTITUDES ET COMPORTEMENTS DES AGRICULTEURS EN MATIERE DE GESTION DES EAUX D'IRRIGATION : CAS DES RESERVES HYDRIQUES SOUTERRAINES DANS LA REGION DE SAIS.

M. EL Amrani, Z. Chattou

## Résumé :

*L'objectif de cette communication est d'étudier les facteurs ayant favorisé la diffusion des motopompes à eau dans la région de Sais et d'analyser les attitudes et comportements des agriculteurs en matière de la gestion durable des ressources hydriques souterraines dans une perspective de développement agricole durable.*

*Ce travail est le fruit d'une recherche menée dans le cadre du Programme d'Appui à la Recherche Scientifique (PARS). Il a été effectué sur le terrain auprès d'une centaine d'agriculteurs qui ont introduit les motopompes pour l'exploitation des eaux souterraines à des fins agricoles dans la région de Sais. Il s'est intéressé à l'analyse des stratégies adoptées par les agriculteurs en matière de creusement et d'approfondissement des puits, les techniques d'irrigation pratiquées et les conséquences à la fois sur les réserves hydriques et la qualité des eaux. L'ensemble des résultats de ce travail montre des attitudes particulières des agriculteurs vis à vis de la rareté de la ressource en eau et de sa qualité. Ceci est matérialisé par leur inefficience technique en matière d'irrigation et de fertilisation. Leur recours à des comportements parfois illicites en matière d'exploitation des eaux souterraines (méconnaissance et/ou attitudes défavorables vis-à-vis de la nouvelle loi 10/95 sur l'eau et les autres mécanismes de sa gestion n'est qu'une composante de ces attitudes. Cette communication propose quelques recommandations pour contribuer à la gestion durable des réserves hydriques et assurer la pérennité de l'agriculture irriguée dans la région.*

## INTRODUCTION

Au Maroc, l'agriculture représente un secteur capital de l'économie nationale. Elle contribue à environ 20% du produit intérieur brut, et occupe 36.6 % de la population active. Dans sa politique, le Maroc a tenté depuis l'indépendance de gérer une agriculture "dualiste caractérisée par : un secteur moderne irrigué dont la production est intensive et destinée à l'exportation, et un autre traditionnel pluvial, basé sur des cultures vivrières en extensif et pratiqué par 80% des agriculteurs. Pour cela, les pouvoirs publics ont opté dès les premiers plans de développement économique et social pour la modernisation de l'agriculture.

Pour pouvoir vivre dans ces conditions difficiles de production, les agriculteurs ont été amenés progressivement à développer de nombreuses stratégies adaptatives telles que la diversification des productions, le mode de faire valoir indirect des terres, la polyfonctionnalité des cultures pratiquées, la polyvalence, le recours aux activités extra-agricoles et l'utilisation des eaux de surface pour l'irrigation de petites surfaces par la confection de canaux superficiels dans les périmètres de petite et moyenne hydraulique (PMH) [Pascon et al., 1984, Zagdouni et Benatya, 1991].

Avec le phénomène de sécheresse qui a sévi au Maroc en général et dans les zones semi-arides et arides pluviales en particulier au début des années 1980, de nouveaux comportements ont commencé à se développer. Il s'agit notamment des creusements de puits et leur équipement par des motopompes à eau pour pratiquer des cultures irriguées. Ce phénomène spectaculaire concerne mêmes les zones situées dans les périmètres de la grande hydraulique.

Le recensement général agricole de 1996 montre que le nombre de motopompes acquises par les agriculteurs à l'échelle du pays dont 85% ont moins de 20 hectares, est passé depuis 1974, de 3899 à 154223. Malgré cette importance, très peu d'études existent relatives à l'exploitation des eaux souterraines dans les périmètres de petite et moyenne hydraulique. Dans la région de Sais le nombre de motopompes recensées vers 1996 a dépassé 4000 unités [MAMVA, RGA, 1998].

La sécheresse a été reconnue par les pouvoirs publics comme un phénomène structurel en 1995. Depuis, l'eau est considérée comme une ressource stratégique et rare. Tous les acteurs de développement agricole et rural sont désormais unanimes quant à la nécessité d'une gestion rationnelle des ressources hydriques existantes surtout les réserves souterraines destinées à des fins agricoles. Ces réserves d'eau souterraines sont alors l'espoir pour atténuer les problèmes de l'eau dans l'avenir.

C'est dans ce contexte que cette recherche s'est penchée sur l'analyse des conditions et facteurs ayant favorisé l'adoption des motopompes par les agriculteurs de la région de Sais et d'étudier les attitudes et comportements de ces derniers en matière de la gestion durable des ressources hydriques souterraines.

## 1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'étude a été réalisée auprès d'une centaine d'agriculteurs ayant introduit la motopompe dans la région de Sais (zone délimitée par la nappe phréatique de Fès-Meknès) dans le cadre du programme d'Appui à la Recherche Scientifique PARS. La superficie totale

I. Enseignants-chercheurs, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès.  
ENA BP S/40 Meknès Maroc. Tél : 212 55 300239/40/41 Fax : 212 55300238  
Mail : elamrani@enameknes.ac.ma , zchattou@enameknes.ac.ma

de la zone est répartie en 77.4% de SAU (dont 86% pluviales et 14% irriguées), 13.6% de parcours, 2.6% de forêts et 6.4% de terres incultes. Elle est dominée par la micro-propriété :

plus de 75 % des agriculteurs exploitent moins de cinq hectares ; 15% ont moins de 10 hectares et 3% seulement exploitent des superficies de plus de 50 ha. La structure foncière est caractérisée par l'existence de six statuts juridiques. Le melk ou la propriété privée représente 41.5% des terres, les terres collectives 20%, les terres relevant du domaine de l'Etat 17%, les terres distribuées dans le cadre de la réforme agraire 14%, les terres guich 5% et les terres habous 2.5%.

Les systèmes de production de la région sont dominés par les cultures pluviales (bour) qui occupent 86% de la SAU et l'élevage. Les assolements dépendent largement des conditions climatiques. Les principales cultures pratiquées par ordre d'importance sont les céréales (39%), l'arboriculture fruitière (18%), le maraîchage (13%), les légumineuses alimentaires (11%), les fourrages (8%) et les cultures oléagineuses (3%). La jachère occupe 10% de la SAU. Quant à la production animale, elle est caractérisée par la pratique de l'élevage bovin (13% de race pure (Holstein, Frisonne Pie -noire), 34% de race améliorée et 53% de races locales) et l'élevage des ovins et des caprins.

## 2. LES FACTEURS AYANT FAVORISE LA DIFFUSION DES MOTOPOMPES A EAU DANS LA REGION DE SAIS

L'introduction de l'innovation motopompe dans la région de Sais date du protectorat, mais sa diffusion massive n'a commencé que vers le début des années 1980 grâce à la conjugaison de plusieurs facteurs liés à l'aléa climatique et à la politique agricole (subvention, législation des eaux, vulgarisation, etc.).

### 2.1. Raisons d'adoption de la motopompe selon les agriculteurs enquêtés

Les facteurs ayant incité les agriculteurs à adopter la motopompe sont multiples. 28% des agriculteurs ont déclaré avoir adopté cette innovation suite à la période

de sécheresse qui a sévi dans la région de Sais au début des années 1980 afin de sécuriser leur production et sauvegarder leur cheptel. 34% l'ont introduite plus tard vu la plus grande rentabilité des cultures irriguées par rapport aux cultures pluviales. 18% l'ont introduite pour diversifier leurs systèmes de production et minimiser ainsi les risques qui pèsent sur les cultures pluviales.

En outre, 18% l'ont adoptée car leur part sociale de l'eau à partir des sources superficielles a diminué à cause de la baisse du débit ou le tarissement total de ces dernières. 10% des agriculteurs l'ont acquise par imitation d'autres agriculteurs après avoir constaté l'avantage comparatif qu'elle permet chez les premiers adoptants de la région. Enfin, 4% ont déclaré l'avoir adoptée pour augmenter leur superficie irriguée en prélevant l'eau souterraine une fois les sources superficielles tarées.

### 2.2. Effet de l'aléa climatique

L'étude des données climatiques des trente dernières années montre que la région a connu une sécheresse fréquente à raison d'une année sur deux. Ce phénomène a été très accentué au début des années 1980 qui ont connu quatre années consécutives de sécheresse, puis vers le début des années 1990. Cette situation se mble avoir eu une incidence sur les stratégies développées jusque là par les agriculteurs qui ont été obligés de recourir à l'exploitation des eaux souterraines par les motopompes. En effet, près de 56% des motopompes achetées par les agriculteurs enquêtés ont été introduites entre 1981 et 1990 et 38% entre 1991 et 1998.

### 2.3. Effet de la subvention dans le cadre du Fonds de Développement Agricole (FDA)

L'analyse des subventions accordées aux agriculteurs de la région de Fès-Meknès montre qu'elles représentent 8.4% de l'ensemble des subventions accordées à l'échelle nationale pour la rubrique creusement et équipement des puits en motopompes.

La subvention accordée est fixée à 40% du montant de l'investissement à hauteur d'un montant de 2 millions de dirhams pour les agriculteurs organisés dans le cadre de coopératives et à 30% pour les

agriculteurs non organisés. Par cette mesure, l'Etat cherche à encourager le regroupement des agriculteurs dans le cadre d'organisations professionnelles agricoles. Le nombre de puits et de motopompes subventionné durant la période de 1989 à 1997 est respectivement de 2993 et 5016 unités; soit 12% et 10% de l'ensemble des unités subventionnées à l'échelle nationale (MDRPM, 1998).

Dans le cas de notre étude, 29% des agriculteurs enquêtés ont bénéficié de la subvention accordée à l'achat des motopompes et 13% du creusement des puits. Ceci montre le rôle de la politique d'incitation du FDA dans la dynamisation de l'investissement des agriculteurs dans le creusement des puits et l'achat des motopompes. Ce constat pose également plusieurs interrogations sur la pertinence de cette politique si l'on connaît les conséquences perverses d'une diffusion massive et anarchique des motopompes dans la région comme on le verra plus loin.

### 2.4. La législation des eaux : un cadre favorable au creusement des puits et à la diffusion des motopompes à eau

Parmi les facteurs qui semblent favoriser la diffusion du creusement des puits et leur équipement par des motopompes pour prélever des eaux d'irrigation (bien que ces derniers aient été réglementés) nous pouvons noter un vide juridique en matière d'octroi des autorisations de creusement de puits et de prélèvement d'eau dans l'ancienne loi de 1925 qui régit la gestion des eaux au Maroc jusqu'en 1995. En effet, le creusement des puits était permis sans autorisation préalable. D'après l'article 6 de cette loi, "tout propriétaire peut, sans autorisation, creuser des puits sur son fonds, sous réserve des restrictions qui peuvent résulter des règlements de police. Il a le droit à l'usage des eaux à condition de ne pas nuire à l'alimentation publique et tous droits des tiers étant respectés". Seuls les prélèvements d'eau étaient soumis à autorisation si le débit à prélever dépassait 200 m<sup>3</sup> par jour (soit 2.31 l/s).

D'après notre enquête, seulement 15% des agriculteurs ont déclaré avoir une autorisation de creusement et de prélèvement des eaux. La réticence des

agriculteurs quant à la demande d'autorisation de creusement de puits et de prélèvement des eaux est justifiée par: la lenteur et la complexité des démarches administratives d'octroi des autorisations, les frais élevés du dossier, la simple transformation d'anciens puits destinés à l'eau potable en puits d'irrigation par approfondissement. Ceci concorde en effet avec les résultats de notre enquête qui montre que le nombre d'agriculteurs ayant bénéficié des subventions pour le creusement des puits ne dépasse pas 13% contre 29% pour ceux qui ont bénéficié de la subvention sur les motopompes à eau. En effet, les dossiers de demande des subventions, qui sont gérés par la Caisse Nationale du Crédit Agricole qui coordonne le Fonds de Développement Agricole réservé aux subventions, se font après l'aménagement du puits et l'acquisition de la motopompe. Ils sont constitués de plusieurs pièces justificatives dont celles du plan du puits établi par un architecte et du formulaire de demande d'autorisation de prélèvement des eaux adressé aux services des eaux et à la DRH.

Pour les responsables de la DRH que nous avons pu interroger, le nombre d'autorisations accordées aux agriculteurs de la région ne représenterait pas plus du tiers des usagers des eaux souterraines. Les chiffres exacts sur le nombre de puits et de motopompes à eau dans la région ne sont pas disponibles car le suivi et le contrôle des agriculteurs qui utilisent les motopompes à eau est très difficile à effectuer et n'a guère été une priorité pour cette administration à cause du manque de moyens humains et matériels. Ceci a favorisé la diffusion de la motopompe compte tenu de l'aléa climatique qui caractérise la zone et particulièrement le phénomène de sécheresse prolongée des années 1980.

Pour remédier à ce manque juridique, la nouvelle loi 10/95 sur l'eau promulguée en 1995 a fixé deux seuils pour l'autorisation : un seuil pour le creusement des puits et un seuil pour le prélèvement des eaux. Cependant, l'application de cette loi n'est pas encore entrée en vigueur notamment en ce qui concerne le décret de création de l'agence du bassin du Sebou qui réglementerait la gestion de l'eau dans

tout le bassin du Sebou dont la nappe de Fès-Meknès.

Il est à souligner cependant que 75% des agriculteurs enquêtés déclarent ne pas connaître l'existence de cette loi ni ces modalités d'application. Ceci implique la nécessité d'une grande campagne de vulgarisation pour les sensibiliser à la fois sur la rareté de la ressource en eau ainsi que sur la nécessité de sa bonne gestion afin de garantir la durabilité de l'agriculture irriguée dans la région.

### **3. L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES PAR LES MOTOPOMPES: UNE NOUVELLE STRATEGIE DES AGRICULTEURS DE LA REGION DE SAIS**

Le recours des agriculteurs à la motopompe exprime leur comportement adaptatif pour faire face à la sécheresse devenue de plus en plus structurelle. Ce comportement est matérialisé par la pratique de l'irrigation sur une partie de leurs exploitations et entre dans la logique de diversification des activités agricoles pratiquées afin de minimiser le risque d'une éventuelle transformation radicale de leurs systèmes de production. En effet, l'adoption de la motopompe à eau par les agriculteurs enquêtés de la région de Sais s'est accompagnée d'une diversification et d'une intensification des systèmes de production et du développement de certaines cultures aux dépens d'autres. Par rapport à la situation antérieure à la motopompe, la superficie réservée aux cultures irriguées par les adoptants de la motopompe est passée de 7% à 37%. La superficie moyenne irriguée par exploitation est passée de 0.5 ha à 4 ha. Le degré d'intensification (rapport entre la superficie cultivée et la SAU) est passé en moyenne de 105% à 130%.

L'analyse montre que suite à l'irrigation par motopompe, les superficies réservées aux cultures fourragères, à l'arboriculture et au maraîchage ont connu une nette augmentation. Par contre, les cultures céréalières, les légumineuses alimentaires, les oléagineux et la jachère ont régressé dans les assolements pratiqués. L'exploitation des eaux souterraines est donc une stratégie de minimisation des

risques par la diversification des systèmes de production pratiqués.

### **4. L'IMPACT HYDROLOGIQUE ET ENVIRONNEMENTAL DE LA DIFFUSION DES MOTOPOMPES DANS LA REGION DE SAIS**

L'étude des conséquences de l'exploitation des eaux souterraines par les motopompes à eau sur la nappe a été basée à la fois sur les enquêtes de terrains que nous avons effectuées auprès des différents acteurs concernés par la gestion de l'eau ainsi que sur l'analyse des différents travaux menés par certains chercheurs et les rapports établis par les administrations de l'eau à l'échelle centrale, régionale et locale sur la nappe Fès-Meknès. Les indicateurs utilisés dans cette évaluation sont l'évolution du niveau piézométrique de la nappe, l'évolution des débits ou le tarissement des sources superficielles et le comportement des agriculteurs en matière d'irrigation et de fertilisation.

L'ensemble des résultats de la recherche convergent vers le constat général de l'absence de la notion de la rareté de la ressource en eau chez les agriculteurs (inefficience technique en matière d'irrigation et de fertilisation azotée) et leur recours parfois à des pratiques illicites.

#### **4.1. Impact hydrologique de la diffusion de la motopompe**

##### *4.1.1. Evolution des niveaux piézométriques*

La nappe phréatique du Plio-quatenaire est exploitée uniquement au moyen de puits. Leur nombre, leur répartition et la quantité prélevée ne sont pas connus avec précision. Il existe 63 piézomètres qui permettent de suivre le niveau de la nappe phréatique. Au cours des deux dernières décennies, certains ont baissé de 9 mètres, mais en général les niveaux ont globalement baissé de 3 à 5 mètres.

L'analyse des données que nous avons pu collecter sur les cinq principaux piézomètres représentatifs des paliers de la nappe de Fès-Meknès, montre que le niveau piézométrique a connu une baisse continue depuis les années 1980 qui va de 5 mètres à 17 mètres.

Ces résultats sont à notre sens alarmants à plus d'un titre. Ils montrent que la nappe phréatique commence à être surexploitée et puisque les niveaux de fluctuation qui permettent au cycle de l'eau de recharger la nappe et sauvegarder son équilibre sont largement dépassés. Le bilan entre les prélèvements des eaux par pompage et la recharge est déficitaire. Notons à ce niveau l'absence d'études hydrologiques récentes pour actualiser les données sur le bilan hydrologique (entrées et sorties) au niveau du bassin de Fès-Meknès. Ce bilan est nécessaire

pour permettre une meilleure gestion de la ressource par l'adéquation entre l'eau disponible et les prélèvements.

#### **4.1.2. Attitudes et stratégies des agriculteurs en matière d'exploitation et de gestion des eaux souterraines**

##### **4.1.2.1. Les stratégies d'approfondissement des puits et d'augmentation des superficies irriguées**

D'après notre recherche, 62% des agriculteurs déclarent avoir procédé à l'approfondissement des puits et au creusement de galeries souterraines dans le sens d'écoulement de la nappe depuis une dizaine d'années. Ce pourcentage nous semble très éloquent et signifie que la nappe ne cesse de se rabattre. Les objectifs recherchés par les agriculteurs derrière cette pratique sont multiples: augmenter les quantités d'eau d'irrigation surtout en été et accroître les superficies irriguées. L'approfondissement des puits varie de 8 à 20 mètres.

De plus, près de 24% des exploitations ont vu leur superficie irriguée augmenter depuis l'introduction de la motopompe pour la première fois. L'accroissement des superficies irriguées traduit la recherche par les agriculteurs d'une plus grande sécurisation de la production. Ceci est considéré l'administration de l'eau et le législateur comme un comportement illicite en matière de prélèvement d'eau puisque les agriculteurs qui déclarent le creusement de puits s'engagent dans leur demande d'autorisation de prélèvement à se limiter à un débit bien déterminé et une superficie bien délimitée et à ne procéder ni à son augmentation ni au changement des parcelles à irriguer.

Chez les agriculteurs enquêtés, la superficie irriguée a connu une augmentation de près 29%. Cette augmentation de superficie irriguée a été permise par le recours soit au creusement de plusieurs puits sur la même exploitation ou à l'acquisition de moteurs plus puissants. En effet, près de 15% des agriculteurs ont plus d'une motopompe à eau.

Les stratégies développées par les agriculteurs pour augmenter les quantités d'eau prélevées sont très diverses. En l'absence d'un contrôle rigoureux de l'administration certains ne déclarent à la DRH qu'un seul puits et une fois ils obtiennent l'autorisation, ils creusent d'autres puits " clandestins ". D'autres, optent pour l'augmentation des débits prélevés en achetant des moteurs plus puissants et des pompes à diamètre plus grand que celui déclaré initialement.

##### **4.1.2.2. Les techniques d'irrigation utilisées**

Les techniques d'irrigations pratiquées sont dominées par le gravitaire (98%). Le système de goutte à goutte n'est pratiqué que par quelques exploitations arboricoles (2%). Le nombre moyen d'irrigations est de 7. Le volume d'eau lâchée pour chaque irrigation varie d'une culture à une autre. Le volume moyen est de 800m<sup>3</sup> par hectare.

L'irrigation dite à la "robta" est la prédominante. Il s'agit d'une technique traditionnelle qui consiste à irriguer à la raie courte ou à plat dans des bassins de petites tailles (50 mètres environ). Parmi les raisons qui poussent les agriculteurs à l'utiliser, on cite la mauvaise qualité de planage et du nivellement des terres. Avec cette technique, l'uniformité de la répartition de l'eau dans un même bassin n'est pas bonne car le débit utilisé, surtout pour les motopompes puissantes, détruit en partie les billons ou transporte la terre. L'uniformité de répartition est encore plus faible au niveau de la parcelle dans la mesure où le remplissage des bassins est soumis à l'appréciation visuelle de l'irriguant qui coupe l'alimentation lorsque l'eau a ruisselé sur toute la surface du sol.

Plusieurs études menées sur les systèmes d'irrigation au Maroc montrent que la technique d'irrigation à la robta entraîne une perte de surface non négligeable (environ 15%) et le rendement de l'irrigation dans le bloc est de 50% à la robta, soit un rendement de l'irrigation à la parcelle de 60% (Yacoubi, 1999).

Les agriculteurs ont cependant développé trois techniques d'acheminement de l'eau depuis la station de la motopompe jusqu'aux parcelles à irriguer. La première consiste à transporter l'eau pompée à partir des puits dans des canaux ou des tuyaux de plastic jusqu'à la parcelle (26% des cas). La seconde consiste dans un premier temps à stocker l'eau pompée dans des bassins en bétons construits à côté de la station de pompage puis procéder à des lâchers d'eau ultérieurement une fois la quantité nécessaire à l'irrigation disponible. Cette technique est pratiquée par 10% des agriculteurs qui n'ont pas de grandes réserves d'eau dans leurs puits. Ces derniers nécessitent plusieurs heures pour pouvoir se remplir à nouveau. Enfin, la troisième technique est la plus dominante (44%). Elle consiste à lâcher directement l'eau pompée sur la parcelle à irriguer même si celle-ci se trouve parfois éloignée de la motopompe. Cette technique entraîne un grand gaspillage d'eau surtout pendant la période d'été et au cours des années sèches.

##### **4.1.2.3. Consommation et valorisation de l'eau par les cultures pratiquées.**

Toutes les recherches antérieures réalisées sur le bassin de Fès-Meknès que nous avons consulté n'ont pas abordé jusqu'à présent l'aspect relatif à la valorisation des eaux d'irrigation par les cultures pratiquées dans la région. La valorisation de l'eau d'irrigation est un indicateur sur le comportement des usagers des eaux d'irrigation en matière d'exploitation et de gestion de cette ressource. Pour ce faire nous avons calculé le ratio (volume d'eau utilisée/besoins en eau théorique de chaque culture irriguée) pour l'année de l'enquête.

Nous avons pu noter que l'efficacité technique de l'irrigation est très faible

car les agriculteurs apportent des quantités d'eau supérieures aux besoins des cultures. Le volume excédentaire varie de 14% à 93, ce qui signifie que la même quantité d'eau pourrait irriguer presque le double de la superficie si les agriculteurs adoptent des techniques qui économisent l'eau (aspersion et goutte à goutte). Ainsi, à part l'olivier et l'oignon d'hiver, toutes les autres cultures irriguées reçoivent une quantité d'eau qui dépasse largement leurs besoins théoriques. Les principales cultures qui sont consommatrices de l'eau sont la pomme de terre de saison, les carottes, le chou et l'oignon de printemps.

Cette grande consommation d'eau est due à plusieurs facteurs notamment les techniques d'irrigation pratiquées qui sont dominées par le gravitaire et le choix des cultures elles-mêmes. En effet, les quatre principales cultures maraîchères les plus consommatrices d'eau sont pratiquées durant la période de printemps et d'été où la température est très élevée et les précipitations sont très faibles. Les faibles ratios calculés pour l'olivier et l'oignon d'hiver peuvent s'expliquer par le fait que le premier est traditionnellement conduit en pluvial et reçoit rarement une irrigation d'appoint et que le cycle végétal de la deuxième coïncide avec la période pluvieuse ce qui permet d'économiser l'eau d'irrigation. La faible efficacité de l'irrigation gravitaire pratiquée par les agriculteurs conjuguée à l'extension des superficies irriguées seraient les principales causes de la diminution du niveau de la nappe.

#### **4.2. Impact de la diffusion de la motopompe sur la qualité des eaux souterraines de la nappe de Fès-Meknès**

Pour l'analyse de l'évolution de la qualité des eaux souterraines, nous avons synthétisé les informations et données à partir des rapports de la DRH. Cette analyse a été complétée par l'estimation des quantités de produits fertilisants utilisés par les agriculteurs enquêtés.

La qualité des eaux souterraines est suivie régulièrement deux fois par an par la DRH depuis 1989 à l'aide d'un réseau de puits, mais les données ne sont pas traitées systématiquement, ce

qui nous a amené à travailler sur les valeurs brutes disponibles et les synthétiser. L'historique sur l'état et la qualité des eaux souterraines souligne qu'en 1989/90, la pollution observée au niveau de certains points situés dans la nappe phréatique de Sais est essentiellement d'origine azotée et pourrait être due à des apports ponctuels d'origine agricole ou animale. En 1991/92, on note une dégradation croissante de la qualité des eaux puisque 30% des puits ont des teneurs en nitrates qui excèdent la norme nationale de potabilité fixée à 50 mg/l. Entre les deux années de 1994 et 1995, le pourcentage de points de prélèvement échantillonnés avec une eau de qualité globale bonne est passé de 40% à 21 % et celui des points de qualité mauvaise est passé de 31 à 34%. Ce qui montre une réelle détérioration de la qualité des eaux durant cette période. Le facteur dégradant de la qualité de l'eau est resté le même à savoir des teneurs en nitrates assez élevées. En outre, durant l'année 1995/96, la qualité minérale, organique et bactériologique des eaux de la nappe de Fès-Meknès a été jugée globalement bonne bien que la qualité globale d'environ 40% des stations ait été dégradée à cause de la teneur élevée en nitrates [DRH, 1989/1995].

Cependant, vu le manque d'études, les rapports de la DRH soulignent que les causes de cette pollution seraient dues aux infiltrations des eaux d'irrigation et de pluies dans les régions agricoles où l'usage des fertilisants est fréquent. L'étude réalisée par Ourbaa (1996) sur le diagnostic du niveau des nitrates dans les eaux souterraines de la région de Meknès reste la seule référence à notre connaissance en la matière à l'heure actuelle. Elle a porté sur l'analyse de l'eau de 85 puits (7 à Hadj kaddour, 33 à Bouderbala, 25 à Sabaa Ayoun et 20 à Ain Taoujdate). Les résultats de cette recherche montrent que 18.2% des puits analysés dépassent la norme de potabilité nationale fixée à 50 mg/l avec un maximum de 87.9 mg/l en deuxième prélèvement ; 34.1% des puits ont des teneurs variant de 25 à 50 mg/l et les autres puits (47%) ont des teneurs inférieures à 25 mg/l.

Les facteurs qui expliquent la variation des teneurs en nitrates dans les puits

sont par ordre d'importance : la quantité d'azote utilisée, la profondeur de la nappe et le temps de renouvellement des réserves des puits. A ces facteurs s'ajoutent d'autres d'ordre qualitatif à savoir la dominance des cultures maraîchères irriguées et le mode d'irrigation gravitaire [Ourbaa, 1996]. Le principal enseignement à tirer de cette étude est que les assolements contenant le maraîchage contribuent le plus à la pollution de la nappe phréatique avec les nitrates. Ceci peut s'expliquer à la fois par les fortes doses d'azote apportées à ces cultures et par le mode d'irrigation exclusivement gravitaire ou par submersion qui favorise le lessivage d'azote en profondeur. Les cultures fourragères, céréalières et légumineuses ne semblent pas avoir un effet polluant sur la nappe puisqu'elles sont relativement peu fertilisées, ne sont pas irriguées ou ne reçoivent qu'une irrigation d'appoint. L'arboriculture fruitière semble être la moins polluante car le système d'irrigation utilisé par certains agriculteurs ne favorise pas le lessivage et la migration des nitrates en profondeur.

L'enquête que nous avons menée auprès des adoptants de la motopompe à eau montre que l'utilisation des fertilisants est en augmentation continue. Les formules d'engrais utilisées sont le NPK (14-28-14) comme engrais de fonds et l'ammonitrate à 33% ou l'urée à 46% comme engrais de couverture. L'analyse des résultats montre que les agriculteurs sont non efficaces techniquement en matière d'apport d'engrais azotés sur les cultures irriguées. En effet, les doses appliquées sur les cultures irriguées dépassent largement les normes recommandées par la recherche agronomique. Les taux moyens que nous avons calculés montrent que les cultures d'oignon, de pomme de terre, de pommier et d'amandier reçoivent des doses très élevées avec des ratios respectifs de 207%, 191% et 138% par rapport aux normes préconisées par l'INRA. L'importance des quantités d'engrais utilisées (65% sur les cultures irriguées et 35% sur celles pluviales) a indéniablement un effet écologique par l'augmentation du taux des nitrates dans la nappe phréatique et la salinisation des

## Références Bibliographiques

- Daraji F. (2000). Contribution à l'évaluation de l'impact socio-économique et hydrologique de la diffusion de la motopompe à eau pour l'exploitation des eaux souterraines dans la région de Sais. Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès. Maroc.
- Direction Régionale de l'Hydraulique de Fes (DRH) (1988). Enquête sur les prélèvements d'eau agricole dans le Causse Moyen Atlasique et le bassin de Meknès-Fès. Rapport intermédiaire.
- Direction Régionale de l'Hydraulique de Fes (DRH) (1989/1995). Rapports sur l'état de la qualité des ressources en eau dans la région hydraulique de Sebou. Fahim H. (1998). Projets des agriculteurs et dynamiques locale : cas de l'adoption de la motopompe à eau dans la région de Sais. Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès. Maroc.
- Garnati O. (1998). Contribution à l'étude l'impact de la diffusion de la motopompe à eau sur les systèmes d'exploitation et l'agriculture durable de la région de Sais. Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès. Maroc.
- MAMVA (RGA). [1998]. Recensement général agricole au Maroc. Résultats préliminaires.
- MAMVA [1995]. Stratégie de développement agricole et rural .
- Ourbaa A. [1996]. Diagnostic du niveau des nitrates dans les eaux souterraines et de surface dans la Wilaya de Meknès. Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès. Maroc.
- Yacoubi S. [1999]. Economie de l'eau d'irrigation. Bulletin de transfert de technologie en agriculture. N°58. MADRPM-DERD, Rabat.
- Zagdouni M., Benatya D. [1991]. Stratégie de production et aléas climatique: quelques remarques méthodologiques. In. Options méditerranéennes, série A n°21. CIHEAM, IAM-Montpellier.

sols. Jusqu'à présent ce problème n'a pas été rapporté ni par les agriculteurs enquêtés ni par les recherches antérieures et les rapports disponibles sur la pédologie de la région.

## CONCLUSION

Cette recherche a permis de montrer que l'adoption de la motopompe par les agriculteurs de la région de Sais est le résultat de plusieurs facteurs liés : à l'aléa climatique, aux caractéristiques socio-économiques des exploitations (revenus annexes, présence d'un successeur familial, etc.), aux mesures de la politique agricole (subvention, défiscalisation) et au cadre législatif qui régit l'exploitation de l'eau au Maroc. Le phénomène de la diffusion massive de la motopompe a été déclenché par la sécheresse des années 1980 qui a sévi dans la région plusieurs années consécutives. Il traduit un nouveau comportement adaptatif des agriculteurs pour faire face à cette nouvelle situation.

L'adoption de la motopompe à eau par certains agriculteurs de la région de Sais engendre de grands changements sur les systèmes de production, sur les activités des exploitants et les membres de leurs familles, sur la dynamique locale et les revenus des agriculteurs.

Cependant, sa diffusion anarchique n'est pas sans effets pervers. Les résultats de l'analyse de l'évolution du niveau piézométrique de la nappe phréatique de Fès-Meknès montrent que celle-ci connaît une exploitation excessive depuis les années 1980. Le rabattement de la nappe peut varier de 5 à 17 mètres selon les paliers piézométriques.

Cette situation est due en plus de la sécheresse au prélèvement des eaux souterraines suite à la diffusion des motopompes dans la région. Le comportement des usagers d'eau agricole, la nature des cultures pratiquées, les techniques d'irrigation utilisées et l'extension des superficies irriguées ont une incidence sur la quantité et la qualité des eaux souterraines. Les techniques d'irrigation utilisées sont dans 99.3% des cas de type gravitaire, ce qui entraîne un énorme gaspillage de l'eau. Les

volumes d'eau d'irrigation apportés aux cultures dépassent de loin leurs besoins théoriques.

L'intensification des cultures irriguées moyennant la fertilisation azotée a une incidence sur la dégradation de la qualité des eaux souterraines. L'évolution de la teneur des nitrates dans l'eau montre que celle-ci augmente de façon continue et concerne la plupart des puits analysés. Les estimations que nous avons réalisées montrent que les cultures irriguées notamment la pomme de terre, l'oignon et l'arboriculture fruitière surtout le pommier, reçoivent des doses d'engrais azotés très supérieures aux normes préconisées par la recherche agronomique.

Il s'avère donc sur la base de ces résultats, qu'un grand effort serait à déployer en matière de vulgarisation agricole pour pouvoir assurer la pérennité de l'agriculture irriguée dans la région. La formation des agriculteurs, leur sensibilisation sur la rareté de l'eau et la diffusion de techniques d'irrigation économes en eau seraient des mesures urgentes pour améliorer la situation actuelle. En outre, la politique d'incitation menée dans le cadre du FDA devrait être conditionnée par l'acquisition des agriculteurs des nouvelles technologies économes de l'eau (aspersion, goutte à goutte). Par ailleurs, la gestion durable des ressources hydriques passe indéniablement par la création de l'agence du bassin de Sebou qui devrait entamer des études sur le bilan hydrologique de la nappe et la détermination des seuils de creusement de puits et des prélèvements des eaux afin de contrôler le rythme de la diffusion des motopompes à eau dans la région.

*Le gisement de phosphate exploité à Youssoufia fait partie du bassin sédimentaire dit de Gantour.*

*L'extraction minière a d'abord concerné le phosphate clair, puis, vers la fin des années 70, le phosphate dit "noir" situé en pleine zone noyée.*

*Des investigations et études hydrogéologiques ont été menées pour caractériser les aquifères présents dans la série phosphatée. Les résultats de ces études ont montré qu'il s'agit d'aquifères médiocres et difficilement exploitables par les moyens habituels (puits, forages...) étant donné leurs faibles caractéristiques hydro-dynamiques (perméabilité et coefficient d'emmagasinement).*

*Toutefois, la technique d'exploitation minière dite par foudroyage favorise l'accumulation et la circulation des eaux dans les chantiers d'extraction. De ce fait, un pompage était devenu nécessaire pour assurer l'activité dans des conditions normales de sécurité et de faisabilité. L'eau extraite fait l'objet d'un suivi permanent sur le plan qualité et quantité. Elle a été mise en valeur notamment à travers :*

- La création d'espaces verts par l'OCP.
- Le développement de micro-exploitations par les riverains (périmètres irrigués).

*La présente communication se propose de présenter la situation en la matière sous 3 aspects:*

- *Le point sur les investigations et les études hydrogéologiques de la zone noyée de Youssoufia.*
- *La caractérisation qualitative des eaux d'exhaure.*
- *Les retombées de l'utilisation de cette eau sur l'environnement et sur les riverains.*

## INTRODUCTION

Le secteur minier de Youssoufia est situé dans le Nord-Ouest du bassin de Gantour, deuxième zone phosphatière du Maroc. Ce bassin est calé entre les deux massifs primaires des Rehamna au Nord et des Jbilet au Sud. L'étendue de la zone minière est de 20 km du nord vers le sud et de 40 km d'est en ouest, soit une superficie totale de 800 km<sup>2</sup>.

L'exploitation minière avait d'abord commencé par le phosphate dit "clair" qui longe les limites d'affleurements de la série phosphatée au Nord et à l'Ouest et qui se trouve dans une zone sèche. L'extension de l'exploitation vers le Sud a concerné le phosphate dit "noir" situé en zone noyée.

Les eaux d'exhaure sont des eaux souterraines liées à l'exploitation minière souterraine des phosphates de la région de Youssoufia. Ces eaux proviennent d'une nappe supérieure généralisée dans la région et dont le substratum est constitué par des argiles yprésiennes omniprésentes. Ce substratum subit des effondrements sous l'action du foudroyage consécutif à l'épuisement des zones exploitées. Ce phénomène provoque l'inondation partielle ou totale des mines souterraines. L'exploitation exige le pompage des eaux d'exhaure vers la surface.

L'identification de l'environnement hydrogéologique à l'échelle régionale et locale, était nécessaire pour mieux cerner la problématique de l'eau dans les exploitations souterraines.

## 1- HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE NOYEE DE YOUSOUFIA

Le programme hydrogéologique entamé par l'O.C.P depuis 1979 a consisté en la création de zones pilotes avec captages sélectifs des différentes formations. Ce programme a contribué à lever certaines difficultés d'interprétation du

fonctionnement hydraulique du complexe aquifère de la série phosphatée.

### Etude de la nappe supérieure :

L'étude détaillée de la nappe supérieure se justifie par le fait qu'elle soit à l'origine de la quasi-totalité des venues d'eau dans les chantiers souterrains.

Faciès lithologiques et modes d'écoulements.

On peut distinguer deux termes différents par leur lithologie et par leurs caractéristiques d'écoulements :

Le terme de base reposant directement sur le substratum argileux, constitué par la couche des "11 m" sablo-siliceuse est légèrement phosphatée. La puissance de cette couche est en moyenne de 11 m au droit des Recettes 7 et 8 (valeurs comprises entre 7 et 14 m).

Elle est minimum dans le secteur Ouest (Recette 9) où elle varie de 1,70 m à 7 m (moyenne de 4 m) et maximum dans le secteur Est (recette 4) où elle atteint 24 m. ("recette" désigne une mine d'exploitation du phosphate) Le terme de sommet est une série hétérogène formée essentiellement par un faciès marno-calcaire siliceux avec intercalation de niveaux sableux légèrement phosphatés. Cette série peut être coiffée localement (principalement

au niveau des thalwegs) par quelques mètres d'alluvions plio-quaternaires.

Cette différenciation dans le terme supérieur laisse supposer l'existence probable de plusieurs entités aquifères au sein de cette même nappe supérieure pouvant donner naissance à des nappes perchées locales. Ainsi on peut distinguer :

- Un écoulement interstitiel dans la couche sablo-siliceuse des "11m", mais aussi un écoulement de fissure quand cette couche devient dure.
- Un écoulement complexe dans la série marnocherteuse, via les réseaux de

fissures et de chenaux de dissolution ainsi qu'à travers les niveaux sableux.

- Un écoulement dans le complexe de calcaires à thersités essentiellement dans sa partie supérieure altérée et karstifiée.
- Un écoulement subhypodermique dans les remplissages alluvionnaires des thalwegs alimentés directement par l'infiltration pluviale.

L'existence de nappes perchées locales plus ou moins isolées du système global est confirmée par plusieurs puits O.C.P. Ainsi les eaux qui s'infiltrèrent pendant la période pluvieuse sont d'abord stockées dans les couches supérieures jouant le rôle de régulateur sur l'année pour l'alimentation des nappes plus profondes.

#### Caractéristiques hydrodynamiques :

Les essais d'eau entrepris dans les zones hydrogéologiques pilotes ont permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe supérieure globale. Le tableau IV résume les résultats de ces essais.

Ces essais de pompage ont été modélisés (méthode des éléments finis) en régime permanent et en régime transitoire; leur calage ont donné des résultats (transmissivité, coefficient d'emmagasinement, rayon d'action) similaires à ceux obtenus par interprétation classique.

La transmissivité moyenne correspondante est de l'ordre de 2. 10-4 m2/s. Cette faible valeur se traduit par des débits de pompage et de drainage relativement faibles.

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement (inférieures à 10-3) sont faibles par rapport à celles des nappes libres à semi-libres (ce qui est le cas pour la nappe supérieure). Cette situation trouve son explication dans les points suivants :

La porosité est principalement du type porosité de fissures.

Seuls certains niveaux sont productifs (de l'ordre de 1/1000 de la puissance aquifère). Etant données ces caractéristiques hydrodynamiques, l'eau des aquifères de la zone de Youssoufia n'est pas économiquement mobilisable.

#### Interaction Eau – Exploitation :

##### Méthode d'exploitation :

L'exploitation mécanisée (soutènement hydraulique marchant et abattage mécanisé) consiste à évoluer horizontalement et à extraire le minerai par creusement sur un front de taille de largeur variant de 30 à environ 80m. Le vide ainsi créé est comblé par les foudroyages (effondrements contrôlés) des couches supérieures dès que l'avancement a lieu. Les couches de phosphates se trouvent à des profondeurs variant de 80 à 150m.

##### Origine et analyse des venues d'eau :

L'eau observée dans les chantiers d'exploitation provient essentiellement de la nappe supérieure. Cette manifestation (de l'eau) est grandement facilitée dans les zones d'exploitation

par le foudroyage. Ce dernier augmente la productivité de la nappe et favorise l'emmagasinement de l'eau dans les chantiers souterrains.

## 2- CARACTERISATION QUALITATIVE DES EAUX D'EXHAURE :

A fin de caractériser les eaux d'exhaure et les eaux de nappe dans la région, un échantillonnage régulier est effectué. Les résultats moyens des analyses sont donnés dans le tableau ci-après :

#### Toxicité de certains ions :

Le risque d'une toxicité des cultures par les ions Na+ et Cl- est à écarter en raison de leurs faibles concentrations.

#### Paramètres bactériologiques :

Le suivi de la qualité bactériologique des eaux d'exhaure et ses effets sur le

Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux d'exhaure et de la nappe dans la région de Youssoufia :					
Site de prélèvement					
Paramètres	Recette 7	Recette 8	Recette 9	Puits 79 (Marrakchia) *	Djenane EL Kheil
PH	7.52	7.78	7.76	7.29	8.27
M.E.S (mg/l)	-	243	308	-	-
NO3- (mg/l)	1.27	1.53	1.28	1.47	0
NH4+ (mg/l)	0	0	0	0	0
NO2- (mg/l)	0	0	0	0	0
PO4 3-(mg/l)	0.04	2.70	0.84	0.036	0.024
Cl- (mg/l)	191.7	124.3	259.2	138.5	205.9
Na+ (méq/l)	3.65	2.35	4.10	3.05	4.45
K+ (méq/l)	0.08	0.08	0.11	0.04	0.03
Ca++(méq/l)	6.25	4.75	5.75	5.75	3.50
Mg++(méq/l)	5.25	4.25	6.0	4.25	8.25
S.A.R (2)	1.52	1.10	1.69	1.36	1.83
Cu (mg/l)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
Fe (mg/l)	0.10	0.10	0.20	0.20	-
	0.001	-	-	-	-
	0.20	0.20	0.20	-	-
	0.21	0.12	0.16	0.07	0.03

(\*): situé entre les recettes 7 et 8, CE : conductivité électrique; MES : matière en suspension ; S.A.R : coefficient d'adsorption du sodium

Paramètres	Unité	Valeurs Moyennes trouvées		Valeurs limites
		Recette 8	Recette 9	
Coliformes fécaux	/100 ml	187	4013	5000/ml
Salmonelles	/100 ml	0	0	Absence dans 5 l

Paramètres	Unité	Valeurs Moyennes trouvées		Valeurs limites
		Recette 8	Recette 9	
Conductivités	µS/cm	1107	1073	12 000
Salinités	Ppm	0,93	0,97	7680

Les résultats d'analyses des eaux d'exhaure ne montrent aucun dépassement par rapport aux normes.				
Paramètres	Unité	Valeurs Moyennes trouvées		Valeurs limites
		Recette 8	Recette 9	
Bicarbonate	Ppm	327	319	518
Matières en suspension	Ppm	154	519	2 000
N-NO3-	Ppm	4,78	3,18	50
PH	pH	7,68	7,63	6,5 - 8,5
Sulfates	Ppm	189	137	250
Température	°C	25	26	35

sol nous ont permis de conclure que ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation sans aucune restriction.

#### Salinité :

La conductivité et la salinité permettent d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. Les résultats obtenus montrent que les eaux d'exhaure sont de faible minéralisation et de conductivité moyenne. Ces valeurs sont inférieures aux valeurs préconisées par la norme.

#### Effets divers :

Ces paramètres ne constituent pas un risque sanitaire mais peuvent éventuellement avoir un impact négatif sur le rendement agricole pour certaines cultures sensibles.

#### Teneurs en éléments azotés :

Les analyses montrent l'absence des ions ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et nitrites (NO<sub>2</sub>)

Les concentrations en azote nitrique sous forme de nitrates, NO<sub>3</sub> sont faibles et ne dépassant pas le seuil de 1.6mg/l.

### 3 - VALORISATION DES EAUX D'EXHAURE A DES FINS AGRICOLES

Le pompage de ces eaux à commencé avec l'extraction souterraine des phosphates durant les années 70, depuis lors, leur débit n'a cessé d'augmenter pour atteindre actuellement plus de 2.500 m<sup>3</sup>/jour et par recette.

L'utilisation de ces eaux d'exhaure en agriculture (irrigation) a commencé vers la fin des années 70 et pris de l'ampleur

au début des années 80, épisode marquée par plusieurs années de sécheresse. Cette utilisation a concerné au départ la sylviculture. Le périmètre de boisement réalisé par l'OCP compte à ce jour plus de **300.000 arbres**. Depuis, les superficies irriguées par les eaux d'exhaure n'ont cessé d'augmenter. De nombreuses micro-exploitations ont vu le jour, au fil des années, le long des conduites d'eau amenant les eaux

d'exhaure.

L'étude fait le point sur la situation actuelle de l'utilisation des eaux d'exhaure et examine les perspectives de son développement avec l'objectif de déboucher sur des propositions permettant une utilisation, rationnelle, efficiente et durable de ces eaux.

Parallèlement, l'étude examine aussi les possibilités de développer une activité agricole irriguée dans la région sur des terrains faisant partie du patrimoine foncier de l'OCP qui se trouve hors des zones d'utilisation des eaux d'exhaure. Cette activité sera basée sur le pompage de l'eau souterraine.

#### Climat :

D'après la zonation écoclimatique des régions arides de l'Afrique du nord (Le Houérou, 1990) la région de Youssoufia est située dans une zone à climat aride moyen (pluviométrie entre 200 à 300 mm) à hiver tempéré.

En ce qui concerne la répartition mensuelle des précipitations, le mois le plus pluvieux est novembre avec une moyenne de 47,8 mm et le plus sec est

Concentrations maximales en éléments traces recommandés pour les eaux d'irrigation (d'après la FAO)

Elément	Concentration permise (mg/l)	
	Pour une utilisation continue sur tous les sols	Pour une utilisation jusqu'à 20 ans sur sols à texture fine à pH 6.0 à 8.5
Aluminium (Al)	5.00	20.0
Arsenic (As)	0.10	2.0
Béryllium (Be)	0.10	0.5
Bore (B)	0.75	2.0
Cadmium (Cd)	0.01	0.05
Chrome (Cr)	0.10	1.0
Cobalt (Co)	0.05	5.0
Cuivre (Cu)	0.20	5.0
Fluor (F)	1.0	15.0
Fer (Fe)	5.0	20.0
Plomb (Pb)	5.0	0.0075
Lithium (Li)	0.075	0.075
Manganèse (Mn)	0.20	10.
Molybdène (Mo)	0.01	0.05
Nickel (Ni)	0.20	2.0
Sélénium (Se)	0.02	0.02
Vanadium (Va)	0.1	1.0
Zinc (Zn)	2.0	10.0

juillet. La période pluvieuse s'étale sur la période allant d'octobre à mai avec une répartition assez homogène entre novembre et mars.

A noter que la transmissivité de cette nappe est faible avec une aire d'alimentation située dans une région aride recevant une pluviométrie inférieure à 250 mm. Des nappes perchées locales de moindre importance peuvent l'alimenter épisodiquement mais ce phénomène reste limité.

Une campagne de jaugeage du débit des eaux d'exhaure au niveau du point de rejet dans le canal en béton (juste en aval de la localité Sidi Ahmed), menée entre le 20 et le 26 février 1986 par la Direction de la Région Hydraulique de Tensift en collaboration avec la Direction Provinciale de l'Agriculture a révélé un débit moyen de 66 l/s soit 5700 m<sup>3</sup>/jour.

Les chiffres exacts des débits refoulés à l'heure actuelle des trois recettes (7, 8 et 9) et du volume consommé en irrigation, par l'usine de calcination ou perdu par infiltration sont difficiles à établir avec exactitude. Toutefois, on peut retenir 6.000 m<sup>3</sup>/jour comme débit moyen des eaux d'exhaure produites.

#### Types de sols :

Faute d'une carte pédologique de la région de Youssoufia, nous avons pu décrire quelques profils par prélèvement d'échantillons du sol pour analyse. Les résultats de ces investigations sont rapportés par les tableaux 7 et 8.

Sur les cinq types de sol décrits et analysés, trois sont irrigués, le quatrième est cultivé en bour et le dernier (piste d'atterrissage) est non cultivé.

Les principaux type de sol rencontrés dans la région sont comme suit:

#### Sols d'alluvions peu évolués :

Ce type de sol est rencontré dans le fond des lits des oueds ou des cours d'eau (lit de l'oued Kouchkat et Djenane El Kheil) parce qu'ils sont des sols formés ailleurs et apportés par l'érosion hydrique. Ils sont des sols à texture en général limoneuse en surface et plus argileuse en profondeur. Ils présentent des pentes et des charges caillouteuses faibles et d'une profondeur supérieure à 40 cm. Ils

sont fertiles et aptes à l'irrigation.

Toutefois, ils présentent une contrainte dans la mesure ou leur texture limoneuse en surface peut entraîner une mauvaise perméabilité du sol et la formation d'une croûte de battance qui pourrait gêner la levée de certaines cultures. Cette contrainte peut être corrigée par des apports abondants en fumier et par une maîtrise de l'irrigation.

#### Sols marrons sur pente :

Ce type de sol est rencontré sur le flanc des oueds. Ce sont des sols bien développés, riches en matière organique (teneur supérieure à 2%) et bien structurés ce qui leur confère une bonne fertilité. Néanmoins, ils présentent plusieurs facteurs limitants à savoir :

- Une pente assez forte qui ne permet pas une irrigation gravitaire à moins qu'on utilise l'irrigation localisée.
- Une charge caillouteuse importante qu'on peut atténuer par une opération d'épierrage.
- Enfin, une profondeur limitée qui reste la contrainte majeure qu'on ne peut pas corriger.

#### Sols marrons, terrain plat :

Ce sont des sols à très faible pente, assez profonds et développés sur une roche mère meuble (marne) ne présentant pas de contrainte majeure à l'exception de la charge caillouteuse à laquelle on peut pallier par une simple opération d'épierrage. Ces sols sont aptes à l'irrigation et peuvent accepter diverses cultures rencontrées dans la région (céréales, maraichages, fourrage, olivier, etc.).

#### Sols fersiallitiques rouges lessivés :

On rencontre ce type de sol dans le site

d'atterrissage qui fait partie du patrimoine foncier de l'OCP. Ce sont des sols qui ont une faible pente mais peu fertile. Leur profondeur est limitée par une dalle de calcaire dur, assez épaisse que même un défonçage ne saurait améliorer cette situation. La texture est sablonneuse en surface avec une teneur en matière organique de 0,9%. En profondeur la texture devient limoneuse avec une teneur en matière organique également faible. Ce type de sol est à écarter pour l'irrigation. Toutefois, il peut dégager une valeur ajoutée importante s'il est reboisé par des espèces forestières adaptées.

#### Situation de la mise en valeur agricole actuelle :

L'utilisation des eaux d'exhaure en irrigation a commencé vers la fin des années 70 mais elle a pris de l'ampleur après les sécheresses qu'a connues le Maroc au début des années 80.

Proposition de typologie des exploitations agricoles utilisant les eaux d'exhaure		
Superficie irriguée	Nombre d'agriculteurs	
	Effectif	En %
0 - 1 ha (inclus)	17	40
1 - 2 ha	22	51
4 - 5 ha	4	9
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>100</b>

D'après une enquête exhaustive réalisée par la Direction Provinciale de l'Agriculture de Safi pendant la campagne 1995-1996, le nombre d'agriculteurs irriguant avec les eaux d'exhaure était de 43 occupant une superficie de 72 ha. Depuis, d'autres agriculteurs se sont installés le long des conduites d'amenée des eaux d'exhaure.

Assolement pratiqué en irrigation par les eaux d'exhaure dans l'Oued Kouchkat (enquête DPA 1996)		
Cultures	Superficie (ha)	Occupation du sol (%)
Céréales (orge)	5	7
Légumineuse (fève, petit pois)	5	7
Maraîchage (oignon, tomate, courgette, menthe)	7	10
Arboriculture (olivier, figuier, autres)	25	35
Fourrage (Luzerne essentiellement)	30	41
<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>100</b>

Actuellement le nombre d'agriculteurs utilisant les eaux d'exhaure en irrigation est estimé à 50 environ irriguant une superficie d'environ 100 ha.

#### Cultures pratiquées :

Ces agriculteurs pratiquent en général l'agriculture pluviale et notamment l'élevage. Ils utilisent les eaux d'exhaure en irrigation pour améliorer leur revenu en pratiquant de l'arboriculture ou des cultures rémunératrices comme le maraîchage. Ils consacrent plus de 40% de la superficie irriguée pour produire du fourrage (luzerne en particulier) pour leurs troupeaux comme le montre le tableau ci-dessous :

#### Aspects économiques :

La main d'œuvre occasionnelle est considérée comme un bien induit qui

participe au développement économique de la région.

La main d'œuvre permanente fait partie des charges fixes et ne figure ni dans la marge brute ni dans la valeur ajoutée.

Ces calculs ont essentiellement été basés sur l'assolement rapporté plus haut ainsi que sur les normes nationales relatives aux cultures pratiquées dans la région. Les rendements potentiels ont été réduit de 50% pour tenir compte des déficiences en matière de sol et de moyens mis en oeuvre dans la valorisation actuelle des eaux d'exhaure.

Ainsi, un hectare assolé dégage une marge brute de 11.000 DH par an. Par ailleurs et étant donné que la superficie moyenne par agriculteur est de 1,7 ha, la marge brute induite par les eaux d'exhaure serait de 18.000 DH environ

par exploitation et par an.

A l'échelle de l'Oued Kouchtat, la valeur ajoutée totale dégagée par l'utilisation des eaux d'exhaure atteint environ 1.500.000 DH par an.

A ces chiffres, il faudrait ajouter la valorisation qui résulte de l'utilisation des fourrages (40% des superficies irriguées par les eaux d'exhaure) en élevage et qui n'est pas prise en considération dans les calculs ci-dessus.

Bien entendu, le calcul agro-économique ne tient pas compte du coût de pompage de l'eau, pris en charge par l'OCP.

Valeur ajoutée et marge par les différentes cultures irriguées par les eaux d'exhaure de Youssoufia							
Cultures	Charges (DH/ha)		Production			Valeur ajoutée brut (DH/ha)	Marge brute (DH/ha)
	Variables ou intrants	Main d'œuvre	Rendement (t/ha)	Prix moyen (DH/t)	Valeur de product. (DH/ha)		
Total par hectare assolé	4.900	3.712	11	1.880	19.740	14.840	11.128

# UN LOGICIEL POUR L'OPTIMISATION DE L'ALLOCATION DES RESSOURCES EN EAU EN PERIODE DE SECHERESSE

B. Essafi<sup>1</sup> et N. Boudhrioua<sup>1</sup>

*De nos jours, les programmes prévisionnels de planification de la fourniture de l'eau d'irrigation pour une campagne agricole constituent une préoccupation majeure dans la gestion des ressources en eau au sein des périmètres irrigués. Afin d'aider à la décision quant à l'allocation des ressources en eau en période de rareté, le présent travail a pour objectif d'élaborer un logiciel d'optimisation de l'allocation des ressources en période de sécheresse. En effet, l'allocation des ressources en eau pour l'irrigation en période de pénurie peut être mieux planifiée en utilisant un modèle de système qui tend à rendre minimal la différence entre les demandes et les allocations des cultures. Connaissant les demandes en eau annuelles des cultures irriguées, un premier algorithme de programmation dynamique avec contraintes prévues à l'avance optimise l'allocation des ressources en eau dans l'espace (volume annuel par culture irriguée). Puis, on utilise les prévisions des apports d'eau au barrage desservant, les demandes en eau potable ainsi que les pertes au niveau de la retenue et avec un deuxième algorithme de programmation dynamique on alloue les optima annuels dans le temps pour la mise au point du programme d'allocation totale des ressources (volumes mensuels par culture irriguée). Ainsi, on donne la planification optimale des irrigations au cours de la campagne agricole tout en simulant le stock d'eau dans le barrage en amont.*

*Le logiciel ALOPT ainsi élaboré comporte un ensemble de modules organisés en menu principal et sous menus. Après avoir introduit les données et paramètres du modèle, les résultats sont disponibles sous formes de tableaux et graphes. On note essentiellement les modules d'optimisation ainsi que le module de test de sensibilité qui est primordial pour la prise de décision. Enfin, on montre l'apport de cet outil informatique par une application sur le cas du périmètre des Doukkala au Maroc.*

**Mots clés:** ressources en eau, allocation, planification, gestion, programmation dynamique, optimisation, logiciel.

## I. INTRODUCTION

Au début de chaque campagne agricole, les services de gestion des ressources en eau établissent un calendrier des besoins sur la base duquel un programme de lâcher à partir des barrages est établi. Ce programme tient compte aussi des besoins de la production d'électricité et des besoins en eau potable. En période de pénurie, les disponibilités en eau au niveau des barrages au début de la campagne agricole sont insuffisantes pour entamer un programme normal d'utilisation (donner les besoins en eau nécessaires). Un programme "réduit" est alors choisi parmi plusieurs hypothèses d'apports futurs. Parallèlement, au niveau des retenues de barrages, au début de chaque année hydrologique, des prévisions d'apports d'eau annuels sont émises.

Les fournitures d'eau sont alors établies sur la base des éléments suivants:

- la réserve disponible au barrage au début de l'année (septembre);
- les apports prévisionnels selon les différentes hypothèses d'occurrence;
- les pertes par évaporation et fuites; et
- la réserve à garder en fin de d'année

pour assurer le démarrage de la campagne agricole suivante (fin août).

En matière d'irrigation, afin d'atténuer les effets de la sécheresse, on préconise des restrictions dans la politique de fourniture. Dans ce contexte général de rationalisation de la gestion des retenues de barrages et pour une maîtrise globale de l'eau dans les périmètres irrigués, le Département de l'Équipement et de l'Hydraulique de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (Rabat) a entrepris une série d'études ayant pour objectif la mise au point d'un système d'information de gestion de barrages en temps réel. Après la base des données sur les barrages "DATABAR" et le logiciel "SITBARR" pour le suivi des barrages élaborés en 1995, le logiciel "ALOPT" objet du présent article s'oriente vers une optimisation de l'allocation des ressources en eau en période de sécheresse au sein d'un périmètre irrigué (Boudhrioua, 1996). Etant donné un volume en eau disponible (amont) pour l'irrigation qui ne satisfait pas les besoins en eau des cultures irriguées (aval), on cherche à déterminer une planification optimale des lâchés durant la campagne agricole pour minimiser les dommages au niveau

du périmètre irrigué (chutes des rendements).

## II. METHODE D'ALLOCATION DES RESSOURCES EN EAU

Le programme d'irrigation, pour répondre au programme de culture donné dans les grands périmètres irrigués, est lié d'une part aux volumes d'eau disponibles au niveau des retenues, et d'autre part aux apports d'eau escomptés pour l'année hydrologique. Dans le cas d'insuffisance du volume d'eau disponible un programme "réduit" basé sur des restrictions est choisi parmi plusieurs hypothèses d'apports futurs. Ces restrictions sont de deux sortes, les unes relatives aux superficies à emblaver et dont la décision doit être prise en début de campagne agricole pour les cultures annuelles et au printemps pour les cultures d'été, les autres relatives à une réduction des dotations mensuelles allant de 0 à 50% selon le stade de développement végétatifs des cultures et son effet sur la chute de rendement. Le présent travail s'intéresse aux restrictions sur les dotations en eau (superficies fixes).

<sup>1</sup> Professeur à II.A.V. Hassan II

L'évaluation des ressources et besoins en eau à la veille de la campagne agricole ainsi que la dotation globale et la réserve de soudure attendue pour la campagne suivante passe par:

- la valeur de la réserve de soudure disponible au 1er septembre;
- les valeurs mensuelles des apports prévisionnels;
- du plan de culture;
- des besoins en eau à la parcelle, en tête du réseau et au pied du barrage; et
- des besoins en eau d'autres entités.

### III. SCHEMA D'OPTIMISATION DE L'ALLOCATION DES RESSOURCES

Du point de vue décision sur les allocations, en cas de restriction sur les programmes prévisionnels de fournitures d'irrigation, on procède par une double allocation suivant le processus décisif suivant:

1. décider sur l'allocation annuelle pour chaque culture irriguée; ensuite
2. décider sur les allocations mensuelles culture par culture.

Ceci se traduit en terme d'optimisation par une allocation dans l'espace (par culture) puis par une optimisation dans le temps de ces optima (par mois). Certes, pour les mathématiciens, ce raisonnement est équivalent à dire que la somme de deux optima est une

### IV. ALLOCATION OPTIMALE DES RESSOURCES EN EAU

Etant donnée deux cultures  $i$  et  $j$ , avec des demandes en eau annuelles connues  $D_i$  et  $D_j$  (besoins en eau). Soit  $X$  la ressource en eau (volume disponible) avec  $X \leq D_i + D_j$ . Le problème est de trouver une manière d'allouer la ressource  $X$  entre les deux cultures  $i$  et  $j$  afin de minimiser une certaine fonction de pénalité (Essafi, 1992).

Soient,  $A_i$  et  $A_j$  les fournitures respectives aux cultures  $i$  et  $j$  et soient  $d_i$ ,  $d_j$  et  $d_{ij}$  les pénuries définies par:

$$d_i = D_i - A_i; d_j = D_j - A_j \text{ et } d_{ij} = d_i + d_j$$

Il est évident que  $A_i$  et  $A_j$  doivent être non négatifs donnant  $d_i \leq D_i$  et  $d_j \leq D_j$ . Il est supposé qu'une situation de pénurie est présente, si bien que  $A_i \leq D_i$  et  $A_j \leq D_j$  donnant  $d_i \geq 0$  et  $d_j \geq 0$  et par conséquent  $0 \leq d_{ij} \leq D_i + D_j$ . Les méthodes les plus communément rencontrés pour l'allocation des ressources sont les systèmes de priorité et les systèmes d'équité (Essafi, 1992).

#### 1. Les systèmes de priorité

Une culture donnée a la plus haute priorité pour l'eau qu'une autre dues à certaines raisons subjectives ou objectives (chute des rendements des cultures, valeur économique des

culture 1 a une priorité plus haute que la culture 2, sélectionner alors  $a_1 > a_2$ .

#### 2. Les systèmes à équité

Chaque demande de culture reçoit une allocation proportionnelle à la ressource disponible. Un tel cas se traite par des fonctions de pénalité du type suivant :

$$C_i = a_i d_i^2$$

avec  $a_i$  le produit des demandes  $D_j$  ( $j=1, \dots, j \neq i, \dots, j=nc$ ),  $nc$  le nombre de cultures irriguées.

#### 3. Autres systèmes

Afin de manier les systèmes quelconques, on utilise une fonction de pénalité du type puissance (coût sur la production en fonction du déficit en eau) dont les paramètres  $a$  et  $b$  sont à choisir par l'utilisateur.

$$C_i = a_i d_i^b$$

avec  $a_i$  le produit des demandes  $D_j^{(b-1)}$  ( $j=1, \dots, j \neq i, \dots, j=nc$ ),  $nc$  le nombre de cultures irriguées.

Il convient dans ce cas de déterminer au préalable ces paramètres par une étude statistique pour expliciter le revenu net en fonction de la restriction sur l'eau pour chaque culture dans la région.

### V. PROGRAMME D'OPTIMISATION DANS L'ESPACE

Dans l'allocation optimale des ressources en eau, des contraintes sur une allocation minimale qui doit être satisfaite ressortent. Ils sont du type  $A_i \geq a_i D_i$  donc  $d_i \leq D_i$  ( $1 - a_i$ ).

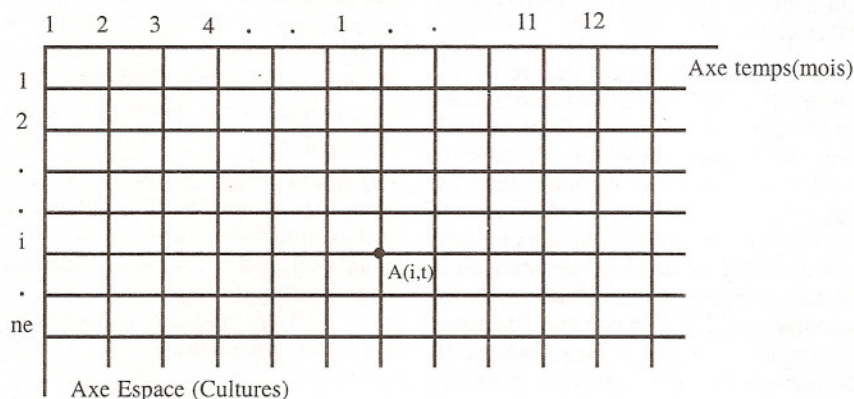
#### 1. Fonction objectif

$C(D) = \sum_{i=1}^{nc} a_i b^h$ ,  $b > 1$  condition de convexité  
avec:  $d_i = D_i - A_i$  déficit=demande - allocation  
 $nc$ : nombre de cultures irriguées;  
 $i$ : indice de la culture;  
 $a_i$ : coefficient de la fonction de pénalité;  
 $d_i$ : déficit en eau pour la culture  $i$  ( $Mm^3$ );  
 $b$ : exposant de la fonction de pénalité;  
 $D$ : vecteur décision [ $d_1, d_2, \dots, d_{nc}$ ],  
stratégie optimale des allocations; et  
 $C$ : fonction économique objectif.

#### 2. Modèle d'optimisation (programme mathématique non linéaire)

$$C(D) = \sum_{i=1}^{nc} a_i b^h$$

Sous contraintes



solution optimale ce qui pose des critiques du point de vue théorique. Dans ce qui suit, on va mettre le problème d'optimisation de l'allocation en équations en se basant sur l'idée d'optimisation en deux étapes déjà décrite.

récoltes, pression politique ou sociale, etc.). Pour optimiser ces systèmes, on doit choisir une fonction de pénalité linéaire du type:

$$C_i = a_i d_i$$

avec ( $a_i$ ) l'indice à choisir afin de raisonner la priorité établie, i.e., si la

$\sum_{i=1}^n d_i = d_{imp}$ , avec  $d_{imp}$  = demande totale du périmètre - allocation correspondante.

$d_i \leq dl_i, \forall i=1,2,\dots,nc$ , avec  $dl_i$ =déficit limite, tolérance de la culture  $i$ .

$d_i \leq 0, \forall i=1,2,\dots,nc$ . (restrictions de non négativité).

## VI. PROGRAMME D'OPTIMISATION DANS LE TEMPS

A ce niveau d'optimisation, l'allocation optimale en volume annuel est déterminée pour chaque culture irriguée, c'est à dire que la somme des déficits mensuels à appliquer sur chaque culture est fixée à un déficit annuel optimal. On dégage ainsi, les contraintes globales du programme mathématique de l'optimisation dans le temps.

### 1. Fonction objectif

Pour chaque culture du périmètre, on suppose la fonction de pénalité suivante:

$$C_i(D_i) = \sum_{t=1}^{12} K_i(i,t)d(i,t)$$

avec:

$t$ : indice du mois de l'année hydrologique;

$ky$ : coefficient de la fonction de pénalité (coefficient de chute de rendement, réponse de la culture à l'eau);

$d(i,t)$ : déficit en eau mensuel pour la culture  $i$  pendant le mois  $t$  ( $Mm^3$ );

$D$   $t$ : vecteur décision [ $d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, d_{i,12}$ ], stratégie optimale des allocations mensuelles; et

$C_i$ : fonction économique objectif pour la culture  $i$ .

### 2. Modèle d'optimisation (programme mathématique linéaire)

$$\text{Min} C(D_i) = \sum_{t=1}^{12} K_i(i,t)d(i,t)$$

Sous contraintes

$$\sum_{i=1}^{12} d(i,t) = d_{opt}(i)$$

$$d(i,t) \leq dl(i,t) \quad \forall t=1,2,\dots,12.$$

$$d(i,t) \geq 0 \quad \forall t=1,2,\dots,12.$$

avec:

$d_{opt}(i)$ : le déficit annuel optimal résultant du programme d'optimisation dans l'espace; et

$dl(i,t)$ : déficit en eau tolérable pour la culture  $i$  pendant le mois  $t$  (correspondant aux besoins d'allocation minimale) en  $Mm^3$ .

## VII. OPTIMISATION TOTALE

L'idée d'optimisation totale revient à optimiser les allocations annuelles pour les cultures irriguées par le programme d'optimisation dans l'espace, ces optima seront des inputs dans le programme d'optimisation dans le temps pour en décider sur la répartition mensuelle de ces optima culture par culture. En effet, ce programme mathématique linéaire sera systématiquement exécuté pour chaque culture irriguée.

Une fois le programme optimal de planification des allocations est déterminé, le logiciel ALOPT vérifie la contrainte sur le stock minimal dans le barrage pour chaque mois  $S(t)$   $S_{min}(t)$  par l'équation de bilan suivante:

$$S(t+1) = S(t) + Q(t+1) - I(t+1) - \text{Evap}(t+1) - \text{AEPI}(t+1) - Dv(t+1) - \text{Inf}(t+1)$$
 avec

$S(t)$ : stock d'eau effectif au barrage en fin du mois  $t$  ( $Mm^3$ );

$S_{min}(t)$ : stock d'eau minimal au barrage en fin du mois  $t$ ;

$Q(t)$ : apports mensuels au barrage;

$I(t)$ : irrigations mensuelles (résultats des programmes d'allocation optimale);

$\text{Evap}(t)$ : pertes mensuelles par évaporation au niveau de la retenue;

$\text{AEPI}(t)$ : volumes mensuelles pour l'alimentation en eau potable et l'industrie;

$Dv(t)$ : déversement au barrage; et

$\text{Inf}(t)$ : infiltration à la retenue.

On suppose que le terme  $(Dv(t) - \text{Inf}(t))$  est négligeable.

Lorsque la contrainte sur le stock minimal en fin d'un mois  $t$  à maintenir au barrage est violée, le logiciel ALOPT reprend l'optimisation en allouant la différence de stock enregistrée entre les cultures en ce mois  $t$  par un système à priorité inverse basé sur la comparaison des coefficients de chute de rendement de ces dernières (si la culture  $i$  est plus sensible au déficit en eau que  $i'$  pendant ce mois  $t$  ayant  $Ky(i,t) > Ky(i',t)$ ). Minimiser les pertes revient à pondérer  $i$  par 1 et la culture  $i'$  par 2.

## VIII. PRESENTATION DU LOGICIEL ALOPT

Le langage de programmation utilisé pour l'élaboration de ce programme est le Turbo-C++ de Borland International (version 3.0 sous le système d'exploitation DOS). Le logiciel

ALOPT est exécutable sur des micro-ordinateurs PC est compatible. Son exécution requiert un espace mémoire de 253 Kilos octets. Il offre la possibilité d'imprimer toutes les résultats.

Sous sa version 1.0 (1996), la logiciel offre les options suivantes:

- DONNEES (inputs)
- TRAITEMENTS (calculs d'optimisation et test de sensibilité)
- RESULTATS (résultats de l'allocation optimale des ressources en eau)
- BARRAGE (résultats de la simulation du stock d'eau dans le barrage)
- SYSTEME (sortie temporaire ou définitive sur DOS)

### 1. Structure des fichiers de données

**Nota:** les données ainsi que les résultats tablés sont en Millions de mètre cubes d'eau.

Les données sont introduites sous forme de projet englobant cinq fichiers, 4 pour les données et 1 pour les paramètres du modèle d'optimisation.

#### DONNEES

Fichier \*.bar

nom du barrage (8 caractères sans espace intermédiaire)

réserve en eau au barrage en début du mois de septembre

apports mensuels (sept,.....,août)

perdes mensuelles

demandes mensuelles AEPI

stocks minimales mensuelles en fin de chaque mois

Fichier \*.don

nombre des cultures irriguées (<14)

efficience globale du système d'irrigation

superficies irriguées (ha)

nom du périmètre (8 caractères sans espace intermédiaire)

nom de la culture 1 (8 caractères sans espace intermédiaire)

nom de la culture 2 (8 caractères sans espace intermédiaire)

.

nom de la culture  $i$  (8 caractères sans espace intermédiaire)

.

nom de la culture  $nc$  (8 caractères sans espace intermédiaire)

Fichier \*.dat

Matrice des besoins en eau des cultures irriguées (les cultures en lignes et les

## Références Bibliographiques

- Boudhrioua, N. 1996. "Elaboration d'un logiciel pour l'optimisation de l'allocation des ressources en eau en période de sécheresse". Mémoire de 3ème cycle Génie Rural. Département de l'Équipement et de l'Hydraulique de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Déc.1996.
- Administration du Génie Rural. 1995. Gestion des barrages à usage agricole 1995-96. "Examen des programmes de cultures en fonction des apports d'eau prévisionnels aux barrages". DDGI. Royaume du Maroc.
- Boudhrioua, N. 1996. "Elaboration d'un logiciel pour l'optimisation de l'allocation des ressources en eau en période de sécheresse". Mémoire de troisième cycle de l'I.A.V. Hassan II. Option Génie Rural. Rabat.
- Essafi, B. 1993. "Modeling Reservoir Systems Operation for Irrigation". Thèse de Doctorat d'Etat. Utah State University, Logan, Utah.
- Association Nationale des Améliorations Foncières, de l'Irrigation et du Drainage. 1990. "Gestion des grands périmètres irrigués au Maroc". Vol. 1. Rabat, 1990.
- Fang, Z. X., Voron, B. et Bocquillon, C. 1989. "Programmation dynamique: application à la gestion d'une retenue pour l'irrigation". Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques. 1989.
- Doorenbos, J. et Kassem, A. H. 1987. Réponse des rendements à l'eau. Bulletin d'Irrigation et de Drainage N°33. FAO., Rome..10
- Boutayb, N. 1985. "Planification et gestion de l'eau au Maroc". Sécheresse, gestion des eaux et production alimentaire, Actes de la conférence Agadir, 21-24, Nov. 1985, Maroc.

mois en colonnes) du mois de septembre au mois d'août.

Fichier \*.kyt

Matrice correspondante des coefficients de chute des rendements des cultures, réponses des cultures à l'eau. bulletin de la FAO n°33.

## PARAMETRES

Fichier \*.alf

Matrice correspondante des allocations minimales mensuelles pour chaque culture irriguée a(i,t)

## IX. PERFORMANCES DU LOGICIEL ALOPT

L'utilisation du logiciel ALOPT ne s'arrête pas sur une planification en début de campagne agricole. En effet, son exécution à l'occasion des réunions de concertations en cours de campagne pour changer de stratégie d'allocation est aussi bénéfique. Ainsi, sachant les données réelles sur les allocations mensuelles jusqu'à un mois t, comment utiliser ALOPT pour en décider sur les allocations optimales des mois qui suivent tout en respectant les données antérieures ?

La solution est de prendre évidemment les fractions d'allocation minimale mensuelle correspondantes aux valeurs réelles (ou imposées) des mois écoulés en adoptant des coefficients de chute de rendement des cultures nuls en ces mois.

Par ailleurs, le logiciel ALOPT est facile à utiliser, l'augmentation du nombre de cultures n'apportera pas de difficultés particulières. Le critère ou fonction objectif permet une modélisation générale des problèmes de même type et enfin la commodité du modèle qui provient de la structure des données et la possibilité de faire une optimisation quadratique sous forme de minimisation de la somme des carrés des écarts (système équité).

## X. APPLICATION

Dans notre application, les fonctions de pénalité reliant les coûts aux déficits en eau des cultures ne sont pas disponibles. On passe donc par les systèmes à équité dans un objectif d'une minimisation de

la somme des carrés des écarts entre demandes et allocations en eau des cultures irriguées du périmètre des Doukkala au Maroc.

La validation des résultats étant possible par une optimisation quadratique au moyen du logiciel LINDO (commercialisé par Microsoft corporation en 1981) assez communément utilisé (Linear Interactive and Discrete Optimizer. UTAH State University, agricultural and irrigation engineering).

L'application sur la cas du périmètre des Doukkala (12 cultures irriguées: arboriculture, culture d'hiver et cultures d'été) pour une demande en eau totale de 440,64 Mm<sup>3</sup> et une allocation totale de 239,80 Mm<sup>3</sup>, soit un déficit en eau imposé de 200,84 Mm<sup>3</sup> donne un taux de satisfaction globale de 54,42%. En effet, pour une optimisation linéaire basée sur un système à priorité entre les cultures (ordre arbitraire) avec des fractions mensuelles d'allocation minimale qui se rapprochent de 50%, on se retrouve avec des taux de satisfaction de la demande d'environ 46% pour les cultures dont la demande en eau s'étale sur l'année. Celles ayant un ordre important (>8) sont satisfaites à 100%. Les cultures qui demandent le plus d'eau ont eu les fractions d'allocation totale les plus importantes.

Une deuxième optimisation quadratique (système équité), favorise l'arboriculture avec un taux de satisfaction des besoins de 57,49% et 54% pour les autres cultures. Ceci est évident du fait que l'arboriculture traditionnelle valorise convenablement l'eau que si les rendements sont élevés et si également les restrictions sur les dotations restent modérées. On remarque qu'à l'optimum aucune culture n'est exclue de l'assolement programmé. Ceci est une conséquence immédiate du choix des paramètres du modèle (fraction mensuelle d'allocation minimale non nulle).

Le test de sensibilité donne un graphique dont la fonction objectif est portée sur l'axe des ordonnées et le déficit en eau appliqué sur le périmètre (ou culture) sur l'axe des abscisses.

# BESOINS EN EAU ET EFFET D'UN STRESS HYDRIQUE MODERE SUR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTION DE LA VIGNE DANS LA REGION DE MEKNES

Z. Messaoudi<sup>1</sup> et A. EL Fellah<sup>1</sup>

## Résumé

Ce travail a pour objectif d'estimer les besoins en eau d'irrigation de la vigne 'Merlot/R99', d'étudier l'effet du stress hydrique sur la croissance, le rendement en raisins et la qualité des moûts et de déterminer un seuil de différence de températures entre le feuillage et l'air ambiant ( $T_{\text{feuillage}} - T_{\text{air}}$ ) susceptible d'être utilisé pour piloter les irrigations des vignobles de la région de Meknès. A cet effet, quatre régimes d'irrigation notamment 40, 60, 80 et 100%ETc (évapotranspiration de la culture) sont comparés selon un dispositif en blocs aléatoires complets.

Les besoins bruts en eau assimilés à l'ETc (Penman-Monteith) sont évalués à 524 mm pour la période allant de fin Mars à début Août. Quant aux besoins effectifs pour la même période, ils ne sont que de 156 mm. La méthode de Hargreaves peut être également utilisée pour estimer ces besoins d'une façon fiable. Le déficit hydrique permet de contrôler la vigueur des ceps en affectant négativement la surface foliaire et le diamètre des rameaux. Lorsque les quantités d'eau d'irrigation sont inférieures à 80% ETc, le rendement, le poids moyen de la grappe, le nombre de baies par grappe et le diamètre de la baie ainsi que l'acidité totale des moûts diminuent alors que la teneur en sucres des moûts augmentent. Le taux de nouaison, le nombre de grappes par cep, la longueur de la grappe et le pH, quant à eux, ne sont pas affectés. Vu que le régime d'irrigation 80%ETc constitue la consommation optimale en eau dans le cas de cet essai, l'irrigation peut être déclenchée dès que  $T_{\text{feuillage}} - T_{\text{air}}$  du côté Est dépasse  $+0.31^{\circ}\text{C}$ .

**Mots clés :** Irrigation, stress hydrique, besoin en eau, évapotranspiration, vigne, croissance, production.

## 1. INTRODUCTION

L'eau constitue l'élément le plus vital pour la plante étant donné qu'il constitue la phase liquide dans laquelle tous les processus biochimiques de la plante ont lieu. Par conséquent, la disponibilité de l'eau en quantité suffisante dans le sol est primordiale. En plus, l'irrigation est apportée non seulement pour réaliser des rendements en raisins économiquement intéressants mais aussi pour épargner à la plante tout état de stress susceptible d'avoir des répercussions négatives sur la qualité de la production (Esteban et al., 1999 et Escolana et al., 2000).

Cependant et à cause de la sécheresse qui sévit de temps à autre dans les zones semi-arides telle que la région de Meknès, une gestion harmonieuse des ressources hydriques disponibles devient impérative. Cette gestion de l'irrigation dans les vignobles aura comme conséquences non seulement une économie des quantités d'eau utilisées mais également une amélioration de la production sur le plan qualitatif. En effet, un stress hydrique modéré garantit une haute qualité des raisins (Peterlunger, 2000). Il permet de réduire la compétition exercée par la végétation et la croissance racinaire en favorisant l'accumulation des nutriments et des carbohydrates dans les raisins (Comas et al., 2000; Bravdo, 1999; Hugué et Génard, 1998;

Williams et Matthews, 1990) et une réduction de l'acidité totale et le pH ainsi qu'une amélioration de la teneur en solides solubles totaux dans les raisins (Caspari et al., 1996).

Ce travail a été réalisé au cours de 2001 dans un vignoble de la région de Meknès dans un but d'estimer les besoins en eau et d'étudier l'effet d'un stress hydrique modéré sur les

paramètres de la végétation et de la production de la vigne dans la région de Meknès.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Vignoble

Ce travail a été conduit dans un vignoble âgé de 16 ans et complanté par 'Merlot/R99'. Le sol du vignoble est caractérisé par une texture sablo-argileuse, un pH de 8, un taux de matière organique de 1.73%, une teneur en calcaire total de 22.4%, une humidité à la capacité au champ de 21.17% et une humidité au point de flétrissement de 9%. Les ceps sont conduits en Guyot double palissé selon un seul plan vertical et à fil de fer unique. L'écartement est de 3 m entre les lignes de plantation et de 1.5 m entre les ceps sur une même ligne de plantation ; soit une densité de plantation de 2222 ceps/ha. La charge moyenne en bourgeons laissés à la taille est de 53328 bourgeon/ha. Le vignoble est irrigué au goutte à goutte à raison d'un goutteur pour deux ceps ; chaque goutteur a un débit de 12 l/heure.

### 2.2. Conduite de l'essai

L'essai a été conduit en blocs aléatoires complets à trois répétitions. Le facteur étudié est le régime d'irrigation appliqué aux ceps entre fin Mars et début Août. Quatre régimes d'irrigation, représentant chacun une fraction de l'évapotranspiration de la vigne (ETc), sont comparés. Ces régimes sont 40, 60 80 et 100%ETc. L'ETc est calculée selon l'équation 1 à l'aide du logiciel CropWat 7.0 (Smith, 2000).

$$ETc = Kc_{\text{ajusté}} * ET0 \quad \text{équation 1}$$

avec

$Kc_{\text{ajusté}}$ : coefficient cultural de la vigne ajusté aux conditions de la région (Allen et al., 1998)

ET0: évapotranspiration de référence

1. Département Arboriculture-Viticulture, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, B.P. S-40, Meknès 50000, Maroc  
Contact: zerhoune@enameknes.ac.ma

calculée par décade selon la méthode de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) (équation 2)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{\mu_2(e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2)}$$

Equation 2

avec

$ET_0$  : Evapotranspiration de référence (mm/j)

$R_n$  : Radiation nette de la surface de la culture (MJ/j.m<sup>2</sup>)

$G$  : Densité du flux de chaleur du sol (MJ/j.m<sup>2</sup>)

$T$  : Température journalière moyenne de l'air à 2 m de hauteur (°C)

$\mu_2$  : Vitesse du vent à 2 m de hauteur (m/s).

$e_s$  : Pression de vapeur à saturation (KPa)

$e_a$  : Pression de vapeur actuelle (KPa)

$e_s - e_a$  : Déficit de pression de saturation (KPa)

$\Delta$  : Pente de la courbe de pression de vapeur

$\gamma$  : Constante psychrométrique (KPa/°C)

Les températures minimales et maximales ainsi que la pluviométrie sont recueillies au niveau du vignoble tandis que l'humidité de l'air ainsi que la vitesse du vent sont prélevées sur une station située à 36 Km du vignoble. Les autres paramètres notamment ceux de la radiation solaire sont dérivés des coordonnées (Nord 33°44,915', Ouest 5°34,935') et de l'altitude (650 m) de la parcelle de l'essai.

La dose brut d'irrigation (DBI, mm) est calculée selon l'équation 3.

$$DBI = ET_c - P_{eff} \quad \text{équation 3}$$

avec

$ET_c$  : Evapotranspiration de la vigne (mm)

$P_{eff}$  : Pluviométrie effective, 80% des pluies sont considérées effectives (Esteban et al., 1999)

La dose nette d'irrigation (DNI, mm) a été obtenue en tenant compte de l'efficacité du système d'irrigation adopté (90% pour la micro-irrigation), d'une part, et de la proportion du sol humectée par les goutteurs (0.3), d'autre part (équation 4).

$$DNI = DBI * 1.1 * 0.3 \quad \text{équation 4}$$

La durée de fonctionnement du système d'irrigation nécessaire pour apporter la dose nette d'irrigation (DI, heures et

minutes) est calculée selon l'équation 5.

$$DI = DNI / PG \quad \text{équation 5}$$

avec

DNI : dose nette d'irrigation (mm)

PG : pluviométrie des goutteurs (mm/heure)

### 2.3. Paramètres étudiés

#### 2.3.1. Paramètres de croissance

Aux environs de la véraison, la surface foliaire moyenne ainsi que la surface de section moyenne du rameau ont été estimées à partir de 12 rameaux par parcelle élémentaire. Ces rameaux ont été choisis à raison de 2 rameaux par cep et parmi ceux situés entre le 4ème et le 6ème rang compté à partir de la base de la baguette. Les feuilles utilisées sont prélevées à partir du même point d'insertion opposé à la première grappe du rameau et la surface foliaire est mesurée à l'aide d'un planimètre (modèle 310 Area meter, Li-Cor, USA). Quant au diamètre du rameau, il a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse de précision.

#### 2.3.2. Paramètres de production

Le taux moyen de nouaison, le nombre moyen de grappe par cep, le poids moyen de la grappe, la longueur moyenne de la grappe, le nombre moyen de grappes par cep, le nombre moyen de baie par grappe, le poids moyen de 100 baies, le diamètre moyen de la baie ainsi que le rendement moyen par hectare ont été estimés. Par ailleurs, la teneur en sucres (°Brix) (réfractométrie), l'acidité totale (titrimétrie), le pH (pH -métrie) et l'acidité volatile (titrimétrie après distillation) des moûts ont été mesurés.

#### 2.3.3. Température du feuillage

Vers le milieu de la troisième décade de juillet et pendant une journée à temps calme et à ciel clair et sans nuages, la température du couvert végétal des deux côtés Est et Ouest des ceps a été mesurée à l'aide d'un radio-thermomètre (Infra Trace, Type KM800S, France). A cet effet, 60 mesures ont été enregistrées à raisons de 60 mesures par parcelle élémentaire. La différence de températures entre le feuillage et l'air ( $T_{\text{feuillage}} - T_{\text{air}}$ ) au niveau de chacune des parcelles élémentaires a été calculée.

#### 2.3.4. Analyses statistiques des données

L'analyse de variance a été per formée en utilisant le logiciel 'SAS' (Statistical Analysis System, SAS Institute, ed. 1966, USA) pour tester l'effet du facteur du régime d'irrigation sur les différents paramètres étudiés. Le classement des moyennes a été effectué à l'aide du test de Newman et Keuls aux seuils de 1 et 5%.

## 3. RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. Besoins en eau et évapotranspiration de la vigne (ETc)

L'évapotranspiration de la vigne dans les D'une façon générale, cette augmentation s'explique par l'expansion foliaire et la demande climatique qui ont été élevées pendant le mois de juin. Si l'on tient compte des régimes d'irrigation appliqués dans les conditions de l'essai, l'apport total effectif en eau au cours de la saison de croissance a été de 62.14, 91.88, 121.62 et 151.36 mm respectivement pour les traitements 40, 60, 80 et 100%ETc.

Par ailleurs, une corrélation très hautement significative ( $R=0.98$ ) a été décelée entre l' $ET_0$  Penman-Monteith et l' $ET_0$  Hargreaves (équation 6).

$$ET_0 \text{ Penman-Monteith} = 1.168 + 0.608 * ET_0 \text{ Hargreaves}$$

équation 6

Ainsi, lorsque l'on ne dispose que des données relatives aux températures maximale, minimale et moyenne et à la radiation, l' $ET_0$  Hargreaves peut être utilisée pour estimer l' $ET_0$  Penman-Monteith.

### 3.2. Paramètres de croissance

Le régime d'irrigation a affecté d'une façon significative aussi bien la surface de section des rameaux que la surface foliaire de la vigne dans les conditions de l'essai (Tableau 2). Le traitement 100%ETc a engendré la surface de section du rameau la plus grande tandis que celui de 40%ETc a induit la vigueur la plus faible. Quant à la surface foliaire, deux groupes de traitements peuvent être distingués; les ceps ayant reçu 80 ou 100%ETc ont développé des feuilles plus grandes par rapport à leurs homologues irrigués à 40 ou 60%ETc.

Tableau 1. Evolution de la pluviométrie (P), l'évapotranspiration de référence (ET 0), du coefficient cultural (Kcajusté), de l'évapotranspiration de la vigne (ETc), des besoins bruts (DBI) et nets (DNI) en eau de la vigne 'Merlot/R99' dans la région de Meknès

D cade	P(mm/d cade)	ET0 (mm/j)	Kcajust	Etc (mm/j)	DBI (mm/j)	DNI (mm/d cade)
Mars 3	5.1	3.6	0.30	1.08	0.57	1.88
Avril 1	0	4.7	0.33	1.55	1.55	5.12
Avril 2	0	5.4	0.40	2.14	2.14	7.06
Avril 3	0	4.7	0.48	2.25	2.25	7.43
Mai 1	17	4.3	0.56	2.41	0.71	2.34
Mai 2	6.8	5.5	0.64	3.49	2.81	9.27
Mai 3	0	7.1	0.69	4.91	4.91	16.20
Juin 1	0	8.0	0.70	5.62	5.62	18.56
Juin 2	0	7.4	0.70	5.22	5.22	17.23
Juin 3	0	8.0	0.70	5.62	5.62	18.55
Juillet 1	0	6.9	0.70	4.83	4.83	15.94
Juillet 2	0	7.2	0.70	5.05	5.05	16.67
Juillet 3	0	6.5	0.67	4.32	4.32	14.26
Oct 1	0	7.3	0.54	3.95	3.95	5.22
<b>Total</b>	<b>28.9</b>			<b>524.41</b>	<b>495.51</b>	<b>155.69</b>

Tableau 2. Effet du régime d'irrigation sur la surface de section moyenne du rameau (SSMR) et la surface moyenne foliaire (SMF) de la vigne 'Merlot/R99'

Paramètre	Régime d'irrigation			
	40%ETc	60%ETc	80%ETc	100%ETc
SSMR(mm <sup>2</sup> )	*32.49c	36.84bc	38.71b	47.40a
SMF (cm <sup>2</sup> )	101.95b	109.45b	131.8a	145.11a

\* Pour un même paramètre, les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents (Newman et Keuls, 5%).

### 3.3. Paramètres de production

Le régime d'irrigation a affecté le rendement en raisins et quelques unes de ses composantes notamment le poids moyen de la grappe, le nombre moyen de baies par grappe, le diamètre moyen de la baie et le poids moyen de cent baies (Tableau 3). Le régime d'irrigation 60%ETc a engendré des chutes respectives du rendement de l'ordre de 21 et 27% par rapport à 80%ETC et 100%ETC. Une diminution des apports d'eau d'irrigation de l'ordre de 20% n'a pas affecté ce paramètre. La diminution des rendements en raisins observée avec l'augmentation du stress hydrique s'explique surtout par la diminution concomitante engendrée au niveau du poids moyen de la grappe, du nombre moyen de baies par grappe et le

diamètre moyen de la baie. Par contre, le taux moyen de nouaison, le nombre moyen de grappes par cep ainsi que la longueur moyen de la grappe n'ont pas varié avec le régime d'irrigation appliqué (Tableau 3). L'absence d'effet du régime d'irrigation sur le taux de nouaison est surtout dû au fait que la formation des ébauches florales chez la vigne a généralement lieu avant le début des irrigations. De tel effet ne pourrait s'observer qu'à partir de la deuxième année de l'application des traitements.

### 3.4. Paramètres de qualité

Le régime d'irrigation a affecté la teneur en sucres (°Brix), l'acidité totale et l'acidité volatile mais pas le pH des moûts de raisins (Tableau 4). En effet, le °Brix a augmenté avec le déficit hydrique. L'acidité totale des moûts issus des ceps ayant reçu les traitements 80 ou 100%ETc était plus grande que celle obtenue chez les ceps irrigués selon 40 ou 60%ETc. Quant à l'acidité volatile de s moûts, elle semble être plus grande chez les moûts des raisins issus des ceps les plus stressés par rapport à ceux ayant reçu un autre régime d'irrigation plus confortable. Il semble donc que la diminution de la production engendrée par le déficit hydrique occasionne une augmentation appréciable aussi bien des teneurs en sucres que de l'acidité volatile ainsi qu'une diminution de l'acidité totale des moûts des raisins. En effet, une corrélation négative de l'ordre de 0.82 et 0.66 a été observée entre le rendement d'une part et le °Brix et l'acidité volatile d'autre part.

Tableau 3. Effet du régime d'irrigation sur le rendement, le taux de nouaison (TMN), le nombre moyen de grappes par cep (NMGC) et la longueur moyenne de la grappe (LMG), le poids moyen de la grappe (PMG), le nombre moyen de baies par grappe (NMBG), le diamètre moyen de la baie (DMB) et le poids moyen de cent baies (PMB) de la vigne 'Merlot/R99'

Paramètre	Régime d'irrigation			
	40%ETc	60%ETc	80%ETc	100%ETc
Rendement (Kg/cep)	*1.95c	2.23b	2.81a	3.04a
TMN (%)	27.14a	26.45a	27.08a	26.82a
NMGC	34.17a	37.40a	39.94a	40.61a
LMG (mm)	20.76a	19.18a	21.02a	20.39a
PMG (g)	56.95b	59.51b	72.55a	75.18a
NMBG	97.06b	113.78b	145.89a	148.17a
DMB (mm)	67.04c	72.21bc	78.54b	85.70a
PMB (g)	9.26c	9.92b	10.37a	10.69a

\* pour un même paramètre, les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents (Newman et Keuls, 5%)

## Références Bibliographiques

‡ Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper n° 56.

‡ Bravdo B. A. 1999. Irrigation of grapevines. Tulare County, Cooperative extension, California.

‡ Caspari H. W., Neal S., Naylor A., Trought M. C. T. and Tannock S. 1996. Use of cover crops and deficit irrigation to reduce vegetative vigor of Sauvignon Blanc grapevines in humid climate. 4<sup>th</sup> international Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology, 16-20 July 1996, Rochester, New York, USA.

‡ Comas L. H., Anderson L. J., Eissenstat D. M. and Lakso A. N. 2000. Patterns of root dynamics as influenced by pruning and irrigation in Concord grapevines. 6<sup>th</sup> International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology, 11-15 June, Heraklion, Greece.

‡ Escolana J., Flexas J., Nadal M., Lampreave M., Lopez M., Zaballa O. Garcia -Escodero E. and Medrano H. 2000. Soil water effects on daily and seasonal sap flow and leaf transpiration in grapevines. 6<sup>th</sup> International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology, 11-15 June, Heraklion, Greece.

‡ Esteban M. A., Villanueva M. J. and Lissarrague J. R. 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempranillo during maturation: sugars, organic acids and mineral elements. American Journal of Enology and Viticulture 50 (4): 20-23.

‡ Huguot J. D. et Gnard M. 1998. Irrigation et qualité des fruits. Trait d'irrigation, des Techniques et documentation.

‡ Peterlunger E., Sivilotti P., Celotti E. and Zironi R. 2000. Water stress and phenolic quality in Red Grapes. 6<sup>th</sup> International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology, 11-15 June, Heraklion, Greece.

‡ Smith M. 2000. A computer program for irrigation planning and management: CropWat 7.0. FAO Irrigation and Drainage Paper n° 46 and 49.

‡ Williams L. E. and Matthews M. A. 1990. Grapevine. In: Irrigation of agricultural Crops. Agronomy Monograph n° 30, eds. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Tableau 4. Effet du régime d'irrigation sur la teneur en sucre (°Brix), l'acidité totale (AT), le pH et l'acidité volatile (AV) des moûts de 'Merlot/R99'

Paramètre	Régime d'irrigation			
	40% Etc	60% Etc	80% Etc	100% Etc
°Brix	*15.02c	14.69bc	14.22ab	13.97a
AT (g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /l)	4.40b	4.97b	5.67a	5.90a
pH	3.79a	3.59a	3.43a	3.24a
AV (g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /l)	0.19b	0.10a	0.11a	0.09a

\* pour un même paramètre, les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents (Newman et Keuls, 5%)

Tableau 5. Effet du régime d'irrigation sur la différence de température entre le feuillage et l'air ambiant (T feuillage-Tair) dans le vignoble de 'Merlot/R99'

Côté	Régime d'irrigation			
	40% Etc	60% Etc	80% Etc	100% Etc
Est	+2.94	+1.84	+0.31	+0.31
Ouest	-0.34	-1.47	-2.06	-2.44
Moyenne	+1.30	+0.19	-0.88	-1.20

Quant à l'acidité totale des moûts, elle est corrélée positivement avec le rendement (R=0.90).

### 3.5. Différence de température (Tfeuillage-Tair)

La différence de température entre le feuillage et l'air (Tfeuillage-Tair) augmente avec la sévérité du déficit hydrique appliqué aux ceps (Tableau 5). Elle augmente de +0 à +2.94 °C et de -2.44 à -0.34 °C respectivement pour les côtés Est et Ouest de la plante. L'application d'un déficit hydrique engendre une fermeture concomitante des stomates réduisant ainsi les échanges gazeux entre la plante et l'air. Laquelle réduction se traduit par une accumulation de la chaleur dans les feuilles. En tenant compte des résultats portant sur la croissance végétative, les rendements et la qualité des moûts qui montrent que le régime d'irrigation 80%Etc constitue l'optimum de consommation en eau dans les conditions de cet essai, nous pouvons postuler que les irrigations peuvent être déclenchées dès que Tfeuillage-Tair du côté Est dépasse le seuil de +0.31°C.

## 4. CONCLUSION

Les résultats de ce travail montrent que les besoins nets en eau de la vigne dans les conditions de l'essai tels qu'ils sont déterminés par la méthode de Penman-

Monteith sont de l'ordre de 156 mm. La méthode de Hargreaves peut être utilisée pour estimer ces besoins dans le cas où une partie des données climatiques ne sont pas disponibles. Le déficit hydrique peut contrôler la croissance végétative en réduisant la vigueur de la plante à travers la réduction de la surface foliaire et le diamètre des rameaux. Cependant, une réduction des apports d'eau d'irrigation de plus de 40% par rapport à l'Etc de la vigne (Penman-Monteith) affecte la surface foliaire d'une façon sévère.

En affectant d'une manière négative le poids moyen de la grappe, le nombre moyen de baies par grappe et la croissance des baies, le déficit hydrique induit des rendements faibles par rapport à des situations de confort hydrique. Quant à la qualité de la production, une augmentation des teneurs en sucres ainsi qu'une diminution de l'acidité totale dans les moûts sont le résultats de l'application d'un stress hydrique aux ceps. La différence de températures entre les feuilles et l'air ambiant (Tfeuillage-Tair) peut constituer un outil pour piloter les irrigations dans les vignobles. A cet effet, la décision de procéder à une irrigation peut être prise dès que cet indice, mesuré du côté Est, dépasse +0.31°C.

## 3<sup>ème</sup> RENCONTRES MEDITERRANEENNES

### COMPTE RENDU DE LA MISSION DE LA DELEGATION MAROCAINE EN TUNISIE DU 7 AU 14/04/02

#### I. STRATEGIE TUNISIENNE POUR LA MOBILISATION ET LA CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS.

Monsieur Boufaroua<sup>(1)</sup> a présenté la stratégie tunisienne en matière de mobilisation des eaux et de conservation des eaux et des sols.

Les points clés de cette première présentation sont les suivantes :

- Les potentialités en eau en Tunisie sont très limitées, d'où la mise en œuvre d'une stratégie à moyen et long termes, en vue d'une maîtrise de ces ressources (quantité et qualité) ainsi qu'une approche raisonnée des éventuelles demandes (Eaux potables et irrigation) ;
- En ce qui concerne les précipitations, elles sont importantes dans la région du Nord (entre 500 et 600 mm/an), moyennes dans la région du centre (350 mm/an) et très faibles dans la région du sud (inférieures à 250 mm/an). Cette pluviométrie est caractérisée par une variabilité et une irrégularité intra et inter-annuelles très importante ;
- Les ressources en eaux mobilisables sont de l'ordre de 4.355 millions de m<sup>3</sup> / an, dont 2.630 Million de m<sup>3</sup> en eau de surface. Ce potentiel est largement concentré au niveau de la région du Nord, avec 2.100 Million de m<sup>3</sup>/an (81%) ; la région du centre dispose de 380 Million de m<sup>3</sup>/an (14%), alors qu'au niveau de la région du sud, on ne peut exploiter que 140 Million de m<sup>3</sup>/an (5%).
- Le potentiel en sols est de 16,4 millions d'hectares, dont 10,2 millions d'hectares comme terres agricoles avec 5,4 millions d'hectares en tant que zones de cultures et 4,8 millions d'hectares de forêts et de parcours.

Compte tenu de l'interaction de plusieurs facteurs physiques et socio-économiques, la Tunisie a été soumise au fléau de l'érosion. En effet, au Nord

du pays, 3,5 millions d'hectares sont menacées par l'érosion, impliquant une réduction perpétuelle de la fertilité et de la productivité des terrains agricoles, ainsi qu'une accentuation de l'envasement des retenues des barrages (2,8 millions de m<sup>3</sup> de vase/an).

En plus des contraintes de l'érosion, il faut souligner l'impact négatif des inondations (en cas de crues) et de l'ensablement. L'étude spécifique menée dans ce contexte montre que près de 68 zones d'habitations et 50 routes sont menacées par les inondations ou l'ensablement.

Devant l'ampleur de ces phénomènes, une stratégie nationale de conservation des eaux et des sols "CES" a été instaurée en 1990. Les principaux objectifs de cette stratégie sont :

- Conservation des terres agricoles et de leur productivité;
- Maîtrise de la gestion des ressources naturelles;
- Protection contre les inondations;
- Amélioration des conditions de vie des populations;
- Recherche de l'équilibre et de l'équité régionale.

Du point de vue technique, 22 types d'aménagement de conservation des eaux et des sols peuvent être utilisés, tels que le traitement mécanique ou biologique des cours d'eau, les ouvrages d'épandage des eaux de crues, voire

même des procédés de recharge des nappes phréatiques.

En vue d'atteindre ces objectifs, différentes composantes ont été mises en œuvre (période 1990-2000), à savoir:

Les objectifs projetés pour les grands aménagements ont été atteints, vu que les actions correspondantes ont concerné le traitement de grandes superficies ainsi que les grands bassins versant, avec une forte participation des pouvoirs publics.

Quant aux actions liées aux propriétés agricoles, leurs mises en œuvre ont été handicapées par plusieurs contraintes, telles que :

- Les problèmes fonciers (statuts et mode de faire valoir) ;
- La faible participation des agriculteurs concernés ;
- La sécheresse qui s'est sévée durant la période du projet.

Pour la politique des lacs colinéaires, il a été prévu 1.000 unités avec une capacité de 50 millions de m<sup>3</sup>. Il a été réalisé seulement 675 lacs, soit 60% de l'objectif, mais avec une capacité de stockage plus importante (62 Millions de m<sup>3</sup>), dont 12% pour la recharge des nappes, 25% pour la protection des infrastructures et 63% pour l'irrigation.

En ce qui concerne l'exploitation de ces lacs colinéaires, on peut noter que l'équipement de 400 lacs colinéaires a

Composantes	Projeté	Réalisé
Aménagement des bassins versant	672.500 Ha	729.649 Ha
Entretien et sauvegarde	850.000 Ha	45%
Aménagement des terres de cultures	305.000 Ha	35%
Ouvrages d'épandage des eaux de crue	2.120 unités	
Ouvrages de recharge des nappes	2.170 unités	3.500 unités
Lacs colinéaires	1.000 unités	675 unités

1. Mohamed Boufaroua, Commissariat Régional au développement Agricole de Medenine

permis de créer d'autre superficie irriguée (3.423 Ha). Le programme d'encadrement des bénéficiaires, qui a intéressé 2.115 exploitants, s'est basé sur la création de 93 associations et 167 comités de gestion des périmètres irrigués en aval des lacs colinéaires.

Sur la base de cette expérience, qui a mis en relief les atouts et les contraintes de la stratégie nationale de conservation des eaux et sols pour la période 1900-2000, un autre plan a été initié (2002-2011), dont les principales caractéristiques sont :

- L'approche multicritères de la problématique ;
- La participation effective des bénéficiaires ;
- Le rôle plus important du secteur privé pour la réalisation des travaux d'aménagement et de conservation du potentiel des eaux et sols.

Afin de concrétiser et d'accompagner ce programme, il a été retenu de :

- Focaliser les activités de l'Agence de Conservation des Eaux et des Sols sur l'élaboration des études de base, d'exécution ainsi que le développement de la recherche scientifique, avec instauration d'un système de suivi-évaluation ;
- Renforcer la participation et l'organisation des bénéficiaires, dont l'orientation juridique s'est renforcée par la création du code de conservation des eaux et des sols, qui régleme le regroupement des intéressés, et leur organisation socioprofessionnelle dans le cadre de Groupement d'Intérêt Collectif "GIC".

## II. STRATEGIE NATIONALE DE DEVELOPPEMENT FORESTIER 2002-2011.

Dans son exposé, M. Rafik<sup>(2)</sup> a mis l'accent sur l'évolution du patrimoine forestier du point de vue importance (quantité et espèces), impacts socio-économiques et du mode de faire valoir, ainsi que les contraintes entravant la rationalisation de l'exploitation du potentiel forestier et alfatier.

Il a mentionné qu'au début de notre ère, la Tunisie disposait de 3 Millions d'hectares de forêts; ce potentiel a subi une forte régression passant à 1,15

Millions d'hectares à la fin du 15ème siècle, voire même 0,4 millions d'hectares en 1955.

La même tendance a été observée sur l'espace alfatier avec 1,12 millions d'hectares en 1895, 0,612 millions d'hectares en 1961 et 0,53 millions d'hectare en 2001.

Cette dégradation du potentiel forestier et alfatier est due essentiellement à la forte pression de la population vivant dans la forêt (200.000 habitants en 1881 contre 1.000.000 d'habitants actuellement, soit 90 habitants/Km<sub>2</sub>), ainsi que de l'effectif important du cheptel (4 millions de têtes en 1965 contre 7 millions de têtes actuellement).

Suite à ce constat, une stratégie nationale a été mise en œuvre à partir de 1990, dont les principales actions et orientations sont :

- L'élaboration de plans de développement avec prise en compte des facteurs socio-économiques, tout en intégrant les usagers concernés ;
- Reboisement de 298.000 ha sur une période de 10 ans ;
- Amélioration du ratio de reboisement pour atteindre un taux de 11%, contre 7% observé en 1990.

Eu égard aux différentes actions entreprises dans le cadre de la stratégie 1990-2000, il ressort que :

- La forêt tunisienne est dans un état satisfaisant ;
- L'intensification, l'aménagement et l'exploitation du bois ont été les points faibles de cette stratégie; en effet, seul 10% du potentiel bois d'œuvre a été exploité.

Sur la base de ces renseignements et de ce constat, une nouvelle stratégie a été arrêtée, dont les principaux objectifs intéressent aussi bien l'extension du domaine forestier pour la conservation des eaux et sols (reboisement des bassins versant des barrages, lacs colinéaires et bord d'oueds), avec rationalisation et optimisation de l'exploitation du bois du liège et des produits forestiers non ligneux, l'intensification du réseau brises vent dans les terrains agricoles ainsi que la mise en relief, en partenariat avec les

usagers concernés, des autres fonctions récréatives au profit des populations urbaines et des touristes.

Avec cette nouvelle vision intégrée du développement durable du domaine forestier, la Tunisie dispose actuellement de 11 parcs nationaux et de 20 réserves naturelles.

De même, les renseignements et données collectés à travers ces différentes stratégies ont permis à la Direction des forêts d'initier une carte sylvopastorale, dont le développement et la mise en forme technique, sous un aspect dynamique, permet aux différents utilisateurs de disposer de renseignements fiables et précis sur les potentialités par gouvernorat, ou par zones homogènes.

A l'issue de ces deux présentations, un débat a été ouvert, ce qui a permis aux participants, soit de solliciter des compléments d'information, soit de commenter les objectifs assignés aux différentes stratégies. Ces interventions ont ciblé essentiellement :

- Fiabilité et sensibilité des données de base sur les grandes orientations assignées aux stratégies de développement sectoriel ;
- L'approche de la demande en eau, et notamment celle afférent aux besoins en irrigation ;
- La stratégie d'exploitation des ressources en eau non conventionnelles, et les possibilités de transfert entre bassins ;
- La répartition des compétences entre le Ministère de l'Environnement et celui de l'agriculture ;
- Le niveau de participation des usagers (approche méthodologique, nature et importance des prestations à confier aux usagers, et cadre juridique et institutionnel organisant ces usagers).

### VISITES TECHNIQUES

#### Cascade de Tamerza

- Origine d'eau : nappe phréatique ;
- Bassin versant limité : 800 Km<sup>2</sup> ;
- Débit variable : 50 à 80 l/s ;
- Surface irriguée : 60 Ha.

Vu l'importance du site sur le plan touristique et afin de ne pas tarir les sources d'eau, toute exploitation des ressources hydriques est interdite.

2. Rafik Al Aini, Direction Générale des Forêts/Commissariat Régional de Béja et Jendouba.

## **Barrage Foug El Khangua**

- Caractéristiques techniques :
  - Capacité : 2,5 millions de m<sup>3</sup> ;
  - Barrage poids réalisé en béton compacté roulé "BCR" ;
  - Période de réalisation : 99/00 ;
  - Entreprise : C.R.C Gabès.
- Objectifs
  - Recharge de la nappe phréatique ;
  - Renforcement des débits à allouer aux différentes palmeraies situées en aval du site du Barrage.

## **Périmètre irrigué de Ben Chabbat**

L'organisation de l'irrigation dans ledit périmètre a été initiée et développée par l'imminent hydraulicien BEN CHABBAT: le partage du débit, dans les séguias, est assuré par des seuils déversant, et les besoins en eaux sont raisonnés par rapport à la surface irriguée, l'assolement pratiqué et le temps de transfert.

En 1995, et suite aux pertes d'eau observées dans les réseaux d'adduction et de distribution, contraignant ainsi la conduite de l'irrigation, les pouvoirs publics ont financé la modernisation du réseau d'irrigation, par le creusement et l'équipement de 15 forages, et la réalisation d'un réseau à basse pression. L'exploitation et la gestion du périmètre ont été confiées aux agriculteurs concernés, organisés en Groupement d'Intérêt Collectif "GIC".

## **III. ECONOMIE DE L'EAU ET POLITIQUE TARIFAIRE (PRESENTEE PAR MR BELHAJ JRAD KAMEL, DIRECTEUR DE L'IRRIGATION ET DE L'EXPLOITATION DES EAUX AGRICOLES)**

Le financement des activités du "GIC" (entretien et maintenance du réseau d'irrigation, salaire des aiguadiers) est assuré par la redevance d'irrigation (350 à 400 dinars/Ha).

L'assolement pratiqué dans le périmètre est à trois niveaux (dattiers, plantations fruitières, notamment oliviers, figuiers, ou grenadiers, ainsi que les fourrages ou maraîchage). La densité des plantations est de 200 à 400 pieds/Ha. Le revenu moyen est de l'ordre de 4.000 à 10.000 dinars/Ha.

Sous les effets conjugués de l'accroissement de la demande d'eau d'irrigation et potable, d'une part, et de la sécheresse d'autre part, la Tunisie a déployé des efforts remarquables en matière de gestion de ses ressources hydrauliques. Parmi les actions entreprises, celles relatives à l'économie de l'eau et à la tarification méritent d'être examinées plus en détail.

## **Contraintes liées à l'eau**

Les principales contraintes relatives à l'exploitation et à la gestion des eaux en Tunisie peuvent être résumées comme suit :

- Salinité de l'eau : 50% des ressources hydriques ont une salinité supérieure à 1,5 g/l ;
- Envasement des retenues : le volume utile va passer de 2.200 Mm<sup>3</sup> à 1.800 Mm<sup>3</sup> entre 2000 et 2020 ;
- Fréquence accrue de la sécheresse ;
- Surexploitation des nappes ;
- Pollution hydrique liée à l'urbanisation et à l'industrie.

Pour remédier à cette situation, la Tunisie, a depuis plusieurs décennies, entrepris des actions de planification et de développement des ressources en eau. Il s'agit notamment des Plans Directeurs des Eaux par région et de la gestion intégrée de la ressource, sous ses aspects sociaux, économiques et environnementaux.

## **Economie de l'eau**

Dans ce domaine, plusieurs axes ont été tracés pour assurer une meilleure optimisation de l'utilisation de l'eau, aussi bien à usage d'irrigation que pour la desserte des agglomérations urbaines et rurales.

1. Programme d'entretien et de maintenance.

Ce programme, à caractère préventif et curatif, concerne toutes les composantes de l'aménagement : sources d'eau, stations de pompage, réseau d'irrigation, réseau de drainage, réseau de pistes, etc.

2. Projets régionaux de réhabilitation ou de modernisation des petits périmètres d'irrigation (PPI)

Il s'agit notamment de :

- projet d'amélioration des périmètres irrigués des oasis du sud, sur 23.000 ha ;

- projet d'économie d'eau dans les PPI de petite et moyenne hydraulique au centre-ouest, portant sur 11.000 ha ;
  - projet de modernisation des PPI de la Basse Vallée de la Medjerda, sur 27.000 ha.
3. Utilisation des équipements d'économie d'eau à la parcelle

Dans le but d'économiser 25% de la quantité d'eau d'irrigation, la Tunisie a mis en place, depuis 1995, un système de subvention à l'investissement des équipements et des aménagements liés à l'irrigation: irrigation localisée, irrigation par aspersion et irrigation gravitaire améliorée.

- Catégorie A (petits agriculteurs) : 60% de subvention ;
- Catégorie B (agriculteurs moyens): 50% de subvention ;
- Catégorie C (grands agriculteurs) : 40% de subvention.

Entre 1995 et 2001, la superficie irriguée, avec des systèmes d'économie d'eau, est passée de 122.255 ha à 245.076 ha, avec une prédominance du gravitaire amélioré : 102.197 ha (ce système concerne tous les travaux de revêtement de séguia en terre et de canaux anciens). Quant à l'irrigation localisée, elle a concerné une superficie de 54.397 ha en 2001.

L'objectif est d'atteindre 355.000 ha irrigués avec des systèmes d'économie d'eau à l'horizon 2006.

Dans le même sens, des projets de formation sur l'économie d'eau ont été initiés depuis 1992. Ils ont concerné la formation de 37 ingénieurs, 59 vulgarisateurs et 10 formateurs. En outre, des cellules d'économie d'eau dans les CRDA (Centre Régional du Développement Agricole) ont été mises en place.

Par ailleurs, des GIC (Groupement d'Intérêt Collectif) ont été mis en place dans le but d'assurer une gestion rationnelle et autonome des systèmes d'eau. Ces GIC ont bénéficié d'un programme d'encadrement sur plusieurs aspects : exploitation et maintenance, économie d'eau, socio-administratif et financier.

## **Tarification de l'eau d'irrigation**

La politique actuelle en Tunisie, en matière de tarification de l'eau

d'irrigation, est de rapprocher les dépenses afférentes à l'eau d'irrigation par rapport aux recettes provenant de la vente de cette eau.

Il existe trois structures de tarification de l'eau d'irrigation : tarif monôme (une seule composante du prix), tarif binôme (deux composantes : fixe et variable) et tarif préférentiel (appliqué surtout dans le nord pour encourager les cultures céréalières et fourragères).

En 20 ans, le prix moyen du m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation a été multiplié, par plus de 5 fois. Il est passé de 19 millimes/m<sup>3</sup> en 1986 à 105 millimes/m<sup>3</sup> en 2000 (1000 millimes = 1 Dinar Tunisien = 7,80 DH).

Ce prix varie d'un périmètre à un autre, en fonction de l'origine de l'eau (barrage, forage, eau épurée, etc.), des investissements réalisés, des dépenses de fonctionnement des CRDA et des frais d'entretien des réseaux : 20 millimes/m<sup>3</sup> pour les eaux usées (Kairouan, Ariana, Nabeul, Sousse) et 145 à 165 millimes/m<sup>3</sup> à Sousse pour respectivement les eaux des forages et des barrages.

Le résultat de cette augmentation du prix de l'eau d'irrigation est très positif. Il s'est traduit par :

- l'amélioration significative du taux de recouvrement des coûts d'exploitation et d'entretien des PPI ;
- la réduction des subventions d'équilibre ;
- l'amélioration de l'efficacité de la gestion des PPI ;
- le développement de l'esprit de l'économie de l'eau ;
- l'orientation vers la valorisation économique de l'eau.

Toutefois, certaines faiblesses de cette tarification ont été constatées, en liaison avec l'iniquité dans la prise en charge des frais fixes, le manque de provisions pour le renouvellement des équipements, le manque d'incitation à la mise en valeur agricole. Ce qui a conduit le Ministère de l'Agriculture Tunisien à l'introduction de la comptabilité analytique pour le calcul du coût de l'eau (voir tableau ci-après donnant un exemple de ce calcul).

Tableau 1 : Composantes du prix du m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation CRDA de Bizerte (gestion 1997)

	Ut Nouvelle	Ghezala	Mateur	Toblas	Ras Jbel	Teskraya	Aousja	Lezdine	Total
Frais généraux des périmètres	13	6	11	0	20	0	9	13	11
Fonction, entretien véhicules	10	0	1	0	3	0	3	1	3
Stations de pompage	0	1	0	0	0	0	0	21	1
Achat d'eau	35	0	7	84	34	7	109	0	36
Distribution d'eau	12	4	8	11	15	4	14	69	14
Entretien à la borne	1	0	1	4	6	7	7	0	3
Entretien antennes	0	1	2	4	1	18	1	0	2
Entretien conduites	1	52	16	51	2	142	6	6	22
Entretien pistes	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stations de drainage	1	1	1	1	0	0	0	1	1
Entretien réseau drainage	10	5	5	52	0	0	0	0	7
Total des dépenses directes	83	71	52	207	82	178	149	111	98
Frais généraux du siège	12	10	8	30	12	26	22	16	14
Total général	95	81	60	237	94	204	171	127	112
Prix de vente du m <sup>3</sup> d'eau (Mill/m <sup>3</sup> )	91	91	91	91	91	91	91	91	91
Montant subvention (Mill/m <sup>3</sup> )	4	-10	-31	146	3	113	80	36	21

(1.000millimes = 1 Dinar Tunisien = 7,80 DH marocain)

## VISITES TECHNIQUES

Arrêt n° 1: Projet Dbabcha (CRDA de Kebilli)

**Thème n° 1 :** Projet d'aménagement et de lutte contre l'ensablement

**Causes :** Surexploitation d'un milieu naturel fragile

**Conséquences :**

- envahissement des parcelles agricoles et des infrastructures
- dommage économique et social

**Luttes :** Pour objectif de protéger les oasis et les infrastructures (routes, agglomérations) contre l'avancement du sable.

**Préventive :** Satisfaction des besoins humains et du cheptel

**Curative :** Traitement mécanique par la confection de tabias avec pose de palissades en palmes sèches, leur rehaussement et enlèvement du sable par engins mécaniques et biologiques par la plantation d'espèces forestières et la mise en défense.

**Thème n°2 :** Exploitation des eaux profondes (géothermie) et valorisation de l'énergie pour la production maraîchère hivernale.

## Principes de la géothermie

La géothermie consiste à utiliser l'eau chaude provenant des forages profonds, de température variable, à travers des canalisations spéciales afin d'assurer le chauffage des serres la nuit.

L'eau est ensuite refroidie par un système de ventilateur, en passant ensuite dans des chicanes ; elle est stockée dans un bassin, puis utilisée le jour pour l'irrigation. (Utilisation intégrée chauffage et irrigation).

## Données du projet

- Exploitation de la nappe continentale intercalaire.
- Forage artésien réalisé en 1992
  - Profondeur : 2480 m
  - Température : 71 C°
  - Débit : 105 l/s
  - Résidu sec : 2,1 g/l

## Objectif du projet

- Consolidation des ressources en eau des Oasis environnantes ;
- Création d'un nouveau périmètre sur une superficie de 20 ha ;

- Chauffage des serres, sur environ 8 ha, au profit de jeunes diplômés.

Equipements réalisés

- Tour de refroidissement de 15 m de hauteur ;
- Des conduites de refoulement aux différents périmètres desservis.

#### Problème posé

- Dépôt au niveau des conduites "entartrage".

**Arrêt n° 3 :** Visite d'un périmètre (oasis), géré par un Groupement d'Intérêt Collectif (G.I.C) sur la route de Kebelli.

L'oasis est constituée de 3 étages de cultures : palmiers, Arboriculture et Céréales et Légumineuses.

L'irrigation est assurée par un réseau traditionnel et le drainage par un système de fossés superficiels.

L'exposé du professeur éminent M. Ennabli a touché tous les aspects liés directement ou indirectement à la problématique de l'eau en Tunisie, depuis la quantification de la ressource jusqu'à son utilisation. Sans prétendre être exhaustif, le présent article a pour objet de ressortir les grandes lignes de cette intervention, de façon à mettre le lecteur aux parfums de la problématique de la gestion des ressources en eau en Tunisie.

## IV- LES RESSOURCES EN EAU EN TUNISIE

### 4.1. Quantification de la ressource en eau

Si l'on se réfère aux différents bilans établis par le service officiel des ressources en eau du pays, le potentiel hydraulique de la Tunisie atteint actuellement les 4,5 Milliards de m<sup>3</sup>, alors qu'il était évalué à 3 Md de m<sup>3</sup> à l'indépendance en 1956. Cette augmentation de la ressource disponible est due essentiellement à une meilleure maîtrise de l'outil de quantification (hydrologie et hydrogéologie). Les différents bassins versants du pays sont actuellement mieux cernés, tant du point de vue géologique, géomorphologique, pédologique que topographique, climatique et en particulier hydrologique.

### 4-2- Mobilisation de la ressource en eau

La Tunisie a réussi à mettre en réserve une bonne partie de ses ressources en eau, du moins celles qualifiées de

facilement mobilisables, techniquement et économiquement. La mobilisation s'est faite grâce à toute une armada d'ouvrages: barrages, barrages-collinaires, lacs-collinaires, puits, forages, ouvrages d'épandage des crues etc. Cette mobilisation n'est pas encore terminée, car le programme de construction des barrages collinaires et des lacs collinaires vient seulement de démarrer. En plus, un des moyens prévu dans le futur pour augmenter de façon conséquente la ressource en eau, consistera à capter, au moyen de barrages que certains appelleront barrages de deuxième génération les grandes crues historiques du pays, comme celles de 1969, 1973, 1982, 1990.

Les ouvrages de petite ou de micro-hydraulique seront également appelés à se généraliser. Ces ouvrages, insignifiants quant à leur dimension, seront appelés à jouer un grand rôle, sur le plan hydraulique (car chargés de capter les chevelus les plus en amont) et sur le plan social (car appelés à être la propriété du paysan).

La mobilisation par épandage d'eau de crue concerne des régions entières dans le centre et le sud de la région de Bou-Ficha à celle de Gafsa, en passant par Siliana et surtout Sidi Bou-Zid. Cette technique a été modernisée par la mise en place d'infrastructure moderne sous forme de barrages au fil de l'eau, de prises, de différents canaux amenant l'eau jusqu'à la parcelle. Les résultats ont été jusqu'à présent mitigés, sauf dans la région de Sidi Bou-Zid où l'on constate une amélioration des rendements, un bon piégeage des sédiments et surtout une amélioration sensible du bilan des nappes.

L'ensemble de ces techniques ne date pas d'aujourd'hui ; elles dérivent pour une bonne partie du savoir-faire accumulé pendant des siècles par les différentes générations qui se sont succédées depuis les temps les plus reculés des Numides jusqu'à aujourd'hui, laissant derrière elles des multitudes de techniques aussi ingénieuses les unes que les autres, que l'on a regroupé sous le vocable des techniques traditionnelles.

En ce qui concerne les techniques de mobilisation des eaux souterraines, elles

sont bien connues et très répandues en Tunisie (sources se comptant par centaines de milles dans l'extrême Nord-Ouest, dans l'extrême Sud dans les oasis).

A ces techniques anciennes est venue s'ajouter, la technique du forage pour capter les eaux semi-profondes, profondes et très profondes, certains forages pouvant, pour le continental intercalaire, descendre jusqu'à 2000 m de profondeur. Plus de 2400 forages apportent ainsi en surface les eaux souterraines dont le pays a besoin.

### 4.3. La conservation des Eaux et des Sols

Malgré les efforts gigantesques réalisés par l'Etat en matière de lutte anti-érosive durant des dizaines d'années, les investissements considérables consentis, la compétence et l'acharnement des différentes directions qui ont eu en charge la responsabilité de la lutte anti-érosive, l'érosion est encore là, partout présente, dans toutes les régions sans exception: 15 000 ha disparaîtraient chaque année du fait de l'érosion.

Les manifestations du phénomène d'érosion sont nombreuses : envasement des barrages, des canaux de protection des villes contre les inondations, des canaux d'assainissement, engraissement des oueds, perturbation du réseau hydrographique etc. et surtout, dégradation généralisée des terres avec risque au plan national de neutraliser à termes ce qui est investi dans les autres secteurs de l'agriculture.

### 4.4. L'irrigation

L'irrigation est grande consommatrice d'eau, parmi les autres utilisateurs de l'eau (eau potable, eau industrielle, eau touristique...). Toute réduction de la consommation d'eau dans les périmètres irrigués influera de façon sensible sur le bilan global : l'on comprend pourquoi l'économie d'eau en irrigation est devenue quasi-obsessionnelle dans ce pays. Plusieurs axes d'économie d'eau ont été donc entrepris en Tunisie (éviter les pertes dans les réseaux et les circuits hydrauliques, améliorer à la baisse la consommation au niveau de la parcelle et au niveau de la plante, introduction et généralisation du goutte à goutte subventionné jusqu'à 60%, choix des

périodes de fourniture d'eau, choix des variétés les moins exigeantes en eau, décalage du cycle végétatif vers les saisons les moins exigeantes en eau, etc.)

#### 4.5. Protection des plaines contre les inondations et assainissement agricole.

Plus d'une cinquantaine de plaines souffrent d'un excès en eau, de façon occasionnelle ou chronique, sous forme de submersion-inondation ou de saturation souterraine, ou les deux à la fois. (marjas de Bou-Salem, vallée de Oued Magrat, plaine de Grich El Oued, la plaine de Mateur etc.).

Depuis l'indépendance, le réflexe de l'aménageur a été de contrer ces phénomènes de submersion-saturation en essayant d'éliminer l'excès en eau en éloignant loin de la plaine les arrivées massives d'eau, ce qui a donné naissance à de très gros travaux sous forme de déviation d'oued, recalibrage, linéarisation et dragage d'oued, élimination des ruptures de pente, suppression des méandres, creusement d'exutoires et de fossés de protection ou d'assainissement, mise en place de digues de protection etc.

Concernant le drainage, les terres desquelles on désire soutirer les eaux en excès, sont nombreuses en Tunisie. L'on imagine si l'opération est généralisée, quel serait l'impact sur le bilan global du pays. Les garaats, les marjas, les sebkhas, les bhiras, les feltas etc... se comptent par dizaines dans ce pays. Il faudrait ajouter également certains périmètres qui se sont hydromorphisés du fait d'une sur-irrigation permanente (périmètres de Rohia et Zouarine, ..)

#### 4.6. Assainissement urbain

L'assainissement urbain est placé sous la responsabilité de l'ONAS, lui-même placé sous l'autorité du ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire.

L'ONAS est chargé de la mise en place de l'infrastructure d'assainissement dans les villes et les villages et de la gestion de cet assainissement. La mise en place de l'infrastructure a touché l'ensemble des villes du pays et commence à toucher les villages. La Tunisie est bien outillée en ce domaine et sera certainement un des premiers

pays du bassin méditerranéen à résoudre les problèmes liés à la collecte des eaux usées, à leur traitement et à leur rejet ou leur utilisation.

#### 4.7. Eau potable

L'eau potable est de la responsabilité de la SONEDE pour les grandes, moyennes et petites agglomérations. Elle est de la responsabilité de la Direction Générale du Génie Rural pour ce qui est de l'habitat dispersé ou des communes rurales non encore dotées du statut de communes. En parallèle, des industriels, des hôteliers, etc. peuvent produire leur propre eau. La SONEDE couvre actuellement l'ensemble du pays en infrastructure d'eau potable et il en sera de même pour ce qui est du GR. Seulement, il n'y a pas de la part de la SONEDE une véritable politique d'économie en eau et pour cause! L'on ne peut être à la fois vendeur et économiseur d'eau. Aux autorités de tutelle de mettre en place cette politique!

#### 4.8. Dessalement

Conscient du fait que certaines régions sont inaccessibles au réseau national de distribution d'eau potable SONEDE (Kerkennah...) ou que d'autres sont suffisamment éloignées pour en être desservies avec un coût acceptable, les planificateurs ont étudié la possibilité de l'installation d'une première usine de dessalement des eaux saumâtres dès les années 80.

La première unité de dessalement de dimension respectable a donc été installée (dans les Îles Kerkennah), une deuxième à Gabès. Le dessalement se faisant par osmose inverse.

#### 4.9. Eau et environnement

Dès que l'on parle en Tunisie d'eau et d'environnement, l'on pense tout de suite à l'impact sur le milieu des grands aménagements destinés à la mobilisation et le cas qui se présente le plus fréquemment à l'esprit est celui de l'Ichkeul.

Ce lac est en effet cher à tous les habitants de ce pays et en premier lieu à ceux qui sont chargés de la mobilisation et de la planification. Mais, malheureusement, il faut admettre la nécessaire mobilisation d'une partie des

eaux de l'Ichkeul et cela pour deux raisons: d'abord parce que la gouttière de la Medjerda ne donne qu'un milliard de m<sup>3</sup>, le deuxième milliard comptabilisé comme ressource disponible se trouve partagé presque à égalité entre les eaux de l'extrême nord et les eaux de l'Ichkeul. La seconde parce qu'il s'agit d'une eau d'excellente qualité indispensable pour l'adoucissement des eaux de la Medjerda.

Afin de préserver ce patrimoine national, que représente l'Ichkeul, les planificateurs ont donc décidé d'intégrer le lac dans le plan directeur des eaux du nord et de lui fournir tout ce dont il a besoin (volumes et plan d'eau, salinité) et nous pensons que les solutions envisagées ne permettent pas de s'inquiéter sur l'avenir de ce lac. Par contre, d'autres situations d'aménagement inquiètent et risquent de porter préjudice à l'environnement, on peut citer en particulier: la surexploitation des nappes dans les oasis entraînant la disparition des sources, puis la baisse des niveaux piézométriques du fait de l'extension de l'intensification de la phoenici-culture, spéculation extrêmement lucrative, la surexploitation des nappes en zone côtière qui remet en jeu l'équilibre de l'interface eau douce - eau salée, les problèmes de l'érosion hydrique et éolienne, les problèmes de réutilisation des eaux usées en agriculture, etc.)

#### 1.1 VISITES TECHNIQUES

- Visite d'un ouvrage d'épandage des eaux de crues : plaine de la Djeffara ;
- Visite des réservoirs de stockage des eaux pluviales : citernes et "Majel" ;
- Observations des Jessours et travaux en gabions ;
- Départ vers Béni Khdeche et déjeuner en cours de route.

#### I - JEUDI 11/04/02

Après trois heures de route, le groupe est arrivé à Zarzis (vers 10 h00) pour visiter la station de dessalement des eaux saumâtres.

Nous avons été accueillis par Mr Fathi Kamal, Directeur de la station, qui nous a fait un exposé fort intéressant sur le fonctionnement de la station ; les points saillants de cet exposé sont les suivants:

Il y a deux stations de dessalement dans la zone: une à Zarzis, objet de notre

visite et une autre à Djerba.

Leur réalisation s'inscrit dans le cadre de la stratégie de renforcement des ressources en eau potable dans la région du Sud Tunisien. Leur objectif est l'amélioration de l'eau distribuée à Djerba et Zarzis en ramenant le taux de salinité des eaux pompées, aux normes de potabilité.

Les études de factibilité d'alimentation en eau potable de la région ont été lancées en 1990. Trois hypothèses ont été alors examinées: transfert de l'eau, dessalement des eaux de mer et dessalement des eaux saumâtres. L'étude technico - économique a permis de retenir la dernière option.

Les travaux ont démarré en juillet 1997 et la station a été mise en service en septembre 2001. La réalisation de cette station a coûté 12 millions de dinars ; son financement a été assuré en majorité par le JBIC (Japanese Bank For International Coopération).

Cette station est alimentée à partir de la nappe du Mio-Pliocène, par le biais de 8 forages. La salinité moyenne des eaux est de 6 g/l. L'opération de dessalement permet de ramener cette salinité à 0.2g/l.

Etant donnée la qualité des eaux saumâtres, la technique qui a été adoptée pour le dessalement est celle de l'osmose inverse.

Après l'exposé de Mr Fathi Kamal, nous avons visité la station en suivant, les différentes étapes de traitement qui nous ont été présentées par Mr El Hbib:

#### 1. Mobilisation des eaux saumâtres :

Les eaux pompées sont collectées dans un réservoir, d'une capacité de 1000 m<sup>3</sup>, se trouvant à 12 km de la station. Elles sont ensuite transférées à la station de Zarzis, par une conduite en fonte, grâce à la station de pompage de Khaoui El Ghedir.

#### 2. Prétraitement : les eaux passent par plusieurs étapes :

- Bassin d'oxydation, d'une capacité de 200 m<sup>3</sup>, comprenant un compartiment d'aération et permettant une oxydation des métaux et des sulfures.
- Un autre bassin de chloration des eaux afin d'oxyder les matières organiques et rabattre l'activité biologique,
- Bassin de mélange des réactifs chimiques utilisés dans la phase

précédente,

- Décarbonatation à la chaux, afin de faire précipiter une partie du calcium des eaux brutes et permettre le fonctionnement de la station, à un taux de conversion élevé (+ de 75%),
- Préparation et Injection de la chaux,
- Décantation ; la station dispose de deux décanteurs cylindro-coniques à recyclage de boue, permettant de décanter les matières en suspension et principalement les précipités des carbonates de calcium, résultant de l'opération de décarbonatation,
- Passage dans les filtres à sable : la station dispose de 4 filtres à sable bicoches permettant la rétention des matières en suspension, qui n'ont pas pu être éliminées par le décanteur,
- Passage dans la bache des eaux filtrées dont la capacité est de 680 m<sup>3</sup>. A partir de cette bache, l'eau passe dans trois lignes d'osmose inverse, par le biais de trois stations de gavage,
- Micro - filtration: au niveau de chaque ligne de production, et après la mise en pression, les eaux passent par un micro-filtre (seuil de filtration de 5 microns),
- Injection de produits chimiques : pour éviter la précipitation, sur la membrane, de carbonate de calcium, de sels de sulfates et de silice (par l'injection d'acide sulfurique et un séquestrant de type organique), et pour neutraliser les traces d'oxydant et éviter l'oxydation et la dégradation de la membrane.

#### 3. Osmose inverse : Cette phase consiste à pomper, à haute pression, les eaux traitées et filtrées à travers des modules d'osmose inverse. Chaque ligne de traitement comporte deux étages :

- Pompes à haute pression ( 15 bars), assurant un débit de 223m<sup>3</sup>/h,
- Pompe de faible pression (5 bars), qui assure un débit de 112 m<sup>3</sup>/h. Elle récupère les rejets de la pompe à haute pression.

Ces deux pompes sont à vitesse variable, ce qui permet un gain consistant en énergie: la consommation est de 1 Kwh/m<sup>3</sup> d'eau osmosée.

Les eaux rejetées (24 g/l de salinité) sont rejetées dans la mer alors que les eaux osmosées sont envoyées vers une bache d'équilibre osmotique.

#### 4. Post - traitement : les eaux osmosées

passent ensuite par des opérations de dégazage, et d'injection de soude caustique pour régler le PH, avant d'être transférées vers la bache de mélange.

Les eaux produites sont exemptes de sel, sont mélangées, avec les eaux saumâtres qui en provenance des forages de Zeuss/Koutine, avant la distribution, pour avoir une salinité variant entre 1.1 à 1.5g/l de salinité.

Il est prévu l'extension de la station de Zarzis pour porter sa capacité de traitement de 12000 m<sup>3</sup>/j actuellement à 15 000m<sup>3</sup>/j.

Après cette visite, le groupe a repris la route vers Kairouan (arrivés à 15h30) : Après le déjeuner, nous avons fait une visite rapide de la ville : les bassins des Aghlabides, la grande mosquée et la mosquée du Barbier (nous avons dû à notre grand regret nous contenter de les regarder de l'extérieur, faute du temps et surtout parce que c'était l'heure de la prière).

Vers 17 h 30, nous avons repris la route, en direction d'Enfida, pour la deuxième visite technique de la journée : le barrage de l'Oued Rmel.

Nous avons été accueillis par Mr Boughari, l'ingénieur responsable du barrage, qui nous a fait exposé, nous a présenté le barrage et qui a bien voulu répondre à toutes nos questions, malgré l'heure tardive et la nuit tombante.

Le barrage (qui est une digue en terre de 1200m de longueur) a été mis en service en 1998. Sa hauteur moyenne est de 16m avec un maximum de 25m. Sa capacité est de 22 millions de m<sup>3</sup>. Sa retenue occupe une étendue de 650 ha. Le volume régularisé annuellement est de 13 millions de m<sup>3</sup>. Le volume d'eau stocké actuellement est de 8 millions de m<sup>3</sup>.

Le barrage dispose de deux évacuateurs de crues :

- Un déversoir en béton de 40 m de largeur, calé à la côte 43.2 m, dimensionné pour évacuer un débit de 1580 m<sup>3</sup>/s (crue décamillénale).
- Un évacuateur de type fusible (4000 m<sup>3</sup>/s), situé du côté droit de la digue, qui est calé à la côte 49m. Elle fait 250m de largeur.

Au milieu de la digue, il y a deux vannes

segment : une pour la prise et l'autre pour la vidange.

Ce projet a coûté 32 millions de dinars. L'objectif principal de la réalisation de ce barrage est la protection de la ville de Bouficha. Il a aussi pour but l'irrigation d'un périmètre irrigué de 5000 ha. L'alimentation de ce périmètre se fera par des lâchers dans l'oued et dérivation des eaux par des seuils de dérivation. Le réseau d'irrigation sera en conduite basse pression (5m aval prise d'irrigation). Le périmètre n'est pas encore équipé, mais les études d'exécution sont déjà prêtes.

Après avoir remercié Mr Boughari pour ses explications, nous avons repris la route vers Hammamet, où se devait se terminer notre périple de la journée.

### Présentation des perspectives 2002

La parole a été donnée ensuite à Maurice DEVAUX pour présenter les perspectives de l'Association en 2002, dont les principales sont rappelées brièvement ci-après.

- Réalisation d'un sentier Circum - Méditerranéen : pour la réalisation de ce sentier, une convention a été signée avec la Société Gaz de France (GDF), selon laquelle cette dernière apporte un encouragement financier. Une mission sera effectuée incessamment au Maroc pour finaliser le sentier sur le territoire Marocain ;
- Ouverture aux jeunes Ingénieurs : Les délégations maghrébines sont constituées de profils d'âge très variés, à l'encontre des camarades Français qui sont généralement retraités ou presque. Ainsi, une rencontre est prévue, courant cette année, à Sophia-Antipalis avec les IGREF en activité dans les régions méditerranéennes Françaises pour leur présenter l'Association et les inviter à adhérer en masse ;
- Encouragement aux élèves ingénieurs: Un prix "Echanges Méditerranéens" sera offert à un élève de l'ENGREF (ou de formation équivalente dans les pays de l'Association) travaillant sur un thème s'inscrivant dans la trilogie "Eau, forêt et développement" dans l'éco-région méditerranéenne; Il faut souligner que l'Association a déjà contribué à hauteur de 1000 Euros dans une étude, en cours de réalisation, sur l'aménagement d'un bassin versant en Tunisie.
- Edition d'une lettre de liaison

périodique, sous la responsabilité de monsieur Babin, qui se chargera de cordonner, avec un représentant de chaque pays membre, pour créer un comité.

La réflexion sur le prix "Echanges Méditerranéens" et le bulletin de liaison doit être encore finalisée davantage.

### Discussions

A l'issue de la présentation des rapports moral, financier et des perspectives, la parole a été donnée aux chefs des quatre délégations.

### Délégation Marocaine

Monsieur BARTALI a remercié l'Association pour tous les efforts qu'elle ne cesse de déployer depuis sa création, dans le maintien de contact et l'organisation de voyages techniques.

Il a précisé que la Délégation Marocaine est constituée des personnes de l'Administration Centrale de l'Agriculture, des enseignants et des Bureaux d'études.

De même, il a précisé qu'une équipe travaille déjà sur le voyage prévu en 2003 au Maroc. Il pense que le Comité Marocain fera appel aux concours des deux Ministères de l'Agriculture et de l'Équipement pour réussir ce voyage.

Pour le Prix "Echanges Méditerranéennes" et la lettre de liaison, il a souligné que la Délégation Marocaine

adhère complètement à ces projets.

Enfin, il a remercié les membres du bureau Français et nos hôtes Tunisiens pour tous les efforts déployés pour la réussite de ce voyage.

Il a souligné la nécessité de se mettre au travail pour collecter davantage de fonds.

### Délégation Espagnole

Le représentant Espagnol, après avoir remercié les organisateurs de ce voyage, a souligné la nécessité d'établir un lien avec les autres écoles (de formation équivalente à celle de l'ENGREF) et de s'ouvrir à d'autres formations.

Il a précisé que le problème fondamental d'adhésion des espagnols est celui de la langue (il pense que le problème est le même pour les Italiens et ceux des pays méditerranéens non francophones).

Concernant la recherche de fonds, il a informé les participants qu'il a déjà exploré des pistes prometteuses (Ministère des Affaires Extérieures, une agence de développement, etc..).

### Délégation Algérienne

La représentante Algérienne, après avoir salué les participants et remercié les organisateurs, a précisé qu'elle ferait de son mieux pour faire adhérer le plus grand nombre de personnes ayant des formations équivalentes à celle de l'ENGREF. Elle a regretté, pour des questions de sécurité, de ne pas pouvoir avancer une date pour

ANNEXE 1 : Liste des participants de la délégation de l'AIGR  
Liste de la délégation marocaine qui a participé au voyage d'étude en Tunisie

Nom & prénom	Diplôme	
BARTALI El Houssine	Ingénieur du Génie Rural	- Chef département du GR à l'IAVH2 - Président de la CIGR
GHAZI El Ayachi + Epouse	Ingénieur des Eaux et Forêts	Directeur provincial de l'agriculture à Fès
IKAMA Abderrazak	Ingénieur du Génie Rural	Directeur du projet Moyen Sebou
EL BOUARI Ahmed + Epouse	Ingénieur du Génie Rural	Chef de service Etudes-Direction des Aménagements Hydro-Agricoles - Ministère de l'agriculture
EL MAHRAZ Hassan + Epouse	Ingénieur du Génie Rural	Département Hydraulique urbaine à l'ADI
BERRAHA Mohamed	Ingénieur du Génie Rural	Chef département des aménagements hydroagricoles à l'ORMVA du haouz, Marrakech
BENSAID Rhita + Epoux	Ingénieur du Génie Rural	Département d'hydraulique urbaine à la SCET (Bureau d'études)
AZIB Mohamed	Ingénieur du Génie Rural	Conseiller du président du groupe Omar Laraoui
EL KSABI Rajaa	Ingénieur du Génie Rural	Département d'aménagement hydraulique à l'ADI (Bureau d'études)
OUSLATI Moncef	Ingénieur	Entreprise privée

Le chef de la délégation marocaine a été M. El Houssine BARTALI, secondé par M. Hassan EL MAHRAZ.

l'organisation d'un voyage de l'Association en Algérie.

### Délégation Tunisienne

Le président de l'ATIGREF a remercié, aussi bien tous les participants que la délégation Tunisienne qui a organisé ce voyage.

Il a souligné que l'ATIGREF, pour des raisons d'efficacité, a créé des groupes de travail et qu'il propose de faire pareil au

sein de l'association E-M.

Après les interventions des représentants des quatre délégations, le président d'E.M les a remercié et a précisé que les propositions des délégations seront examinées et figureront dans le procès verbal, qui sera communiqué aux différents membres de l'Association.

Ensuite, il a soumis "les perspectives 2002" pour vote ; ces dernières ont été approuvées à l'unanimité.

La parole a été ensuite donnée à Monsieur Hamdane, Directeur Général du Génie Rural en Tunisie, qui a souhaité la bienvenue à tous les participants. Il a précisé qu'il a tenu à être présent pour féliciter, à la fois l'ATIGREF qui a fait un excellent travail, et l'association E.M d'avoir choisi la Tunisie pour ses 3èmes rencontres. Il a souhaité ensuite prospérité et développement pour les deux associations.

## Annexe2 : Programme des participants / 3ème rencontres "Echanges Méditer-ranéennes"

### Lundi 8 avril Tozeur → Douz

Tozeur: stratégie de conservation des ressources naturelles :

- Présentation du programme des 3ème Rencontres Méditerranéen ;
- Présentation de la stratégie nationale de mobilisation des eaux, de conservation des eaux et du sol ;
- Présentations de la stratégie nationale de développement forestier et pastoral, de lutte contre l'ensablement et de développement rural intégré.

Visite de l'Oasis et des cascades de Tamerza;

Visite du barrage EL KHANGA ;

Visite des sources à CHEBIKA ;

Déjeuner à l'Oasis d'El Hamma-Djerid ;

Visite du système d'irrigation Ibn Chabbat à l'Oasis Tozeur ;

Visite du musée DAR CHRAIET ;

Départ vers DOUZ et traversée du CHOTT RL JERID.

- Accompagnateur: Mr. Béchir DADI, chef d'arrondissement au Commissariat Régional au développement Agricole de Tozeur.

### Mardi 9 Avril : Douz → Matmata

#### Conférences :

- Gestion de l'eau dans les oasis : économie de l'eau - tarification ;

- Exploitation des eaux profondes (Géothermie) : valorisation de l'énergie thermique pour la production maraîchère hivernale et écoulement des produits.

**Visite de terrain:** visite d'un projet agricole.

- Protection contre l'ensablement ;
- Refroidissement des eaux chaudes ;
- Géothermie : production sous serres chauffées.

### Mercredi 10 Avril : Matmata → Tataouine.

Conférence : valorisation des eaux de surface mobilisation – exploitation ;

- Visite d'un ouvrage d'épandage des eaux de crues : plaine de la Djefara ;
- Visite des réservoirs de stockage des eaux pluviales : citernes et "Majel" ;
- Observations des Jessours et travaux en gabions ;
- Départ vers Béni Khdeche et déjeuner en cours de route.

(Accompagnateur): Mr. Mohamed BOUFALGHA, Commissariat Régional au Développement Agricole de Medenine.

### Jeudi 11 avril : Tataouine → Kairouan → Hammamet

- Départ en bus vers Kairouan à travers Zarzis ;
- Visite de la station de dessalement des eaux saumâtres à ZARZIS.
- Accompagnateur : Mr. Fathi KAMEL -

SONODE/ZARZIS.

- Départ vers Enfidha : visite du barrage de l'oued Rmel à Bouficha.
- Accompagnateur : Mr. BOUGHRIOU, Directeur Général des Barrages.
- Un Représentant du commissariat Régional du Développement Agricole de Sousse.

### Vendredi 12 avril : Hammamet → Tunis → Hammamet

- Assemblée Générale de l'association Echanges Méditerranéen ;

### Samedi 13 Avril : Hammamet → Tunis

- Randonnée pédestre: visite du parc national de EL FEIJA et reconnaissance d'un futur sentier GR Bizerte - Tabarka.
- Accompagnateurs :- Mr. Rafik EL AINI, Direction Générale des Forêts et un représentant du Commissariat Régional de Béja et Jendouba .

### Dimanche 14 avril

Rencontre avec l'ATIGREF à la mutuelle de la SONEDE à la Soukra ;