

## RAPPORT MORAL

Mesdames, Messieurs, Chers Amis,

C'est toujours avec une grande joie que je vous retrouve à l'occasion de notre Assemblée Générale. Permettez-moi de remercier sincèrement les anciens membres pour leur fidélité à notre Association qu'est l'ANAFID et à souhaiter la bienvenue aux nouveaux adhérents.

Je vais essayer de dresser pour vous le bilan des activités de notre Association à la lumière duquel nous essayerons d'arrêter ensemble les actions futures. Ainsi, dans un premier temps, je passerai en revue les activités nationales de notre Association, à savoir les activités des Comités Techniques, les manifestations et les publications. Dans un second temps, j'aborderai les activités internationales au sein de la CIID et de la CIGR.

### 1. ACTIVITES DES COMITES TECHNIQUES

Permettez-moi de rappeler que les Comités Techniques constituent, au sein de l'ANAFID, le moteur de l'animation scientifique et technique sous toutes ses formes. Ils offrent le cadre privilégié d'une réflexion continue sur des thèmes particuliers dans les domaines d'intérêt de notre Association. Ces thèmes sont choisis pour répondre aux préoccupations du pays dans un contexte ouvert sur le monde. C'est ainsi que la réflexion sur certains sujets d'intérêt national est conduite en diapason avec celle menée au niveau international au sein de la CIID, de la CIGR et/ou d'autres organismes spécialisés. Ceci permet aux Comités Techniques de l'ANAFID non seulement de disposer d'une référence internationale mais aussi de garantir une contribution nationale efficace et utile au niveau mondial.

Jusqu'à présent, dix Comités Techniques ont été créés au sein de l'ANAFID. Il s'agit des comités :

1. Evapotranspiration et besoins en eau des cultures.

2. Gestion et exploitation des réseaux d'irrigation.
3. Erosion, conservation des sols et des eaux.
4. Machinisme agricole.
5. Histoire de l'irrigation au Maroc.
6. Eau potable en milieu rural.
7. Habitat rural.
8. Evaluation et suivi des projets.
9. Entreprises.
10. Impact de l'agriculture irriguée sur l'environnement.

Dans le cadre de la préparation du 13ème congrès international de la CIGR, qui sera organisé par l'ANAFID en 1998, notre Association compte créer d'autres comités techniques qui travailleront sur des thèmes qui seront traités lors de ce congrès.

Tous les sujets retenus par les comités techniques sont d'actualité. Ainsi :

- Le thème "Eau Potable en Milieu Rural" a été traité lors de la 8ème session du Conseil Supérieur de l'Eau au cours de laquelle le plan directeur de l'eau potable en milieu rural a été présenté.
- Le rôle de "l'Entreprise Nationale" dans la réalisation du Programme National d'Irrigation est actuellement au centre des débats entre la Profession et l'Administration.
- Sont enfin soulignées les préoccupations sur la préservation des ressources naturelles et la protection de l'environnement qui deviennent une dimension entière de toute politique de développement économique et social.

Bien que la période 92/93 ait été marquée par le fait que les Comités Techniques ne se soient pas réunis formellement, il n'en demeure pas moins que cette période a connu une intense réflexion au niveau national sur tous les thèmes précités.

L'ANAFID poursuivra inlassablement ses efforts pour continuer à stimuler la réflexion, mettre en commun les connaissances, proposer des approches plus efficaces et diffuser par ses publications la synthèse des résultats de ses comités techniques spécialisés et les actes des manifestations scientifiques qu'ils organisent.

Devant les défis qui sont à relever durant le restant de la décennie, l'ANAFID prend avec confiance la mesure des tâches immenses qui restent à accomplir et jette un regard ambitieux sur le futur.

Notre ambition, que je tiens à affirmer aujourd'hui, est de faire jouer pleinement à l'ANAFID son rôle d'Organisation Non Gouvernementale qui réunit sous le même toit tous les partenaires du développement (Administrations, Professionnels, Chercheurs etc...) pour offrir le cadre du dialogue, de la communication et de la réflexion dans l'intérêt de chacun et surtout celui de la communauté.

Je lance donc un appel pour que la mobilisation se poursuive et que le bénévolat, si menacé, continue à être la marque de la générosité intellectuelle qui gouverne l'intérêt mutuel.

## 2. ACTIVITES INTERNATIONALES

### 2.1. Au Sein de la CIID

Durant l'exercice écoulé, Le Comité National Marocain, qu'est l'ANAFID, s'est vigoureusement employé à prendre une part active aux différentes activités de la CIID. Cette participation peut être résumé succinctement comme suit.

2.1.1. Participation aux travaux de la 43ème Réunion du Conseil Exécutif international de la CIID, tenu à Budapest (Hongrie) le 27 Juin 1992. Lors de cette réunion, monsieur AIT KADI a été élu vice-Président de la CIID.

La réunion du CEI a été précédée par les réunions des comités techniques et groupes de travail de la CIID. L'ANAFID doit impérativement veiller à renforcer la participation du Comité National Marocain au sein de ces derniers.

Les autres manifestations techniques organisées à cette occasion sont :

- La Session Spéciale sur l'Histoire de l'Irrigation, du Drainage et de la Maîtrise des Crues.
- Les Ateliers sur le Logiciel d'Aide à la Décision, les Capteurs et la Commande en Temps Réel des Systèmes d'Irrigation Automatisés et l'Evaluation de la Performance en Irrigation.
- "Les stratégies européennes pour l'irrigation, le drainage et la maîtrise des crues à travers les années 1990" est le thème de la Conférence Régionale Européenne. Les sous-sujets qui ont fait l'objet de débats portent sur le phénomène de sécheresse, l'impact écologique, technologique, économique et social sur la gestion de l'eau agricole ainsi que sur les méthodes d'aide à la décision et les applications.

En marge des réunions du Comité Exécutif et à l'initiative des deux vice-présidents pour l'Afrique, une réunion informelle des Comités Nationaux Africains a été tenue. Au cours de cette réunion, il a été demandé aux Comités Nationaux d'entreprendre les efforts nécessaires pour renforcer les comités et dynamiser leur action au niveau national et au sein de la CIID.

Certains Comités Nationaux, et à leur tête l'ANAFID, ont été chargés de parrainer d'autres Comités Nationaux Africains à travers une diffusion des informations sur la constitution, la structure, le fonctionnement et les activités de l'ANAFID.

Dans ce sens, une plaquette sera préparée et la diffusion du bulletin INFO-ANAFID et de la revue "Hommes, Terre et Eaux" sera élargie à ces comités.

2.1.2. Participation au 15ème Congrès International de la CIID qui s'est tenu du 30 Août au 11 Septembre 1993 à La Haye (Pays-Bas) sous le thème "Le Management de l'Eau au Siècle Prochain". Ce sujet a été traité à travers deux questions, une session spéciale et un symposium.

- Question 44 : "La planification et la conception des réseaux de drainage et d'irrigation".
- Question 45 : "Le management des réseaux d'irrigation et le drainage / interdépendances institutionnelles et financières".
- Session Spéciale : "L'irrigation et le drainage en concurrence pour l'eau".
- Symposium : "L'impact de l'information en temps réel sur le management des systèmes".

Il convient de souligner que la CIID s'emploie vigoureusement à mettre en oeuvre les recommandations du Sommet de la Terre et le plan d'action 21 qui lui est associé. Elle a réaffirmé son engagement à ce plan d'action à la déclaration dite de La Haye que je me permets de vous lire (ou de vous distribuer).

#### 2.1.3. Participation des Comités Techniques et Groupes de Travail par :

- a) La révision du chapitre 10 du dictionnaire multi-langues.
- b) Le développement, dans le cadre du groupe de travail "Eau et Culture" d'une base de données sur les modèles Eau-Culture.

#### 2.1.4. Participation au Programme International de Recherche-Développement sur les Techniques d'Irrigation et du Drainage (IPTRID).

Comme vous le savez, ce programme a été mis en place à la suite d'une recommandation faite lors du treizième congrès international de la CIID, que notre pays a eu le privilège d'organiser en 1987.

Ce programme, auquel ont souscrit un grand nombre de bailleurs de fonds et dont le secrétariat est assuré actuellement au niveau de la Banque Mondiale, vise principalement à promouvoir l'établissement de réseaux de recherche collaboration dans les domaines de l'irrigation et du drainage.

L'ANAFID a pris une part active dans la conception de ce programme, ce qui a valu à notre

pays d'être choisi, avec l'Égypte et le Pakistan, pour une première recherche sur le drainage et la salinité des terres agricoles. Plusieurs missions d'évaluation ont été effectuées au Maroc et un programme, pour lequel des sources de financement sont recherchées, a été établi.

L'engagement soutenu et continu de notre Association au sein de la CIID lui a permis d'apporter une contribution efficace et utile pour infléchir les activités de la Commission vers une plus grande adaptation aux besoins des pays en voie de développement.

## 2.2. Au sein de la CIGR

L'ANAFID maintient des relations très étroites avec la CIGR au sein de laquelle elle joue un rôle d'avant garde. Elle suit de très près le processus de restructuration dans lequel s'est engagé la CIGR en vue d'une plus grande efficacité d'action au niveau international.

L'ANAFID continue à informer régulièrement ses membres des manifestations de la CIGR dans le bulletin INFO-ANAFID. Elle se réfère souvent à la News letter de la CIGR dont la version française vient d'être diffusée.

Parmi les activités que la CIGR a entreprises ou qui sont inscrites dans son agenda figurent notamment :

### 2.2.1. Assemblée Générale de la CIGR

Celle-ci s'est tenue au Japon à l'Université de Tokyo en mai 1993. Le comité Japonais de la CIGR a organisé à cette occasion un symposium international sur le thème : "Génie rural à l'horizon 2000". L'ANAFID a été représentée à ces manifestations par Monsieur BARTALI.

Durant cette assemblée générale, la CIGR a examiné les points suivants :

- La dernière version des statuts révisés.
- Les adhésions des associations nationales et régionales.

En ce qui concerne la révision des statuts, il convient de signaler que le comité marocain ne ménage aucun effort en vue du maintien de la langue française comme langue de travail dans les congrès de la CIGR.

En collaboration avec le comité français de la CIGR, il entreprend des démarches pour que la traduction simultanée anglais français ait lieu au prochain congrès de la CIGR à Milan.

Pour ce qui est des Associations Régionales à la CIGR, deux faits marquants sont à signaler :

- L'adhésion de l'Association Européenne du Génie Rural à la CIGR, de l'Association Asiatique du Génie Rural et de l'Association du Génie Rural de l'Est et du Sud Est Africain.

Le nombre des associations nationales adhérentes a atteint 42 associations dont la FAO. Ces associations représentent des pays issus des cinq continents.

- Le retrait de l'Association Américaine du Génie Rural de la CIGR. Ce retrait annoncé subitement par l'ASAE pour des raisons de restrictions budgétaires est cependant considéré comme un fait temporaire et la communauté internationale espère voire bientôt l'ASAE de retour à la CIGR.

L'ANAFID a saisi par écrit le comité américain de la CIGR pour lui exprimer sa préoccupation face à cette décision de retrait. Cette initiative a été très appréciée par la CIGR.

#### *2. 2. 2. 47ème réunion du bureau exécutif de la CIGR*

Cette réunion a été organisée par notre association les 7 et 8 février derniers à Rabat. Y ont assisté : le président (Italien), le Vice Président (Norvégien), le Secrétaire Général (Belge) de la CIGR ainsi que les Présidents de quatre sections techniques, issus de Belgique, Hollande, Hongrie, Finlande.

Pr. Kitani du Japon a également assisté à cette réunion comme représentant de l'Asie et

Pr. BARTALI comme observateur au nom de l'ANAFID.

La réunion a été marquée une allocution d'accueil du Président de l'ANAFID, un déjeuner offert par l'ANAFID et des visites à des ouvrages hydroagricoles et installations de stockage dans le périmètre du Gharb organisées avec la précieuse collaboration de l'ORMVAG.

Les points abordés lors de cette réunion ont porté notamment sur :

- La préparation des élections.
- Le XIIème congrès de la CIGR à Milan.
- Les XIIIème congrès de la CIGR prévu au Maroc

#### *2.2.3. XIIème Congrès de la CIGR*

Ce congrès est organisé en parallèle avec la Conférence bi-annuelle du Génie Rural de l'Association Européenne EurAgEng. Il aura lieu à l'Université du Milan du 29 Août au 1er Septembre 1994. Un grand nombre de participants sont attendus à cette double manifestation internationale.

L'ANAFID souhaite une participation massive de ses adhérents à ces deux manifestations. De plus amples informations à ce sujet peuvent être obtenues au Secrétariat de l'ANAFID.

A l'occasion de ce congrès aura lieu une assemblée générale de la CIGR qui traitera notamment de la question des élections des bureaux des sections techniques et du bureau exécutif de la CIGR.

Afin de s'impliquer davantage dans les différentes activités de la CIGR, l'ANAFID a soumis quatre candidatures, celles de MM. BARTALI, DEBBARH, BOURARACH, RAMDANI.

#### *2.2.4. XIIIème Congrès du Génie Rural*

Comme vous le savez, notre pays accueillera le premier congrès international de la CIGR qui se tiendra en dehors de l'Europe et des USA. La date initialement retenue pour ce congrès est maintenue pour 1998 sur insistance de l'ANAFID. Cette date a

fait l'objet d'un débat au sein du bureau exécutif de la CIGR en vue d'un éventuel avancement ou report dû au fait qu'en 1998, une conférence internationale de génie rural sera organisée en Norvège par l'Association Européenne EurAgEng.

Un premier travail de sélection des thèmes à traiter lors de ce congrès a été entamé par un groupe de quatre membres du Bureau de l'ANAFID. Une proposition du comité marocain sera faite à la CIGR à ce sujet avant le congrès de Milan.

Je saisis cette occasion pour inviter les membres de l'ANAFID à s'adjoindre à ce groupe ou à faire part de leurs suggestions de thèmes au secrétariat de notre association.

L'organisation du XIII congrès du génie rural au Maroc exige une grande mobilisation de la part des membres de l'ANAFID. Celle-ci doit prévoir un programme scientifique, technique et touristique pour la communauté internationale du génie rural. Elle doit organiser la tenue de sessions plénières et de sessions en parallèle avec traduction simultanée anglais/français pour les six sections techniques de la CIGR. Ces dernières, je vous le rappelle couvrent respectivement les sujets suivants : sciences de l'eau et du sol, constructions en agriculture, machinisme agricole, électrification rurale, organisation du travail en agriculture, transformation des produits agricoles.

#### 2.2.5. 70<sup>ème</sup> anniversaire de la CIGR

Le comité national japonais de la CIGR organise en l'an 2000 une conférence internationale sur le génie rural à l'occasion du 70<sup>ème</sup> anniversaire de la CIGR. Cette activité traduit le dynamisme du comité japonais au sein de la CIGR. Le Japon a augmenté sa cotisation dans la CIGR et il est le candidat pour la Vice-Présidence de la CIGR aux élections de Milan.

### 3. LES PUBLICATIONS DE L'ANAFID

#### 3.1. Revue "Hommes, Terre et Eaux"

Depuis la dernière Assemblée Générale, l'ANAFID a réalisé l'édition de 8 numéros de la revue

"Hommes, Terre et Eaux", tirés en 1.000 exemplaires chacun. Nous devons nous féliciter pour ce record.

Les articles publiés ont couvert l'ensemble des manifestations organisées par l'ANAFID ainsi que certaines journées nationales d'information sur des thèmes en relation avec les activités de l'ANAFID.

A ce titre :

- Le numéro 88 de Septembre 1992 a été consacré au séminaire "Céréaliculture et Irrigation d'Appoint", organisé par l'ANAPPAV.
- Le numéro 92 de Septembre 1993 a été réservé à la journée d'information "Agriculture-Environnement", organisé par le MAMVA.
- Le numéro 93 de Décembre 1993 contient les articles présentés lors de la journée d'information sur "L'Agrométéorologie", organisée par l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

D'autre part, des numéros spéciaux ont été consacrés aux manifestations suivantes organisées par l'ANAFID :

- Séminaire International "Travail du Sol en Zones Arides et Semi-Arides", organisé en Avril 1992 à Rabat, dans le cadre des activités de l'ANAFID au sein de la Commission Internationale du Génie Rural. Les actes de ce séminaire ont été publiés dans le numéro double 86/87.
- De même, un numéro spécial, 89/90, a été consacré à la table ronde "Les Politiques d'Ajustement Structurel et leur Impact sur l'Agriculture Irriguée au Maroc", organisée par l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, en association avec l'ANAFID dans le cadre d'un programme d'échanges académiques avec WYE COLLEGE de l'Université de Londres.

L'ANAFID a déployé des efforts appréciables dans l'amélioration de la présentation de la revue et ce aussi bien au niveau de l'aspect de la couverture que

de la photocomposition du texte. L'impression de la revue en deux couleurs (à partir du numéro 88 de Septembre 1992) a considérablement contribué à l'amélioration de la présentation des illustrations (tableaux en particulier) ainsi que les publicités.

Il est à noter cependant, que cette amélioration de présentation a nécessité des dépenses supplémentaires qu'il est possible de compenser par une amélioration des recettes publicitaires. A ce niveau, de sérieux efforts devraient être entrepris pour revoir les publicités insérées, rechercher une nouvelle clientèle et assurer le suivi du recouvrement.

### 3.2. Bulletin INFO-ANAFID

Ce bulletin, créé en Janvier 1988, est destiné à informer un large public sur les activités du Bureau, des Comités Techniques, sur les activités de l'ANAFID au sein d'organisations internationales telles que la CIID et la CIGR ainsi que sur les nouvelles relatives aux aménagements hydro-agricoles en particulier.

Il est diffusé à plus de 1700 exemplaires aux adhérents effectifs et potentiels de l'ANAFID sur la base d'un "mailing list" régulièrement mis à jour.

Il est à noter cependant que la parution de ce bulletin a été régulièrement assurée à raison d'une fréquence bimestrielle grâce à la contribution de l'ORMVA du Loukkos qui assure son édition.

Je profite de cette occasion pour remercier l'ORMVA du LOUKKOS.

### 3.3. Autres publications

Le Comité Technique "Gestion et Exploitation des Réseaux d'Irrigation" a publié un second volume exclusivement consacré aux Associations d'Irriguants".

## 4. MANIFESTATIONS ORGANISEES PAR L'ANAFID

### 4.1. Sortie dans le Périmètre de la Moulouya

Une sortie, à laquelle a assisté un nombre important de cadres, a été effectuée dans le Périmètre de la Moulouya (les 22 et 23 Mai 1992). Elle a été consacrée à la visite du Périmètre de la MOULOUYA et de projets d'aquaculture.

### 4.2. Conférence sur l'environnement

L'ANAFID a organisé le 24 Mai 1993 une conférence sur le thème "Pour l'Environnement et contre la Pauvreté, quelle avancée à partir de Rio?".

## 5. CONCLUSION

A la lumière du rapport moral de cet exercice, il s'avère que les efforts fournis par les membres du Bureau ont permis d'accomplir des progrès non négligeables en direction des objectifs fixés, ils n'ont malheureusement pas pu permettre de réaliser les ambitions auxquelles elle peut prétendre. Avec vous tous, nous pouvons déployer nos énergies dans ce sens.

A. Bekkali  
Président de l'ANAFID



ANAFID

# AMENAGEMENT HYDRAULIQUE AU MAROC : SITUATION ACTUELLE ET PROGRAMME NATIONAL DE L'IRRIGATION

YACOUBI S. MOHAMMED<sup>(1)</sup>

## INTRODUCTION

Dans le cadre de l'objectif du "Million d'Hectares irrigués en l'An 2000" fixé par SA MAJESTE LE ROI, le Maroc a entrepris un vaste programme d'aménagement hydro-agricole.

Ce programme repose sur le principe d'intégration de la réalisation des infrastructures, et de la mise en valeur agricole, pour valoriser le potentiel irrigable au mieux des intérêts de la collectivité nationale.

A l'heure actuelle 880.000 Ha sont aménagés sur un potentiel irrigable de façon pérenne de 1,35 million d'hectares. Cet ensemble irrigué, bien qu'il ne représente que 11% de la superficie agricole utile, contribue à hauteur de 45% de la valeur ajoutée, du tiers de l'emploi en milieu rural et de 75% des exportations agricoles.

Le Discours Royal du 17 Novembre 1992 a donné une nouvelle impulsion et un nouvel élan à ce processus d'aménagement hydro-agricole et doit se traduire par l'accélération du rythme d'équipement et par la dynamisation de l'agriculture irriguée dans son ensemble.

Conformément aux Hautes Instructions Royales, le Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, a élaboré un Programme National de l'Irrigation.

Ce programme a pour objectifs de rattraper le décalage actuel et potentiel entre les superficies dominées par les barrages existants ou en cours de construction et les superficies réellement aménagées, d'entreprendre la réhabilitation des périmètres vétustes

et d'actualiser les droits et obligations de l'Etat et des bénéficiaires, notamment en matière de charges de gestion.

Le PNI se veut de capitaliser les résultats des stratégies d'aménagement et de mise en valeur antérieurement développées. Il s'articule ainsi autour de deux composantes : les Investissements physiques et les mesures d'ajustement institutionnel.

Dans ce sens le présent exposé est décomposé en trois parties.

Une première qui traite du rôle des aménagements hydro-agricoles dans le développement socio-économique de notre pays, de la situation actuelle des équipements, de l'impact de ces équipements et de la problématique des aménagements hydro-agricoles.

Une deuxième partie est consacrée à la présentation du PNI: notamment le cadre et les raisons du programme et ses composantes physiques et institutionnelles.

La troisième partie est consacrée à une présentation des principaux résultats et effets du programme national de l'irrigation sur le développement de notre pays.

## 1. ROLE ET SITUATION DES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES

### 1.1 *Le rôle des aménagements hydro-agricoles :*

Le rôle assigné aux aménagements hydro-agricoles est de répondre aux exigences du

(1) Ingénieur en chef du Génie Rural, membre du bureau de l'ANAFID.

développement économique et social du pays compte tenu de ses besoins et de son potentiel de production agricole. Ces besoins s'expriment en termes de couverture des besoins alimentaires et de développement rural et national.

#### *Couverture des besoins alimentaires :*

L'accroissement démographique et la modification des modèles de consommation alimentaire, par suite d'une urbanisation de plus en plus marquée et de l'amélioration du niveau de vie, augmentent et diversifient les besoins de la population en produits alimentaires.

La satisfaction de ces besoins découle non seulement des grands efforts engagés pour améliorer la production agricole mais aussi de l'approvisionnement extérieur.

Le rôle des importations est contrasté par produit et par année. C'est ainsi, par exemple, que les besoins en sucre sont de plus en plus couverts par la production nationale, le taux de couverture atteignant 70%. Pour les spéculations conduites principalement en bourse (céréales, huiles...) le poids des importations est très élevé et s'accroît d'avantage d'année en année.

Les conditions climatiques déterminent profondément la production: l'insuffisance et la mauvaise répartition des précipitations annihilent grandement toutes les actions visant l'amélioration de cette production, en particulier dans les zones d'agriculture pluviale qui supportent l'essentiel des superficies céréalières et la production des viandes rouges.

Le Maroc reste ainsi confronté à la nécessité d'assurer la couverture de ses besoins alimentaires par la production nationale en tenant compte d'accidents climatiques inéluctables. L'estimation des besoins en l'an 2020 permettent de saisir l'ampleur des efforts à consentir. C'est ainsi que par rapport aux besoins actuels, ces derniers devraient être multipliés par 2,6 à 2,9 voir même 3,8 selon les produits et le scénario nutritionnel retenu.

Dans ce contexte, l'impératif de l'intensification agricole confère à l'irrigation un rôle stratégique prépondérant.

#### *Développement Rural :*

L'enquête sur le niveau de vie des ménages a révélé que 29,7% de la population rurale avait une dépense annuelle de moins de 2.935 DH par personne contre seulement 9% en milieu urbain. Ce bas niveau des revenus dans le monde rural est accentué par l'insuffisance des infrastructures sociales où, à titre d'exemple, seuls 14% et 12% des ménages ruraux ont accès respectivement à l'eau potable et à l'électricité.

La précarité des conditions et des niveaux de vie dans la campagne, alimente l'exode rural. La fixation et la stabilisation des populations rurales passent par la création d'activités agricoles et para-agricoles productives et économiquement motivantes, garantissant des emplois et des revenus stables au sein des pôles de développement.

Dans cette perspective l'aménagement hydro-agricole acquiert une importante dimension sociale.

#### *Développement national :*

La contribution des aménagements hydro-agricoles au développement national compte tenu de la grappe de leurs effets directs et indirects (emploi, valeur ajoutée, balance commerciale, développement d'activités industrielles...) est appréciée à travers l'étroite corrélation entre l'évolution du Produit Intérieur Brut (PIB) et celle du Produit Intérieur Brut Agricole (PIBA), comme le montre la Figure-1.

Les zones irriguées, bien qu'elles ne représentent que moins de 11% de la superficie cultivée, contribuent à environ 45% en moyenne de la valeur ajoutée agricole et assurent plus du tiers de l'emploi en milieu rural. Cette contribution est encore plus marquée pendant les années de sécheresse, tel que cela a été mis en évidence durant la période 1980-1984.

Dans ce sens l'aménagement hydro-agricole constitue un véritable catalyseur pour l'économie nationale.

#### *1.2 Les potentialités d'irrigation*

##### *Le potentiel hydraulique :*

Le potentiel hydraulique mobilisable dans les conditions techniques et économiques actuelles, est

## EVOLUTION COMPAREE DU TAUX DE VARIATION ANNUELLE DU PIB ET DU PIBA

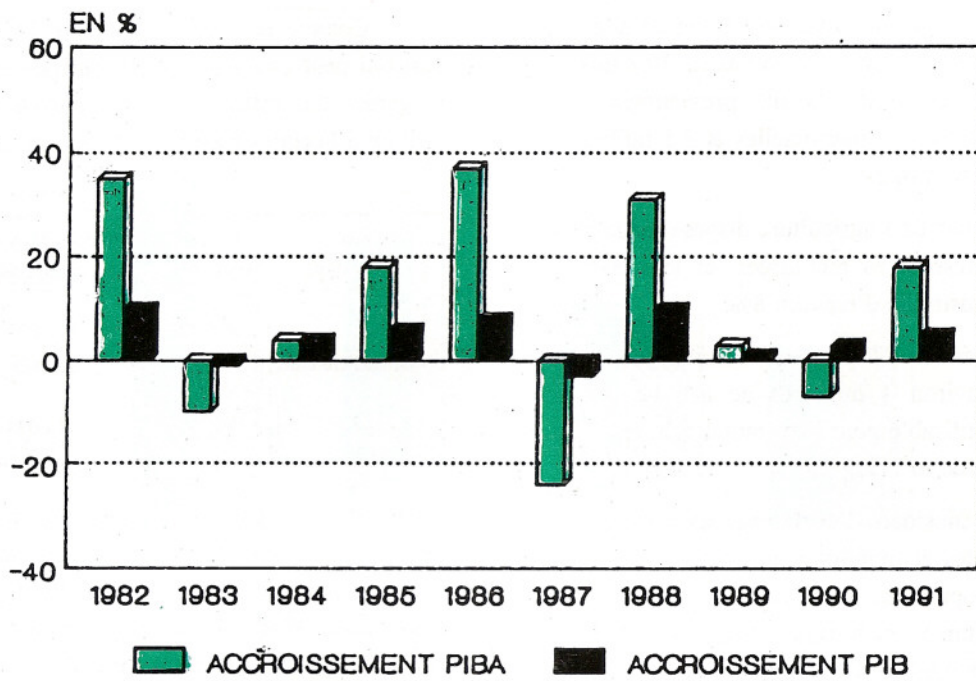


Fig-1

## LES VOLUMES MOBILISES ET MOBILISABLES PAR SECTEUR

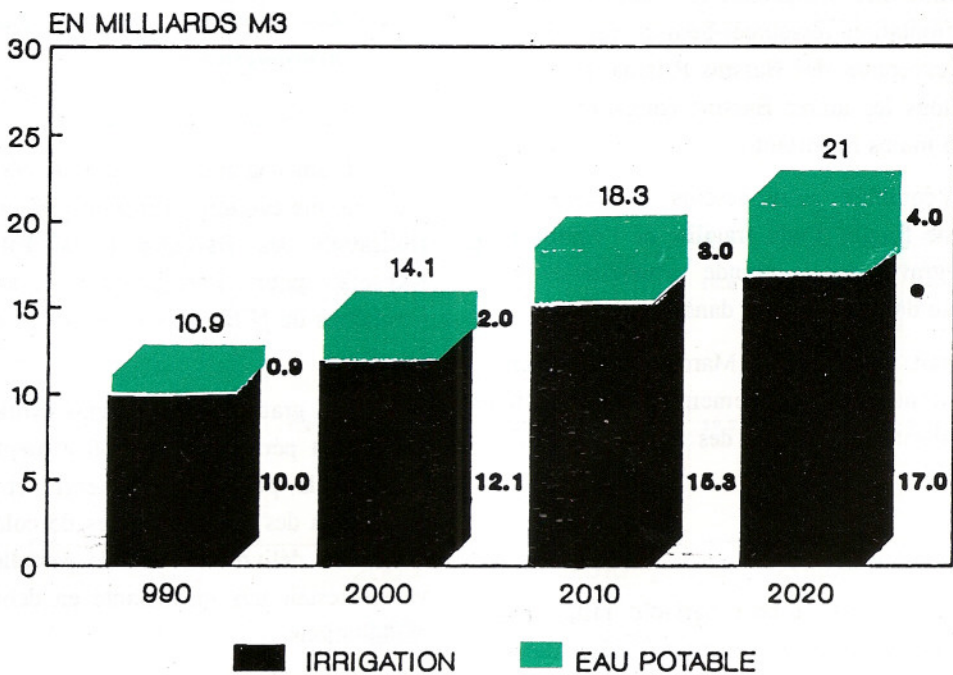


Fig-2

estimé à 21 milliards de m<sup>3</sup> dont 16 milliards en eaux de surface et 5 milliards de m<sup>3</sup> en eaux souterraines

Les efforts déployés en matière de réalisation d'infrastructures hydrauliques permettent de disposer à l'heure actuelle et en année moyenne de 10,8 milliards de m<sup>3</sup> dont 7,3 milliards m<sup>3</sup> proviennent de la mobilisation des eaux superficielles et 3,5 milliards de m<sup>3</sup> d'eaux souterraines.

Le secteur de l'agriculture dispose actuellement de 92% des ressources mobilisées, et le secteur eau potable et industrielle d'environ 8%.

A l'horizon 2020, les besoins de l'AEPI atteindront environ 4 milliards de m<sup>3</sup>. Le potentiel hydraulique utilisable pour l'irrigation s'élèverait alors à 7 milliards de m<sup>3</sup>. (Fig-2)

Si on considère l'évolution des ressources en eau mobilisables et mobilisées et qu'on les compare à celle de la population, on constatera que de 1990 à 2020, le volume mobilisable par tête d'habitant diminuerait de plus de 51%. Il passera en effet de 833 m<sup>3</sup> par habitant et par an en 1990 à 411 m<sup>3</sup> par habitant et par an en 2020. Celui des volumes mobilisés passera de 432 m<sup>3</sup> à 411 m<sup>3</sup> par habitant et par an. (Fig-3)

Cette analyse en termes globaux, masque de grandes disparités inter-régionales. A l'horizon 2020, la simple confrontation ressources-besoins permet de relever qu'à l'exception des Bassins Rifains du Nord et du Sebou, tous les autres Bassins connaîtront des déficits plus au moins importants.

Ainsi, l'équilibre entre besoins et ressources disponibles reste fragile. Cette fragilité de l'équilibre général est aggravée par la grande variabilité de la ressource en eau dans le temps et dans l'espace.

Il apparaît donc que le Maroc dispose d'un potentiel hydraulique relativement limité qu'il convient d'utiliser au mieux des intérêts de la collectivité nationale.

#### *Le potentiel irrigable :*

Au regard de la surface agricole utile, qui s'élève à environ 8 millions d'hectares inégalement

répartis dans les différentes régions agro-climatiques du pays, ce sont les ressources en eau disponibles qui limitent le potentiel des terres irrigables.

Compte tenu du potentiel mobilisable et de la part qui peut être réservée à l'agriculture, le potentiel irrigable est estimé actuellement à environ 1,65 million d'hectares répartis comme suit :

Type d'irrigation	Grande Hydraulique	Petite et Moyenne Hydraulique	Total
-Pérenne	843.000	510.000	1.353.000
-Saisonnaire/crue		300.000	300.000
TOTAL	843.000	810.000	1.653.000

Si on considère l'évolution projetée, à différents horizons, de la superficie irriguée en eau pérenne par habitant, on constatera que ce ratio passera de 33,7 à 24,6 ha par an pour 1.000 habitants soit une régression de 28%. (Fig.4)

Ainsi à la nécessité de mobilisation de nos ressources en eau et d'aménagement hydro-agricole, de nos terres, s'ajouterait la nécessité d'amélioration de la productivité des terres irriguées.

### *1.3 Les relations en matière d'aménagement hydro-agricole*

#### *La Grande Hydraulique :*

L'aménagement des grands périmètres irrigués a connu une évolution constante depuis 1935, date de réalisation des Barrages Lalla Takerkoust et El Kansera pour l'irrigation respectivement des périmètres du N'fis dans le Haouz et du Beht dans le Gharb.

Les grands aménagements hydrauliques réalisés pendant la période 1940-1956 avaient pour objectifs principal la production d'énergie et accessoirement l'irrigation des grandes fermes de colonisation. L'eau était alors délivrée en tête de parcelle et la mise en valeur restait très insuffisante en dehors des grandes exploitations.

## EVOLUTION DES VOLUMES MOBILISABLES ET MOBILISES PAR HABITANT ET PAR AN

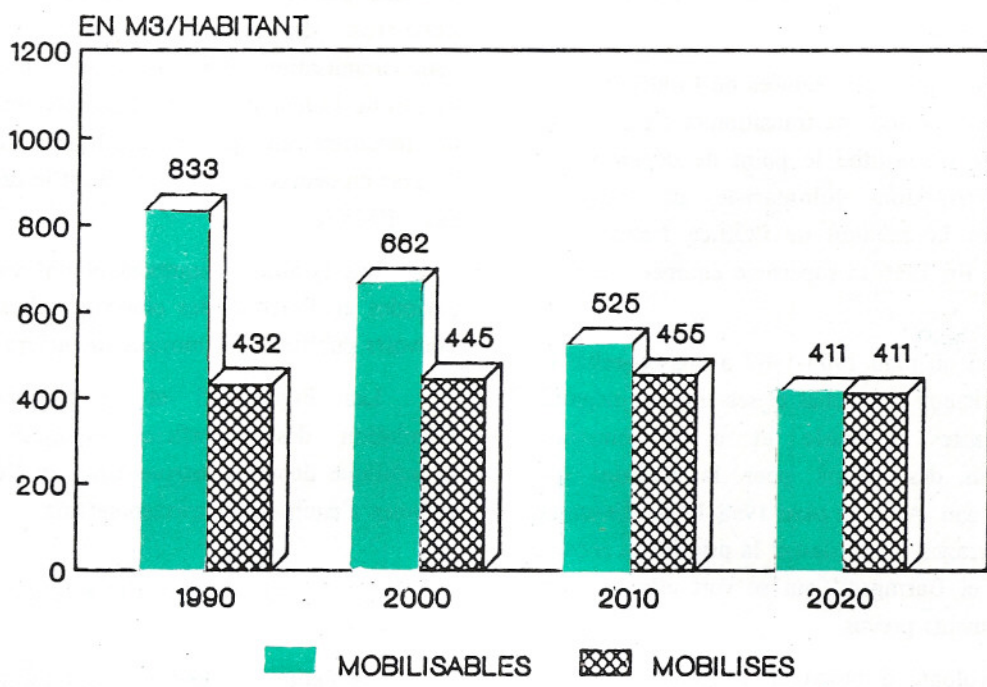


Fig-3

## EVOLUTION DES SUPERFICIES IRRIGUEES PAR 1000 HABITANTS ET PAR AN

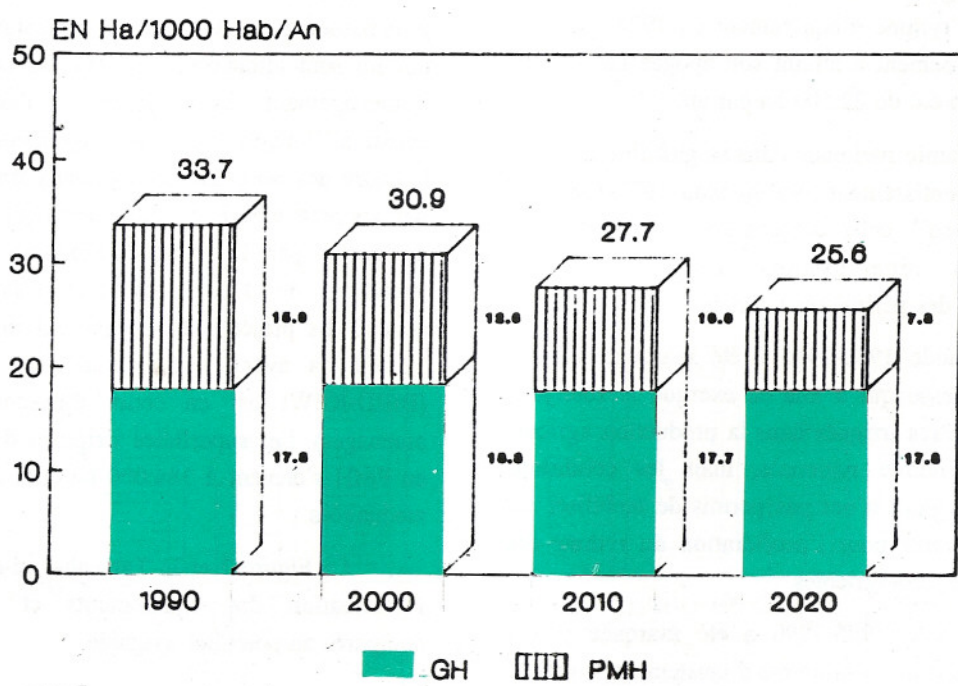


Fig-4

En 1955 la superficie dominée par les barrages était de 132.000 ha alors que les superficies équipées étaient de 65.000 ha.

Les quatre premières années de l'indépendance ont constitué une période de transition et c'est le plan 1960-1964 qui a constitué le point de départ d'une politique d'irrigation volontariste et Intégrée, concrétisée par la création de l'Office National de l'Irrigation. A fin 1966 la superficie équipée s'élevait à 125.000 ha

Le bilan du plan 1965-1967 a mis en relief la caractère capricieux du climat et ses impacts négatifs sur l'économie nationale et a recommandé l'intensification des efforts pour la maîtrise des ressources en eau. Ainsi le plan 1968-1972, dénommé "Plan des Barrages" accorda-t-il la priorité au secteur "Agriculture et Barrages" qui se voit affecter 45% des investissements prévus.

Cette volonté d'intervention massive de l'Etat en matière d'irrigation a été précédée et accompagnée par deux mesures institutionnelles importantes : la création des ORMVA en 1966 et la promulgation du Code des Investissements Agricoles en 1969.

Le plan 1973-1977 a confirmé la priorité accordée à l'agriculture irriguée et il fut même décidé de doubler le rythme d'équipement en 1974. Ainsi le rythme d'équipement a atteint son apogée entre 1970 et 1975 où il a été de 22.500 ha par an.

L'économie nationale dans sa globalité a connu un certain ralentissement lors du plan 1978-1980, dit "Plan de Pause", cette conjoncture n'a pas manqué d'avoir des répercussions sur les rythmes d'équipement des périmètres irrigués.

La période 1980-1985 a été marquée par une grande sécheresse qui a mis en exergue le rôle joué par les périmètres irrigués dans la production agricole et dans l'économie nationale, mais les conditions financières du pays n'ont pas permis de mobiliser les crédits nécessaires pour l'accélération du rythme des équipements hydro-agricoles.

La période 1985-1990 a été marquée par la mise en place d'un programme d'ajustement structurel

visant la stabilisation des investissements et des dépenses publiques, et le désengagement de l'Etat des activités directes de production ou de commercialisation. Cette politique s'est traduite au niveau du secteur irrigué par l'accroissement de la part des investissements consacrés à la réhabilitation et par la mise en oeuvre de mesures visant le désengagement des ORMVA.

Les rythmes d'équipement ont varié selon les périodes en fonction des objectifs poursuivis par les pouvoirs publics et les moyens financiers disponibles.

Les Figures 5 et 6 ci-après présentent l'évolution des superficies équipées en grande hydraulique depuis l'indépendance et l'évolution des rythmes d'équipement correspondants.

#### *La Petite et Moyenne Hydraulique "PMH" :*

La Petite et Moyenne Hydraulique comprend l'ensemble des périmètres d'irrigation de taille faible à moyenne, répartis sur la totalité du territoire national. Le potentiel d'irrigation en PMH est évalué à 510.000 ha irrigables par des eaux pérennes et 300.000 ha qui peuvent bénéficier d'eaux saisonnières ou de crues.

Depuis 1984, l'Etat accorde un intérêt grandissant à la PMH par l'augmentation des crédits qui lui sont alloués (12 à 14% des crédits alloués à l'aménagement hydro-agricole). Parallèlement on assiste à l'intégration des aménagements de PMH dans le cadre des programmes nationaux financés en partie par des prêts extérieurs. Ainsi le projet PMH-1 financé en partie par la Banque Mondiale concerne une superficie de 13.000 ha dont l'aménagement est achevé. Le projet PMH-2 couvrant une superficie de 32.000 ha ayant fait l'objet d'un co-financement (BIRD-KFW) est en cours d'exécution (6.200 ha aménagés). Les superficies irriguées de façon pérenne en PMH s'élèvent à 384.000 ha dont 240.000 ha sont aménagées.

La Figure-7 et le Tableau-1 ci-après présentent la situation des équipements et des irrigations comparés au potentiel irrigable.

## EVOLUTION DES SUPERFICIES EQUIPEES EN GRANDE HYDRAULIQUE

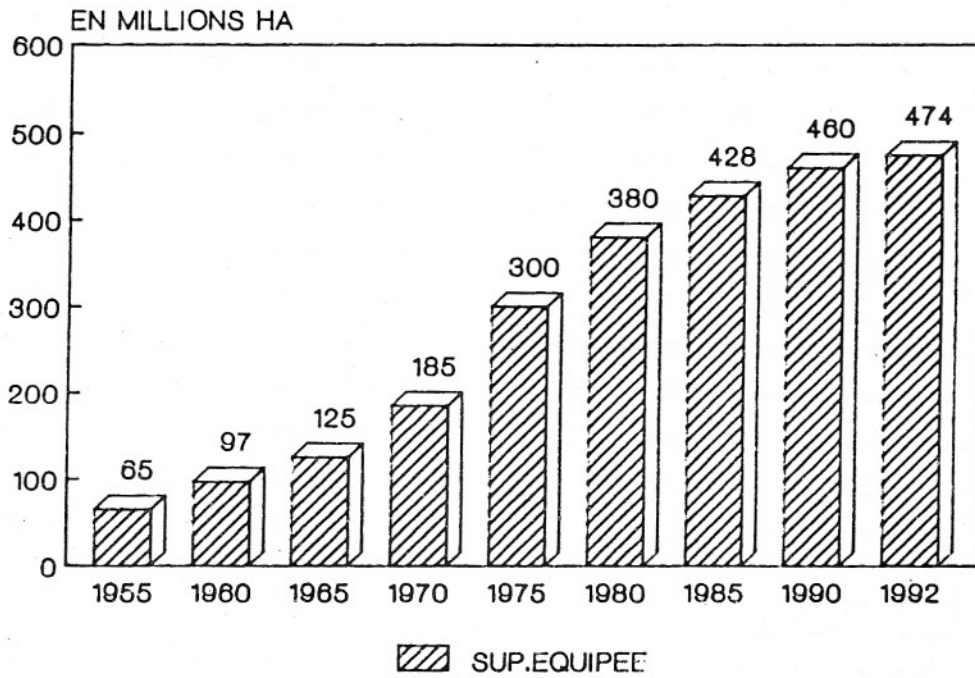


Fig-5

## EVOLUTION DU RYTHME D'EQUIPEMENT EN GRANDE HYDRAULIQUE

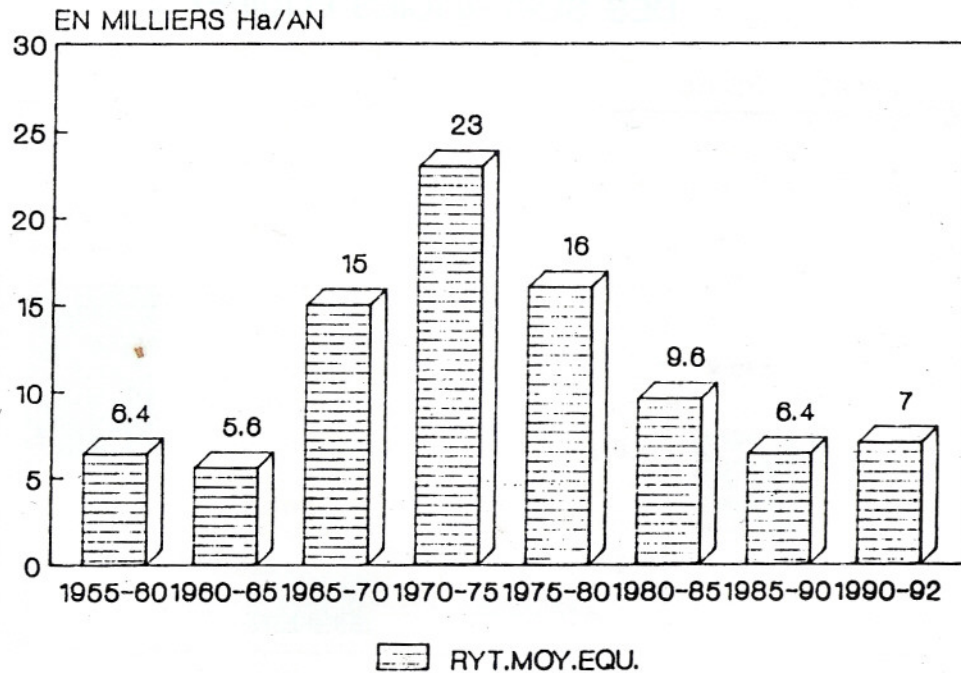


Fig-6

POTENTIEL IRRIGABLE ET SITUATION DES EQUIPEMENTS ET DES IRRIGATIONS (en hectare)

DESIGNATIONS	POTENTIEL IRRIGABLE			SUPERFICIE IRRIGUEES			SUPERFICIE EQUIPEES		
	G.H	P.M.H	TOTAL	G.H	P.M.H	TOTAL	G.H	P.M.H	TOTAL
MOULOUIYA	65.400	3.000	68.400	65.400	3.000	68.400	65.400	3.000	68.400
GARB	220.393	27.500	247.893	89.678	16.500	106.178	89.678	16.500	106.178
DOUKKALA	125.300	3.000	128.300	61.300	3.000	64.300	61.300	3.000	64.300
HAJOUZ	202.714	12.298	215.012	75.550	12.298	87.848	53.550	12.298	65.848
TADLA	107.900	16.070	123.970	97.300	15.990	113.290	97.300	15.990	113.290
TAFILALET	27.900	7.065	34.965	27.900	4.065	31.965	27.900	4.065	31.965
OUARZAZATE	26.380	33.310	59.690	26.380	33.310	59.690	26.380	33.310	59.690
SOUSS MASSA	32.710	65.990	98.700	32.710	63.290	96.000	32.710	63.290	96.000
LOUKKOS	34.258	36.120	70.378	19.599	6.120	25.719	19.599	6.120	25.719
<b>TOTAL ORMVA</b>	<b>842.955</b>	<b>204.353</b>	<b>1.047.308</b>	<b>495.817</b>	<b>157.573</b>	<b>653.390</b>	<b>473.817</b>	<b>157.573</b>	<b>631.390</b>
<b>TOTAL DPA</b>		<b>305.000</b>	<b>305.000</b>		<b>226.000</b>	<b>26.000</b>		<b>81.800</b>	<b>81.800</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>842.955</b>	<b>509.353</b>	<b>1.352.308</b>	<b>495.817</b>	<b>383.573</b>	<b>879.390</b>	<b>473.817</b>	<b>239.373</b>	<b>713.190</b>

NB: Il s'agit des irrigations perennes, les superficies irriguées par des eaux saisonnières ou de crues sont estimés à 350.000 ha (PMH) en année d'hydraulicité moyenne.

SITUATION DU POTENTIEL IRRIGABLE ET DES SUPERFICIES EQUIPEES

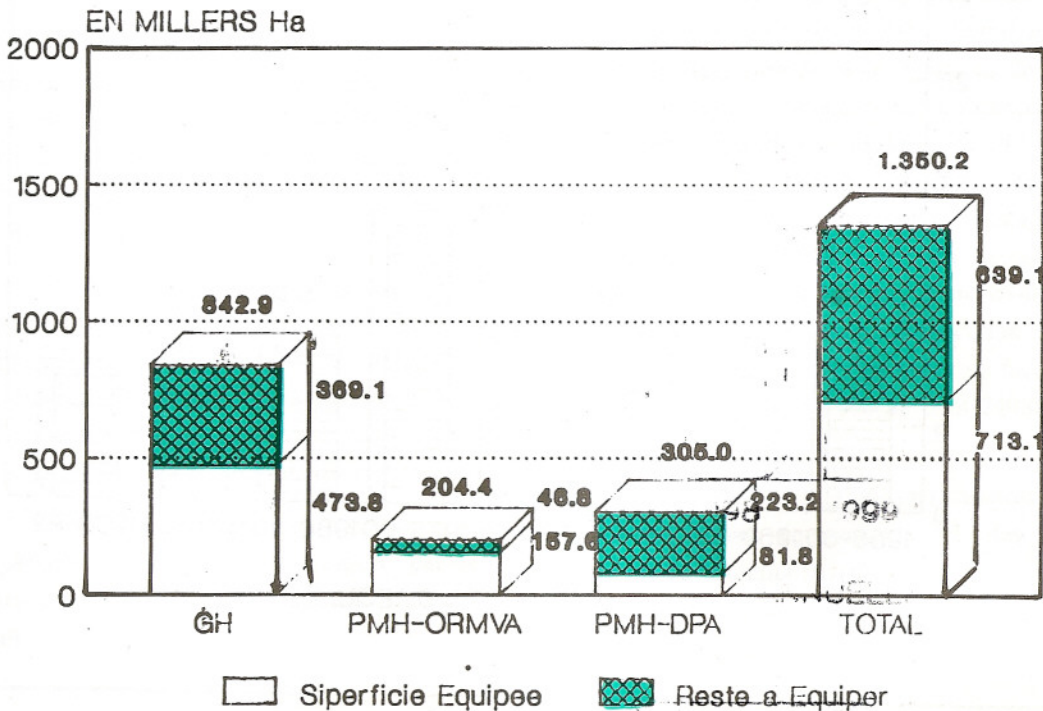


Fig-7

## 1.4 Les impacts des aménagements hydro-agricoles

### La mise en valeur

La mise en valeur agricole dans les grands périmètres irrigués a réalisé des progrès notables. En effet, dans la plupart de ces périmètres, l'utilisation de l'eau d'irrigation a atteint approximativement 80% du potentiel. Cette mise en valeur a permis de multiplier la valeur ajoutée à l'hectare par 8 à 10 fois selon les périmètres. Les augmentations des revenus annuels nets ont atteint 5.000 à 10.000 DH/ha.

Le taux moyen d'intensification a augmenté progressivement, il est actuellement de 110% (contre moins de 80% dans le bour en année favorable) mais reste dans certains périmètres inférieur au potentiel moyen estimé à 130%. L'irrigation et l'usage d'autres intrants tels que les semences sélectionnées, les engrais et la mécanisation ont conduit à une augmentation sensible des rendements. Cette augmentation associée à celle des superficies irriguées ont entraîné une augmentation substantielle du volume global de la production de certaines cultures. La production agricole dans les périmètres irrigués a augmenté à un rythme de 7,9% par an depuis 1960.

### Le développement rural :

En matière d'emploi, les superficies cultivées sous irrigation procurent actuellement près de 120 millions de journées de travail par an soit environ 1.650.000 emplois dont 250.000 permanents. A cela il faut ajouter les emplois créés dans les autres activités à l'amont et à l'aval de l'agriculture irriguée.

En matière d'infrastructure de circulation, les réseaux de routes et de pistes rurales créés ou renforcés lors du remembrement des exploitations et de la réalisation de l'infrastructure d'irrigation, qui s'élèvent actuellement à plus de 6.700 Km, désenclavent totalement les zones bénéficiaires.

D'une manière générale, le regroupement de l'habitat, (conséquence du remembrement des propriétés) a créé des conditions favorables à la mise en place de l'infrastructure de base (construction en dur, électrification, eau potable, école...).

### Les effets sur l'Economie Nationale :

Tant à l'amont qu'à l'aval de l'agriculture, se sont développées des activités Industrielles impulsées par le développement de l'irrigation.

A l'amont la réalisation de l'infrastructure d'irrigation et des travaux connexes, a eu des retombées importantes sur les secteurs des travaux publics, de l'industrie et des services.

Mais, c'est surtout à l'aval qu'un tissu agro-industriel important a été mis en place pour traiter une production agricole dont l'essentiel, sinon la totalité, provient de l'irrigué :

- 13 sucreries d'une capacité totale de l'ordre de 600.000 tonnes par jour (de betterave et canne)
- 9 raffineries de sucre capables de traiter plus de 700.000 tonnes par an de sucre brut produit localement ou importé ;
- 13 laiteries d'une capacité de l'ordre de 500 millions de litres par an ;
- des centaines de stations de conditionnement, d'entrepôts frigorifiques et de conserveries de fruits et légumes pour une capacité supérieure à un million de tonnes par an ;
- des unités d'égrenage du coton, des rizeries etc...

Le tableau n°2 ci-joint relate l'importance de la production des périmètres irrigués par rapport à la production agricole nationale.

## 2. LE PROGRAMME NATIONAL DE L'IRRIGATION : CADRE ET COMPOSANTES

Suite au Discours Royal du 17 Novembre 1992, il a été décidé d'accélérer le rythme d'aménagement hydro-agricole dans le cadre d'un Programme National d'Irrigation à l'horizon 2.000, intitulé PNI. Ce programme a pour objectifs :

- D'équiper d'ici l'an 2.000 la totalité des superficies dominées par les barrages existants ou en cours de construction ;

DECALAGE ENTRE LES SUPERFICIES DOMINEES ET  
LES SUPERFICIES EQUIPEES

BARRAGE	PERIMETRE	SUPERFICIE DOMINEE (ha)	SUPERFICIE IRRIGUEE (ha)	RESTE A EQUIPER (ha)
Od. El Makhazine	Loukkos	24.800	17.800	7.000
Idriss 1er	Gharb + Loukkos	76.800	57.900	18.900
Sebou	Gharb	10.000		10.000
Al Massira	Doukkala	125.000	61.000	64.000
Bin El Ouidane	Béni Moussa et Tessaout Aval	109.000	69.600	39.400
Hassan 1er et Lalla Takerkoust	Haouz Central et Tessaout Aval	53.550	23.500	30.050
			<b>TOTAL</b>	<b>169.350</b>

EVOLUTION DES SUPERFICIES EQUIPEES  
CUMULEES AU TITRE DU PNI

EN MILLIERS HA

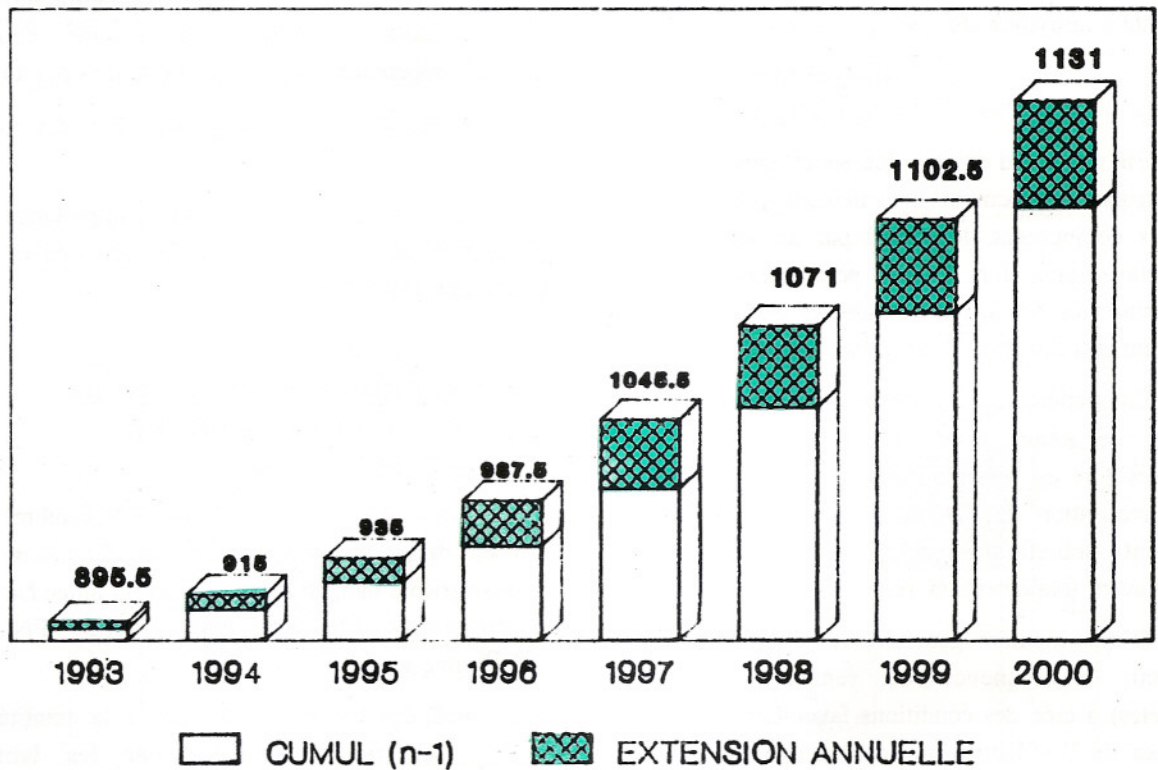


Fig- 8

- D'améliorer les performances des périmètres anciens de grande hydraulique et de petite et moyenne hydraulique, en réhabilitant ou en modernisant leurs équipements.

## 2.1 Le cadre et les raisons du PNI

### *Les barrages et les équipements d'irrigation existants :*

L'effort de développement des ressources en eau déployé jusqu'à présent a permis par le biais des barrages de régularisation, de disposer d'une superficie irrigable de 647.000 ha.

En grande hydraulique les périmètres irrigués à partir des barrages Mohamed V, El Kansera, Moulay Youssef, Lalla Takerkoust, Abdelmoumen, Youssef Ben Tachfine, Mansour Addahbi et Hassan Addakhil ont été entièrement équipés.

Par contre et toujours en grande hydraulique comme on l'a vu précédemment, un ensemble de près de 170.000 ha reste à aménager. Il concerne les périmètres du Gharb (22.000 ha) des Doukkala (64.000 ha) du Haouz (30.000 ha) de la Tassaut (40.000 ha) et du Loukkos (14.000 ha).

En PMH, dans le moyen Sebou 15.000 ha pourront être aménagés, alors que derrière le barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah, les Oulja de Rabat pourraient être concernées par 1.000 ha.

Soulignons enfin que le barrage El Ouahda en cours de réalisation sur l'Oued Ouergha, donnera la possibilité d'irriguer 65.000 ha supplémentaires à partir de 1997\*.

C'est donc un ensemble de 250.000 ha qu'il y a lieu de réaliser durant les 8 prochaines années en vue de résorber le décalage existant et potentiel d'ici l'an 2000, entre surfaces dominées et surfaces équipées.

### *Les raisons du décalage :*

On peut considérer que le décalage entre surfaces dominées par les barrages et les surfaces

aménagées pour l'irrigation est dû principalement à des raisons d'ordre technique, financier et économique.

### *Les raisons techniques :*

On peut distinguer deux sortes de décalage. Le premier et le plus connu est celui de l'avance des barrages sur les surfaces irriguées. Le deuxième est constitué par le phénomène inverse où on observe des périmètres irrigués dont les eaux ne sont pas encore régularisées.

Dans la 1ère catégorie, il convient de comprendre qu'un programme d'aménagement hydro-agricole comporte de nombreuses opérations très diversifiées mais interdépendantes, dont les délais sont souvent longs et parfois incompressibles (Remembrement).

Sur un autre plan, les canaux de distribution qui s'étendent sur de très vastes surfaces, de même que l'aménagement foncier des propriétés, ne peuvent être réalisés trop longtemps à l'avance avant la mise en service des barrages. (détérioration d'ouvrages n'assurant pas de service, gel de la mise en valeur, etc...).

Inversement, on peut observer qu'un aménagement hydro-agricole peut être retardé, voire différé en attendant la réalisation et la mise en service du barrage le dominant (cas des extensions de Béni Amir). De la même manière il a été observé que l'aménagement d'un périmètre (Doukkala) peut être retardé pour indécision sur l'affectation des ressources en eau.

On peut également observer qu'un périmètre existe mais est mal irrigué en attendant que ses eaux soient régularisées (Béni Amir) ou renforcées (Moulouya).

### *Les raisons financières :*

La raison première réside dans un manque de cohérence dans l'allocation des crédits budgétaires affectés d'une part aux barrages et d'autre part aux

(\*) ne sont pas inclus 35.000 ha supplémentaires, tributaires du barrage de dérivation Mechrea Lahjer qui sera réalisé au delà de l'an 2000).

travaux d'équipement des périmètres d'irrigation, et ce en défaveur de ces derniers.

En effet, les investissements publics accordés au secteur agricole d'une façon générale et aux équipements hydro-agricoles en particulier durant les dernières années ne correspondaient pas aux potentialités techniques et humaines engagées par les ORMVA pour mener à bien la bataille du million d'hectare, et ont été toujours en deçà de la demande.

Par ailleurs dans le cadre du prêt à l'ajustement structurel, (PAS), la BIRD a insisté sur un rééquilibrage des crédits en faveur des zones bours.

On note enfin que les Investisseurs ont marqué ces dernières années une désaffection à l'égard des projets nouveaux et ce en faveur des travaux de réhabilitation.

#### *Les raisons économiques :*

Il convient de noter tout d'abord que l'aménagement n'est pas une fin en soi et que l'objectif recherché par l'Etat réside dans la mise en valeur Intensive des terres équipées et donc l'atteinte d'objectifs de production et d'amélioration des revenus des agriculteurs. Si on construit un barrage, que l'on réalise une adduction d'eau et sa distribution à travers un périmètre sans se préoccuper des aspects de la mise en valeur, c'est sacrifier de lourds investissements sans s'assurer de leur productivité immédiate.

L'ensemble de ces contraintes doit être pris en considération de manière à ce que la politique de l'eau depuis sa mobilisation Jusqu'à son utilisation puisse être menée de façon cohérente et coordonnée dans son approche, sa conception et sa réalisation.

#### *La réhabilitation des équipements :*

L'accent mis jusqu'au début des années 80 sur l'équipement des périmètres nouveaux a été fait aux dépens des travaux de réhabilitation des périmètres anciens, qui ont atteint les délais techniques requis pour leur renouvellement.

En effet en 1995 les superficies équipées en grande hydraulique ayant plus de 20 ans d'âge et qui n'ont pas fait l'objet de réhabilitation s'élèveront à

plus de 259.000 ha. Ceux ayant plus de 30 ans d'âge à plus de 93.000 ha.

Pour maintenir les performances initiales des équipements et assurer dans les meilleures conditions techniques et économiques le service de l'eau dans ces périmètres, il faudrait assurer durant la décennie 1990-2000 un rythme de réhabilitation de 20.000 ha à 30.000 ha par an suivant la norme d'âge retenue.

Nous proposons qu'un ensemble de 204.500 ha soit réhabilité dont 66.500 ha en réhabilitation intégrée en grande hydraulique et 138.000 ha en réhabilitation ponctuelle dans les périmètres de PMH.

## *2.2 Les composantes physiques*

### *Zone d'action des ORMVA :*

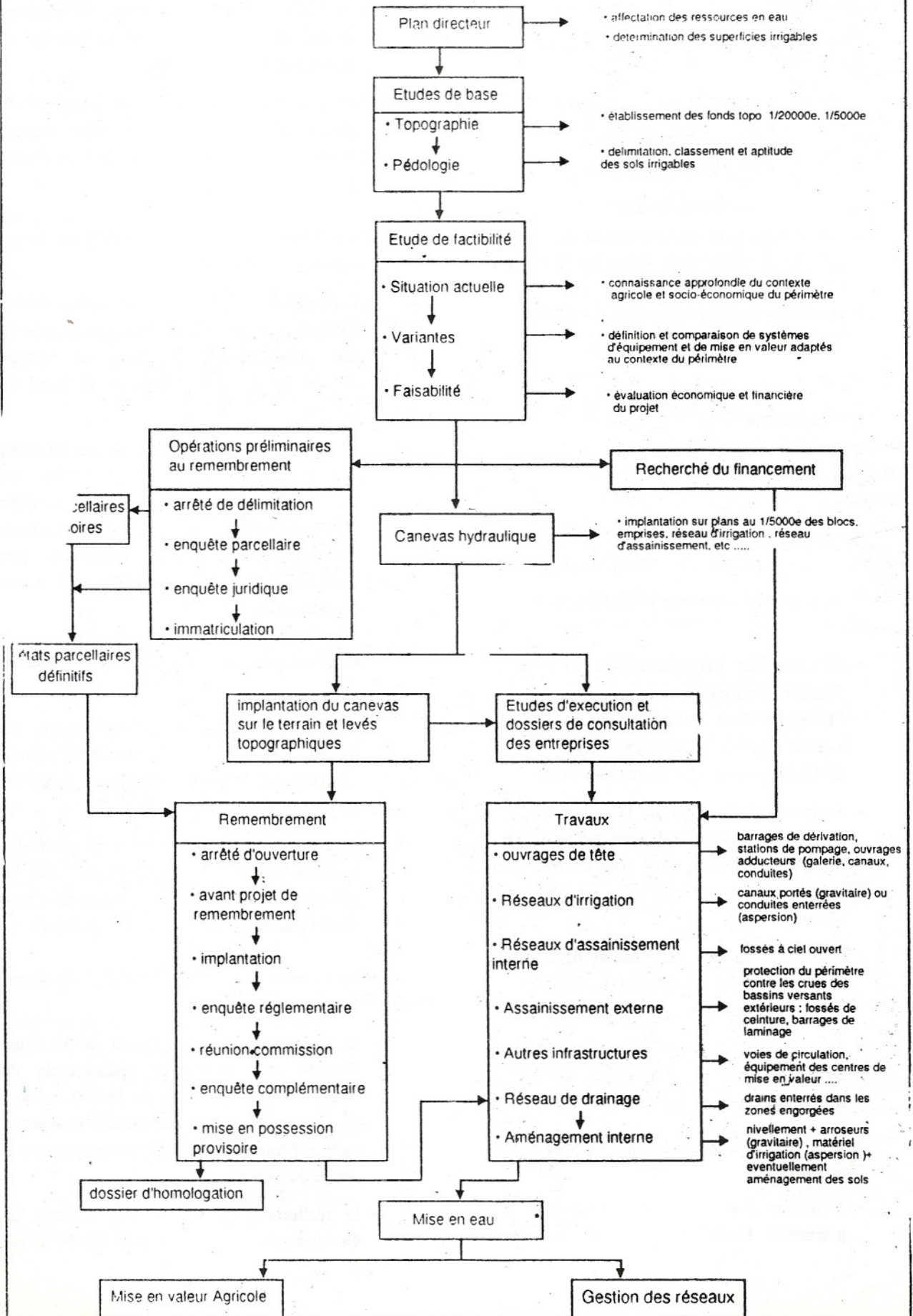
Le programme physique porte sur les réalisations suivantes :

- i- 235.000 ha d'équipements nouveaux :
  - 88.000 ha dans le Gharb: Mograne (10.000 ha), STI (12.000 ha) et TTI (66.000 ha) ;
  - 64.000 ha dans les Doukkala : Haut Service-1 (16.000 ha), Haut Service-2 (48.000 ha) ;
  - 69.000 ha dans le Haouz : Tessaout (39.000 ha), Haouz Central-2 (10.000 ha), Haouz Central-3 (20.000 ha) ;
  - 14.000 ha dans le Loukkos : Rive Droite (7.000 ha), Loukkos Sud (7.000 ha).
- ii- 66.500 ha de réhabilitation Intégrée .
  - 17.000 ha dans la Moulouya : Triffa ;
  - 7.500 ha dans le Gharb : Beht ;
  - 9.500 ha dans les Doukkala : Faregh ;
  - 7.500 ha dans le Tadla : Beni-Amir ;
  - 25.000 ha dans le Souss-Massa: Souss-Traditionnel (15.000 ha), Sebt El Guerdane (10.000 ha).

iii- Des aménagements ponctuels dans la grande irrigation par le biais du PAGI-2 ; et des travaux diffus dans les périmètres de PMH à travers l'ensemble des ORMVA.

iv- Des aménagements de protection et de dérivation des eaux dans les Offices du Tafilalet et Ouarzazate.

# ETAPES D'AMENAGEMENT D'UN PERIMETRE D'IRRIGATION



### *Zone d'action des DPA*

Le programme proposé porte sur les réalisations suivantes :

- i- 16.000 ha d'équipement nouveaux :
  - 15.000 ha dans le Moyen-Sebou ;
  - 1.000 ha dans l'Oulja Rabat-Salé.
- ii- 138.000 ha de réhabilitation :
  - 108.000 ha dans les périmètres d'irrigation pérenne et saisonnière à travers l'ensemble du territoire ;
  - 30.000 ha dans les périmètres d'irrigation par épandage des eaux de crue.

### *Description des projets :*

Le Programme National d'Irrigation à l'horizon 2000 comprend ainsi 17 projets dont 10 d'extension de l'irrigation et 7 de réhabilitation de périmètres existants.

Les principaux projets en grande hydraulique se répartissent entre les différentes ORMVA comme suit:

Dans la zone d'action de l'ORMVA du Gharb, Il est prévu :

- de compléter l'équipement de la Seconde Tranche d'irrigation sur une superficie de 11.700 ha dont l'alimentation en eau est assurée à partir du complexe Idriss 1er/Allal El Fassi qui vient d'être mis en service ;
- d'équiper la partie de la Troisième Tranche d'irrigation qui sera dominée par le barrage El Wahda et qui n'est pas tributaire du barrage Al Hajar, soit une superficie de 65.700 ha ;
- d'aménager le périmètre rizicole de Mograne sur une superficie de 10.000 ha dominée par le barrage Idriss 1er ;
- de compléter la réhabilitation du périmètre du Beht par la rénovation du réseau d'irrigation sur une superficie de 7.500 ha.

*Dans la zone d'action de l'ORMVA des Doukkala :*

- d'équiper d'ici l'an 2000 l'ensemble du périmètre Haut-Service qui totalise une

superficie de 64.000 ha dont l'alimentation en eau est assurée à partir du barrage Al Massira et du barrage Imfout ;

- de procéder à la rénovation complète du réseau d'irrigation du périmètre Faregh (9.400 ha) qui a été aménagé dans les années 50.

*Dans la zone d'action de l'ORMVA du Haouz* deux projets sont programmés :

- l'équipement du périmètre du Haouz central sur une superficie de 30.000 ha alimentée en eau principalement à partir du barrage Hassan 1er par l'intermédiaire du canal de rocade ;
- l'équipement du périmètre de la Tassaout Aval sur une superficie de 39.000 ha dont l'alimentation en eau est assurée principalement à partir du transfert des eaux du barrage Bin El Ouidane par l'intermédiaire du canal T2 en cours d'achèvement.

*Dans la zone d'action de l'ORMVA du Loukkos,* il est prévu :

- d'achever les travaux d'équipement du secteur "Plaine Rive Droite" d'une superficie de 7.200 ha alimentée à partir du barrage Oued El Makhazine ;
- de procéder à l'aménagement du périmètre Loukkos-Sud sur une superficie de 7.000 ha qui sera alimentée en eau à partir du Canal Nord Haut Service du périmètre du Gharb.

*Dans la zone d'action de l'ORMVA du Souss-Massa,* il est prévu :

- de procéder à l'aménagement de la 2ème Tranche des périmètres traditionnels du Souss sur une superficie de 14.300 ha dont les ressources en eau ont fortement diminué suite à l'intensification du pompage dans la nappe du Souss ;
- la réalimentation de la zone agricole de Guerdane sur une superficie de 10.000 ha qui

souffre également de la baisse de la nappe, à partir des eaux du barrage d'Aoulouz.

Dans la zone d'action de l'ORMVA de la Moulouya, il est prévu de procéder à la réhabilitation des réseaux du périmètre des Triffa sur une superficie de 17.200 ha.

Dans la zone d'action de l'ORMVA du Tadla, il est prévu d'achever la rénovation des réseaux du périmètre des Béni-Amir sur une superficie de 7.400 ha.

En matière de PMH, le Programme National d'Irrigation à l'horizon 2000 a retenu les projets suivants :

- l'aménagement des Oulja du Moyen Sebou sur une superficie de 15.000 ha dominée par le barrage Idriss 1er ;
- l'aménagement de l'Oulja de Rabat-Salé sur une superficie de 1.000 ha dominée par le barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah ;
- la réhabilitation des périmètres traditionnels sur une superficie de 138.000 ha qui représente la moitié environ du potentiel PMH non encore réhabilité.

A l'horizon 2000, le Programme National d'Irrigation permettra l'irrigation de plus de 1,1 million d'hectares. L'évolution des superficies irriguées est illustrée dans le graphique n° 18. On notera en particulier que l'objectif du million d'hectares irrigués fixé par SA MAJESTE à la Nation sera atteint dans quatre, soit en 1997.

### 2.3 Composantes institutionnelles

Le PNI par le biais du PAGI-2 poursuivra et achèvera les mesures entreprises par le PAGI-1 dans le cadre des programmes d'ajustement structurel et visant les objectifs suivants :

- rechercher l'efficacité et améliorer l'efficacité de gestion des ORMVA pour conforter leur autonomie financière et réduire les transferts budgétaires de l'Etat ;

- accroître l'efficacité d'intervention en matière de réalisation des aménagements hydro-agricoles ;
- améliorer l'efficacité globale de l'irrigation dans le cadre d'un programme d'économie de l'eau afin d'assurer une utilisation rationnelle des ressources en eau et en sols et de préserver l'environnement ;
- renforcer la participation financière des agriculteurs afin qu'ils puissent assurer la couverture des charges qui leur sont imputables en matière d'exploitation et d'amortissement des équipements ;
- d'améliorer la production et la productivité par une rationalisation et un renforcement des services agricoles ;
- d'encourager le développement des associations professionnelles et leur participation au développement ;
- d'impliquer d'avantage les institutions de recherche, notamment dans le domaine de la recherche adaptative ;
- de mettre en oeuvre et d'appliquer une gestion dynamique des ressources humaines, et ce dans le cadre des structures d'intervention efficaces et efficaces.

## 3- LES PRINCIPAUX RESULTATS ET EFFETS DU PNI

Les principaux effets attendus du PNI 2000 sur l'économie nationale portent sur l'augmentation de la valeur ajoutée, l'amélioration de la balance commerciale et sur la création d'emplois.

### Valeur ajoutée :

En adoptant des hypothèses réalistes relatives à la production agricole attendue, émanant des résultats obtenus dans les périmètres irrigués durant les cinq dernières années, la valeur ajoutée agricole générée annuellement par le PNI est évaluée à 7,3 milliards de DH dont 6,1 milliards de DH proviendront des

extensions de l'irrigation et 1,2 milliard est attribuable à la réhabilitation des périmètres existants.

### *Balance commerciale :*

L'augmentation substantielle de la part de l'agriculture irriguée dans la valeur ajoutée agricole contribuera à l'amélioration du taux d'auto-provisionnement du pays en produits de base. La substitution à l'importation qui en résulte est estimée à plus d'un milliard de dirhams par an soit une réduction des Importations alimentaires à hauteur de 23%.

Le PNI va permettre également l'extension des superficies consacrées aux cultures d'exportation, ce qui va générer une recette supplémentaire en devises équivalente à deux milliards de dirhams par an soit un accroissement de près de 20%.

### *L'Emploi :*

L'impact du PNI sur l'emploi se situe à plusieurs niveaux :

- i- au niveau de la réalisation de l'aménagement, par la création directe d'emplois dans les chantiers de travaux: en moyenne le quart de l'investissement est consacré à la main d'oeuvre soit 5,2 milliards de DH.
- ii- au niveau de la réhabilitation, par la création directe d'emplois qui absorbe 50 à 60% de l'investissement soit 3,1 milliards de DH.
- iii- au niveau de la production, du fait de l'intensification de la mise en valeur agricole.

iv- au niveau des activités para-agricoles à l'amont et à l'aval du secteur irrigué.

Sur cette base et au total, les investissements envisagés créeraient annuellement environ 140.000 emplois permanents et 60.000 emplois par an, Pendant 8 ans.

Les revenus découlant de ces emplois satisferaient les besoins d'une population rurale évaluée à un million de personnes et de ce fait limiteraient l'exode rural et le coût social qu'il implique.

### *Autres effets*

Ce programme aura également d'autres effets induits sur le développement national et la dynamisation du secteur privé. Ainsi, par exemple :

- i- le volume supplémentaire de production attendu nécessitera un renforcement et de conditionnement de l'infrastructure agro-industrielle de transformation ;
- ii- la maintenance des infrastructures hydro-agricoles et agro-industrielles nécessitera la création de petites et moyennes entreprises spécialisées en milieu rural, tels que des ateliers de mécanique, d'électromécanique, d'électricité, de terrassement et de curage, etc...) ;
- iii- l'amélioration de l'aménagement du territoire par la création d'infrastructures annexes à celles de l'irrigation et qui sont compris dans l'aménagement (routes, pistes, électrification etc...) ;
- iv- le renforcement des capacités de l'Ingénierie et de l'Entreprise nationales.

# GESTION DES GRANDS PERIMETRES IRRIGUES EN PERIODE DE SECHERESSE

## CAS DE L'EPISODE 1991-93

Benchokroun T.<sup>(1)</sup> - El Kannassi M.<sup>(1)</sup>

### INTRODUCTION

Notre pays vient de connaître pendant deux années successives (1991-92 et 1992-93) une sécheresse relativement aiguë qui a eu des incidences socio-économiques sur plusieurs secteurs de l'économie nationale: agriculture, énergie, industrie, alimentation en eau, etc...

Le programme d'action à long terme visant l'économie de l'eau et les mesures conjoncturelles, prises aux échelons national et régional ont permis d'atténuer les effets de cette sécheresse.

Pour le secteur agricole, celle-ci a généré moins de répercussions négatives dans les périmètres irrigués que dans les zones d'agriculture pluviale et ce, grâce notamment aux équipements hydrauliques dont disposent les premiers, d'une part et aux mesures qui y ont été prises pour optimiser la gestion de leurs ressources hydriques, d'autre part.

Le présent article concerne les périmètres dits de "grande hydraulique" (fig.1) pour traiter principalement le déficit en matière de ressources en eau que ces périmètres ont connu pendant les deux campagnes passées, les mesures qui ont été appliquées pour y faire face et les résultats obtenus dans le domaine des productions agricoles.

### 1. AMPLEUR DU PHENOMENE

Pour situer le niveau de sécheresse des campagnes agricoles 1991-92 et 1992-93, trois indicateurs ont été pris en considération : le déficit

pluviométrique, le déficit d'apport d'eau aux barrages à usage agricole et le déficit de fourniture d'eau agricole à partir des barrages concernés.

#### 1.1 Déficit pluviométriques (fig.2)

Les pluviométries enregistrées au cours des deux campagnes agricoles, au niveau des postes, représentatifs des grands périmètres irrigués, sont partout inférieures à la normale, à l'exception de légers excédents observés à Nador (25% en 1991-92 et 19% en 1992-93) et Ouarzazat (69% en 1991-92).

Au cours de la deuxième année, les déficits pluviométriques ont été plus généralisés et plus importants, variant entre 41 et 58% au lieu de 20 et 63% pour la première année.

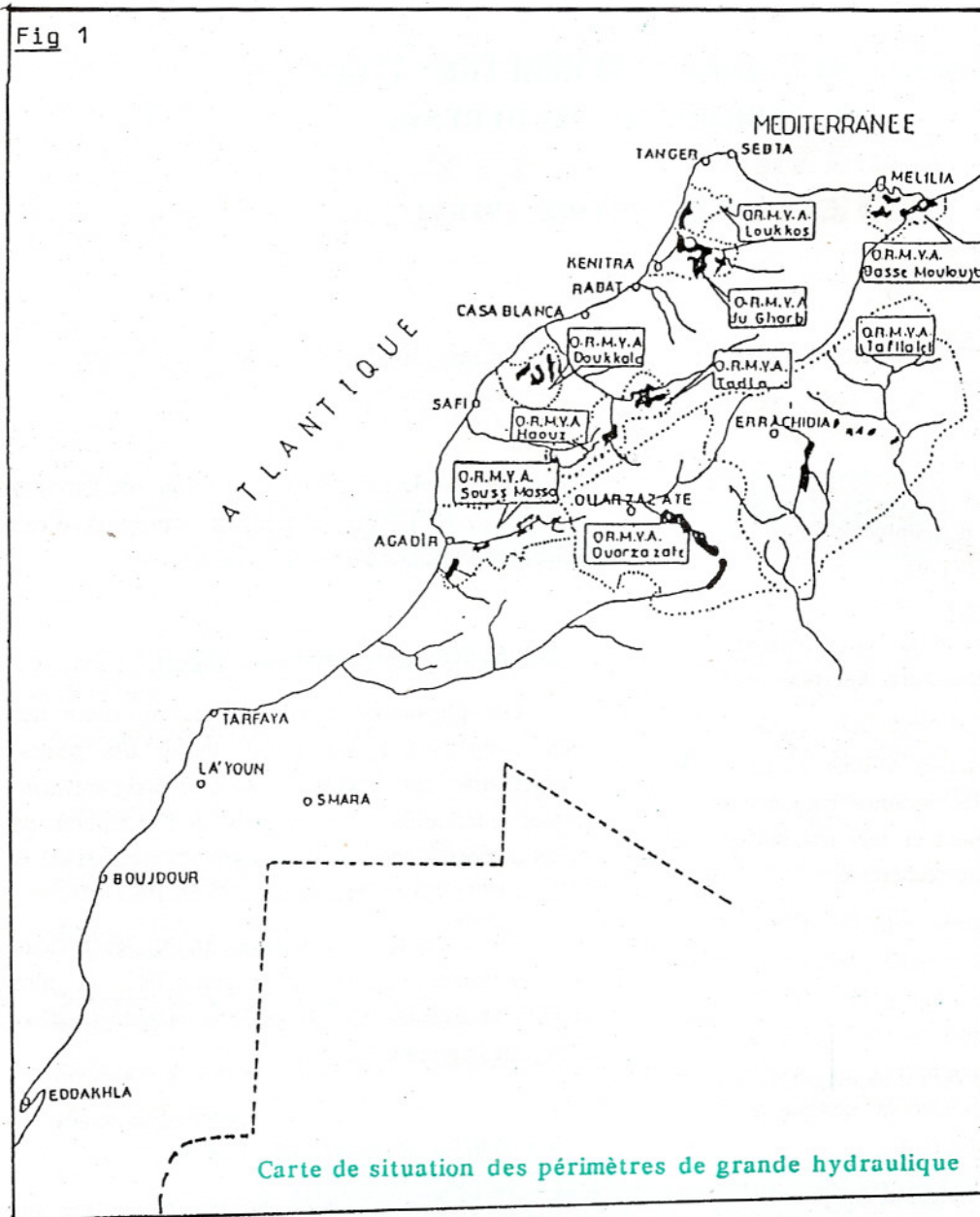
#### 1.2 Déficit d'apports (fig.3 et 4)

La sécheresse pluviométrique enregistrée sur l'ensemble des bassins versants, s'est traduite par des apports d'eau aux barrages généralement très en dessous de la normale. Pour l'année 1991-92, le déficit d'apport a atteint globalement 50% par rapport à la normale; il dépasse cette valeur pour sept ouvrages sur treize. Des excédents ont été, toutefois, observés au niveau de Takerkoust (77%) et Mansour Addahbi(20%).

Concernant l'année 1992-93, les apports ont été fortement déficitaires puisque le déficit global a atteint 74%. Ce déficit, qui a touché l'ensemble des barrages, est compris entre 43 et 95%. Cette année s'avère pour

(1) Ingénieur du Génie Rural ; Direction du Développement et de la Gestion de l'Irrigation ; Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole.

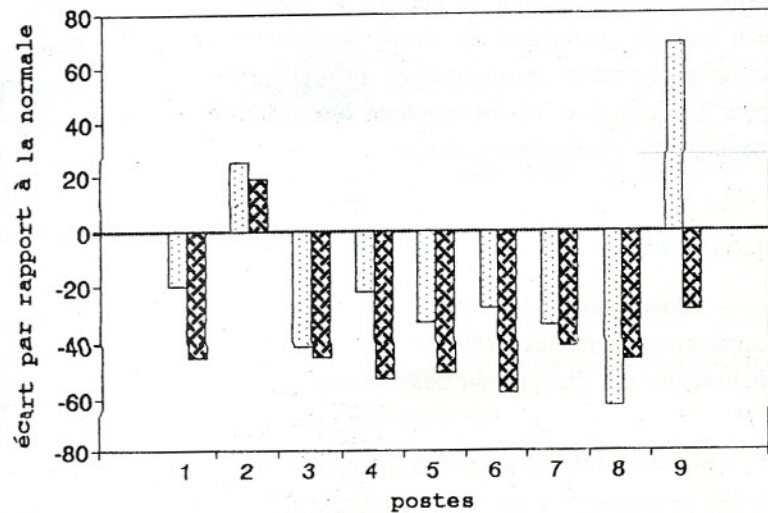
Fig 1



Carte de situation des périmètres de grande hydraulique

Déficits pluviométriques

figure 2



1991/92 1992/93

- 1 Larache
- 2 Nador
- 3 Kenitra

- 4 El jadida
- 5 Beni mellal
- 6 Marrakech

- 7 Errachidia
- 8 Agadir
- 9 Ouarzazate

la plupart des barrages plus sèche sur le plan hydrologique que l'épisode de sécheresse 1980-85 étant donné que ses apports sont globalement déficitaires de 32% par rapport à la moyenne annuelle des apports de l'épisode en question.

### 1.3 Déficients de fourniture d'eau (fig. 5)

Le déficit de fourniture d'eau d'irrigation à partir des barrages à usage agricole, pour l'ensemble des périmètres concernés, a atteint 11% en 1991-92 et 31% en 1992-93. Il a dépassé 40% au cours de la seconde année au niveau des périmètres du Beht, de la Tassaout aval, du Tafilalet et de la Moulouya.

Des déficits de fourniture d'eau plus importants ont été cependant enregistrés dans certains périmètres au cours de l'épisode de sécheresse 1980-85, il s'agit des périmètres de la Moulouya, du Gharb, du Beht, des Béni Moussa, de la Tassaout Aval, du Massa et du Tafilalet où ce déficit en eau a dépassé 60%.

## 2. STRATEGIE MISE EN OEUVRE POUR LA GESTION DES GRANDS PERIMETRES IRRIGUES PENDANT L'EPISODE DE SECHERESSE 1991-93

Les indicateurs évalués ci-dessus montrent que la sécheresse des deux dernières années a engendré une pénurie d'eau assez sévère pour les périmètres de grande hydraulique, en particulier pendant la campagne 1992-93.

Comme il sera indiqué plus loin, les principales productions de ces périmètres n'ont pas été très affectées grâce, à la mise en oeuvre d'une stratégie qui a été progressivement élaborée depuis les années quatre vingts, pendant lesquelles le Maroc a connu un épisode de sécheresse de quatre années consécutives.

Cette stratégie est fondée sur deux axes :

- le premier concerne un ensemble de mesures préventives qui ne sont pas forcément liées à la conjoncture de sécheresse, mais dictées par le fait que les ressources sont structurellement limitées au Maroc.
- le second axe se rapporte aux mesures à caractère conjoncturel, liées à la sécheresse

enregistrée ; leur importance qualitative et quantitative est déterminée déficit hydrique constaté.

### 2.1 Actions visant l'économie de l'eau

La plupart de ces mesures visent notamment (i) la rationalisation de l'utilisation de l'eau au niveau de la parcelle (économie/valorisation/protection), (ii) l'amélioration des rendements de l'adduction et de la distribution de l'eau et enfin (iii) le développement des actions de formation/vulgarisation.

2.1.1. Dans le domaine des expérimentations d'hydraulique agricole, différents essais sont menés dans les stations expérimentales représentant les différentes régions agro-pédoclimatiques du pays ; ils concernent en particulier :

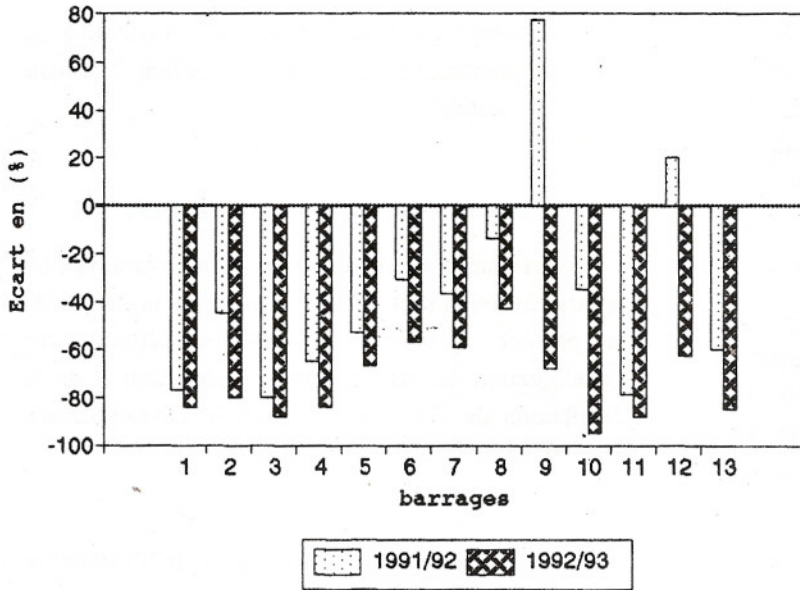
- la détermination des besoins en eau des cultures permettant d'arrêter, pour les principales spéculations pratiquées dans les périmètres modernes (betterave, canne à sucre, luzerne, céréales, etc...) les niveaux optima d'alimentation hydrique en fonction de leurs stades végétatifs. L'objectif recherché à travers ces essais est de permettre aux gestionnaires et aux usagers de bien programmer et piloter les arrosages afin d'assurer une utilisation optimale de l'eau.

L'amélioration des méthodes d'irrigation à la parcelle par l'utilisation des siphons ou des rampes à vannettes, combinés avec les raies ou les calants, procurant une meilleure efficacité en irrigation de surface, l'objectif étant d'inciter les agriculteurs, par l'effet de démonstration, à abandonner les méthodes d'irrigation traditionnelles ("robta" ou "madia"), se traduisant par une efficacité agronomique très faible dans les périmètres modernes où ces techniques sont encore les plus répandues.

D'autres essais sont, en outre, entrepris au sujet de l'étanchement des arroseurs en terre qui sont, ipso facto à l'origine de pertes d'eau non négligeables.

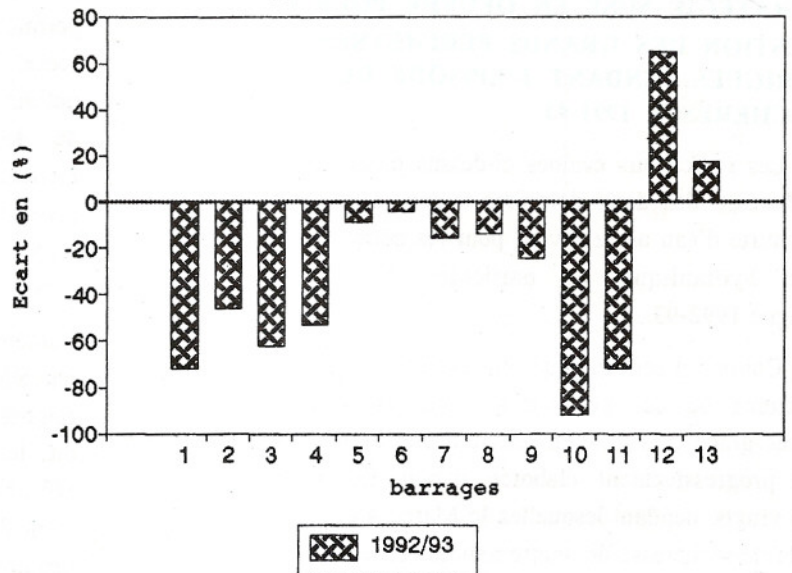
Déficit d'apport par rapport à l'apport moyen annuel

figure 3



Déficit d'apport (1992-93) par rapport à l'apport moyen annuel (1980-85)

figure 4



1 Od Al Makhazine

4 El Kansra

7 Hassan 1er

10 Abdel Moumen

2 Mohamed v

5 Bin El ouidane

8 Al Massira

11 Youssef B. Tachfine

3 Idriss 1er

6 My Youssef

9 Lalla Takerkoust

12 Mansour Addahbi

13 Hassan Addakhil

Les méthodes d'irrigation testées dans les stations expérimentales, qui se sont avérées satisfaisantes, ont été introduites à titre de démonstration. chez certains agriculteurs, qui, au terme de la première année d'utilisation, se sont montrés très satisfaits des performances de ces méthodes d'irrigation.

En effet, la démonstration réalisée chez un agriculteur dans le périmètre du Tadla, sur la culture de la betterave a donné les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous. Ils montrent, qu'en matière d'efficacité agronomique. la rampe à vannettes et le siphon tubulaire, associés aux raies dans le cas présent, sont plus intéressants que la méthode d'irrigation traditionnelle (robta).

Technique	Rendement (Kg/ha)	Volume d'eau consommé (m <sup>3</sup> /ha)	Efficacité agronomique (kg/m <sup>3</sup> )
Rampe à vannette	66730	5650	11.8
Siphons tubulaires	59700	6710	8.90
Robta	48530	6923	7.01

\* L'évaluation des performances des différents systèmes d'irrigation localisée commercialisés au Maroc, en vue de permettre aux agriculteurs de bien choisir le matériel qui leur convient et de l'exploiter de façon à réaliser des économies d'eau substantielles.

\* Le contrôle du fonctionnement des bornes d'irrigation et du matériel mobile d'irrigation dans les périmètres irrigués par aspersion en vue de vérifier les performances de ces matériels et de rechercher leur amélioration et les conditions optimales de leur utilisation.

2.1.2 Dans le domaine de la formation / vulgarisation différents stages liés à l'économie de l'eau et son utilisation rationnelle ont été organisés au profit des agents des Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole (ORMVA) et des Directions Provinciales d'Agriculture (DPA) impliqués dans la gestion des réseaux d'irrigation et des ressources en eau.

2.1.3 Dans le domaine de l'amélioration des rendements de l'adduction et de la distribution de

l'eau, les ORMVA entreprennent depuis 1986, dans le cadre du programme d'amélioration de la grande irrigation (PAGI), un vaste programme de réhabilitation et d'entretien de l'infrastructure d'irrigation. Ce programme qui sera poursuivi dans la deuxième phase du PAGI vise la réduction des pertes d'eau dans les canaux ainsi que la rationalisation de l'exploitation des réseaux d'adduction et de distribution.

2.1.4 Dans le domaine institutionnel, l'arsenal juridique existant a été renforcé par le Dahir n° 1-87-12 du 3 jourmada II 1411 (21 décembre 1990) et le Décret n°2-84-106 du 10 kaada 1412 (13 mai 1992) relatifs aux associations des usagers des eaux agricoles. Ces textes déterminent un nouveau cadre institutionnel, qui, dans ses diverses dispositions donne beaucoup plus de participation et d'initiative aux agriculteurs dans la gestion courante des affaires de leur périmètre d'irrigation. En outre, il instaure un esprit de partenariat entre l'Administration et les agriculteurs dans la gestion des équipements hydroagricoles.

## 2.2 Mesures liées à la sécheresse

La pénurie d'eau, vécue au cours des deux dernières campagnes a entraîné la mise en oeuvre d'une série de mesures à caractère conjoncturel, liées au degré du déficit hydrique.

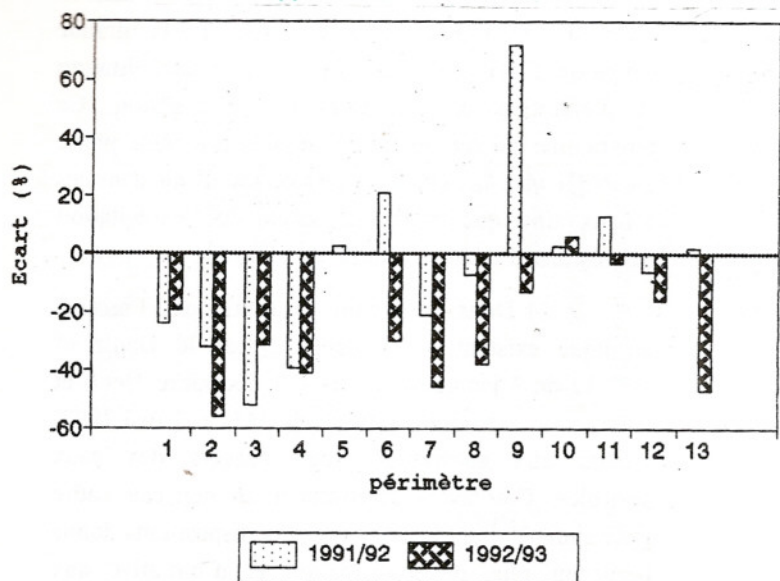
Celles-ci ont évolué en fonction des conditions climatiques, et ont intéressé la gestion des retenues d'eau ainsi que celle des périmètres irrigués.

### 2.2.1 Au niveau des retenues

Les turbinages au niveau des barrages devraient être assujettis aux demandes agricoles et d'AEPI. Cette mesure a été renforcée particulièrement pendant la campagne 1992-93 au cours de laquelle le volume turbiné exclusivement pour la production d'énergie a été de 47,6 Mm<sup>3</sup> représentant seulement 2% de la fourniture agricole à partir des barrages équipés d'usines hydroélectriques. Par contre, ce taux a atteint 56% et 33% respectivement en 1990-91 et 1991-92, entraînant un certain manque à gagner pour l'agriculture, particulièrement au niveau de périmètres

déficits de fourniture d'eau par rapport aux besoins normaux

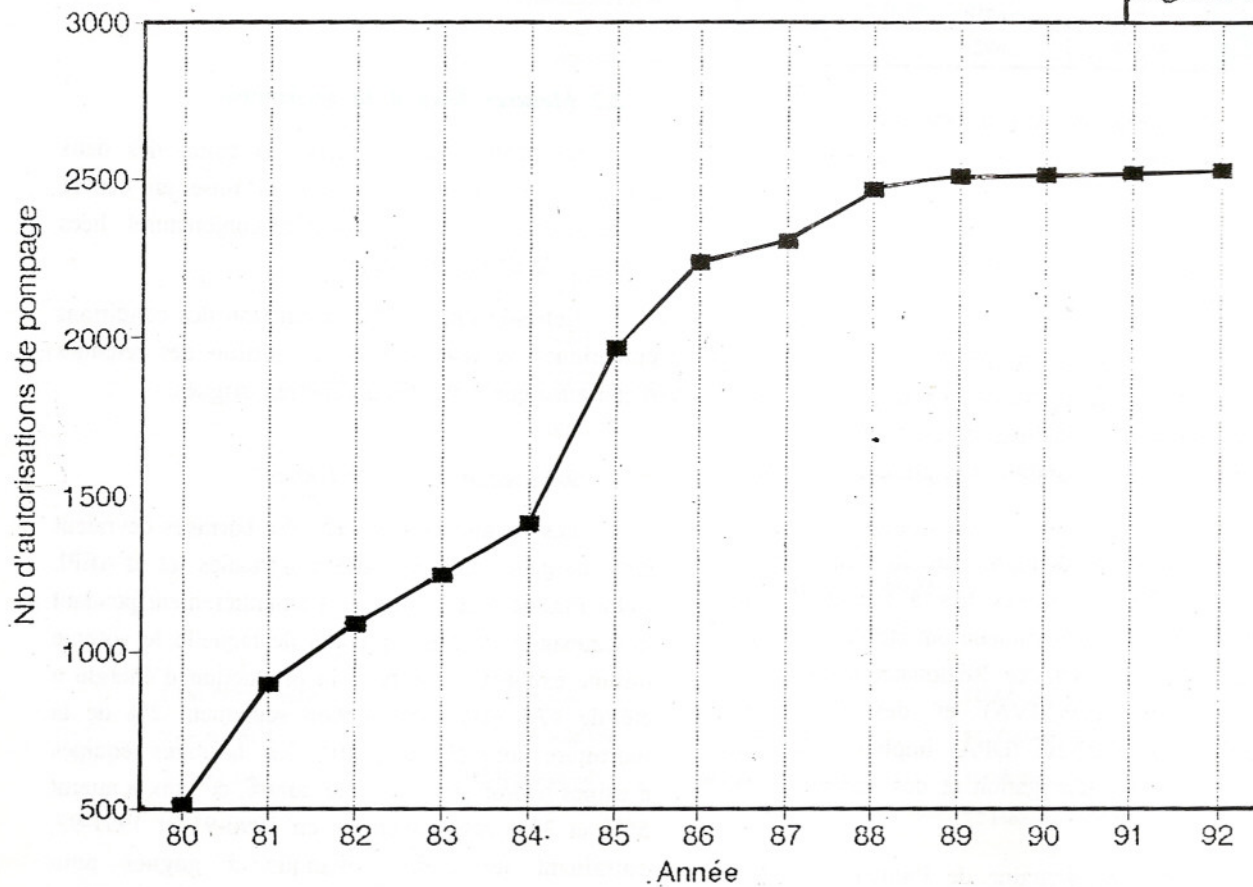
figure 5



- 1 Loukkos
- 2 Moulouya
- 3 Gharb (PTI+STI)
- 4 Beht
- 5 Doukkala
- 6 Beni Moussa
- 7 Tassaout Aval
- 8 Tassaout Amont
- 9 NFis
- 10 Issen
- 11 Massa + Tassila
- 12 Drâa Moyen
- 13 Vallée Ziz+ Tafilalet

Evolution des autorisations de pompage accordées par l'ORMVA de la Moulouya

figure 6



ayant connu des déficits hydriques importants au cours de la campagne agricole 1992-93 comme celui de la Moulouya. Du reste, on peut noter avec satisfaction le renforcement de la concertation entre les différents intervenants dans la gestion des retenues des barrages aux échelons central et régional.

### 2.2.2 Au niveau des périmètres irrigués

Dans les périmètres irrigués, l'importance et la nature des mesures prises pour atténuer les effets de la sécheresse ont varié d'un périmètre à un autre au cours de la campagne agricole 1991-92 qui était relativement moins sèche que la campagne 1992-93. Cependant, au cours de la deuxième campagne, ces mesures ont été renforcées et généralisées à l'ensemble des périmètres en raison de la faiblesse des réserves de soudure et des apports d'eau.

Ainsi, les principales mesures qui ont été appliquées par les ORMVA, particulièrement pendant la campagne 1992/93 sont :

- Les surfaces consacrées habituellement aux cultures annuelles, notamment les céréales, ont été réduites. Cette réduction a atteint 50% au niveau de certains périmètres. Au mois de février, ces restrictions ont été revues et étendues aux cultures de printemps et d'été. En général, ces cultures ont été pratiquées en bour ou irriguées à partir de la nappe par les moyens propres des agriculteurs.
- En matière d'allocation d'eau à partir des barrages, la priorité a été accordée aux vergers agrumicoles et aux luzernières, car il s'agit d'un patrimoine long à reconstituer et joue un rôle important dans l'économie nationale (apport de devises et production laitière); des doses de sauvegarde ont été, toutefois, fournies aux autres plantations.
- La superficie réservée aux cultures sucrières a été maintenue pratiquement au même niveau que les campagnes normales, en raison des effets que ces cultures ont sur l'activité agro-industrielle d'une part, et de l'importance de la main d'oeuvre qu'elles emploient aussi bien au niveau des champs

qu'à celui des usines, d'autre part. Toutefois, les irrigations n'ont été apportées à ces cultures que pendant les stades critiques de leur développement. Les arrosages complémentaires, ont été effectués, le cas échéant, à partir de la nappe.

- L'arrosage des maraîchages a été interdit à partir des eaux provenant des barrages.
- L'incitation des irriguants à exploiter de façon accrue les eaux souterraines a été renforcée. Cette opération a été fortement soutenue et encouragée par le Fonds de Développement Agricole (FDA) en gérant avec souplesse les subventions prévues pour le creusement des puits ainsi que leurs équipements hydromécaniques. A rappeler que, dans ce domaine, les subventions accordées par le FDA peuvent atteindre 30% du montant des investissements réalisés.

Le rythme de creusement des puits dans les zones des ORMVA a augmenté de façon très sensible après l'épisode de sécheresse 1980-85. A titre indicatif, le nombre cumulatif des autorisations de pompage accordées au niveau du périmètre de la Moulouya est passé de 500 en 1980 à 2500 en 1992 (fig.6). On peut donc considérer que les agriculteurs, au terme des deux épisodes de sécheresse 1981-85 et 1991-93, sont devenus plus sensibles à la nécessité de recourir à l'exploitation de la nappe pour apporter aux cultures l'appoint d'eau nécessaire, particulièrement pendant les périodes de pénurie d'eau.

Enfin, des mesures spécifiques ont été prises par certains offices telles que la construction et/ou le renforcement de digues fusibles sur les oueds Loukkos et Sebou en vue, d'une part, d'exploiter au mieux les eaux provenant des bassins intermédiaires et, d'autre part, améliorer les conditions d'exploitation des stations de pompage collectives installées sur ces oueds. En outre, une station de pompage d'un débit de 3250 l/s a été construite par l'ORMVA de la Moulouya sur l'oued Moulouya pour utiliser les résurgences d'eau à l'aval du barrage Machraa Hamadi et augmenter ainsi les ressources en eau du périmètre.

Productions agricoles dans les zones ORMVA

Spécifications	1990-91 (1)	1991-92 (2)	1992-93 (3)	(2/1)	(3/1)
<b>Céréales principales</b>					
- superficie(x1000ha)	1228	1056	952	0.86	0.78
- production (x1000qx)	22239	9585	8648	0.43	0.39
- rendement(ql/ha) *	18.1	9.1	9.1	0.50	0.50
<b>Betterave</b>					
- superficie(x1000ha)	65.8	49.9	58.8	0.76	0.89
- production(x1000qx)	28915	26545	30626	0.92	1.06
-rendement(ql/ha)	439	532	521	1.21	1.19
<b>Canne à sucre</b>					
- superficie(x1000ha)	14.8	15.1	15.3	1.02	1.03
- production(x1000qx)	10277	9938	9459	0.97	0.92
-rendement(ql/ha)	694.4	658.1	618.9	0.95	0.89
<b>Cultures maraîchères</b>					
- superficie(x1000ha)	79.2	83.1	N. D	1.05	-----
- production(x1000qx)	16889	18142	N. D	1.07	-----
- rendement(ql/ha) *	213.2	218.3	N. D	1.02	-----
<b>Agrumes</b>	Moy. 1987/88-1991/92				
- superficie(x1000ha)	63.6	65	65	1.02	1.02
- productin(x1000qx)	11183	9812	11492	0.88	1.03
- rendement(ql/ha)	176	151	177	0.86	1.01

\* Ces statistiques concernent l'ensemble des zones d'action des ORMVA qui comprennent en plus des périmètres de grande hydraulique, les périmètres de PMH et les zones du bour favorable

Sources

- Direction de la Planification et des Affaires Economiques (DPAE)
- Direction de la Production Végétale (DPV)  
Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire.

### 3. RESULTATS EN MATIERE DE PRODUCTION AGRICOLE

En matière de production agricole, la campagne 1990-91 qui a été favorable, est prise comme année de référence pour situer l'épisode de sécheresse 1991-93. En effet, sur les plans pluviométrique et hydrologique, celle-ci correspond dans les grandes régions agricoles du pays à une année normale ou légèrement excédentaire, et de ce fait les périmètres irrigués n'ont pas connu de déficit de fourniture d'eau au cours de cette année. Cette comparaison est complétée par des données relatives à l'épisode de sécheresse 1980-85.

Le tableau (page 36) montre que pour l'épisode 1991-93, les productions concernant les cultures sucrières, et les agrumes furent pratiquement équivalentes à celles de la campagne 1990-91. Les écarts de production sont inférieurs à 12%. Pour la betterave, un dépassement de l'ordre de 20% a même été enregistré au niveau des rendements.

Par rapport à l'épisode 1980-85, les campagnes agricoles 1991-92 et 1992-93, ont enregistré en matière de rendements, une augmentation au niveau de la betterave (+ 18%) et des agrumes (+ 13%), et toutefois une légère diminution pour la canne à sucre (- 8%).

Ce sont les céréales qui ont dû souffrir de la pénurie d'eau ; (figure 7) la production au niveau de l'ensemble des zones d'action des ORMVA a enregistré une chute de l'ordre de 60%. Celle-ci est sûrement moindre dans les périmètres de grande hydraulique où les déficits hydriques étaient beaucoup moins prononcés que dans le reste des périmètres délimités (bour favorable et zones de PMH).

Ce constat, montre que pour les productions agricoles des grands périmètres irrigués, les effets de la sécheresse ont été tempérés, du moins pour les principales spéculations, eu égard aux déficits de

fourniture d'eau enregistrés. Ce résultat a pu être obtenu grâce à la prise et l'application sur le terrain, d'un certain nombre de mesures cumulatives qui ont permis de limiter, de façon significative, les effets de la pénurie d'eau sur les productions agricoles de ces périmètres.

### CONCLUSION

L'épisode de sécheresse 1991-93 a été caractérisé, au niveau des grands périmètres irrigués, par des déficits pluviométriques et de fourniture d'eau à partir des barrages relativement importants, en particulier pendant la campagne 1992-93. Certes, ces déficits ont eu des incidences négatives sur la production agricole globale de ces périmètres; cependant, on peut noter que les productions des principales cultures, notamment la canne à sucre, la betterave à sucre et les agrumes ont été maintenues à leur niveau normal et ce, grâce à la mise en oeuvre d'une stratégie de lutte contre les effets de la sécheresse.

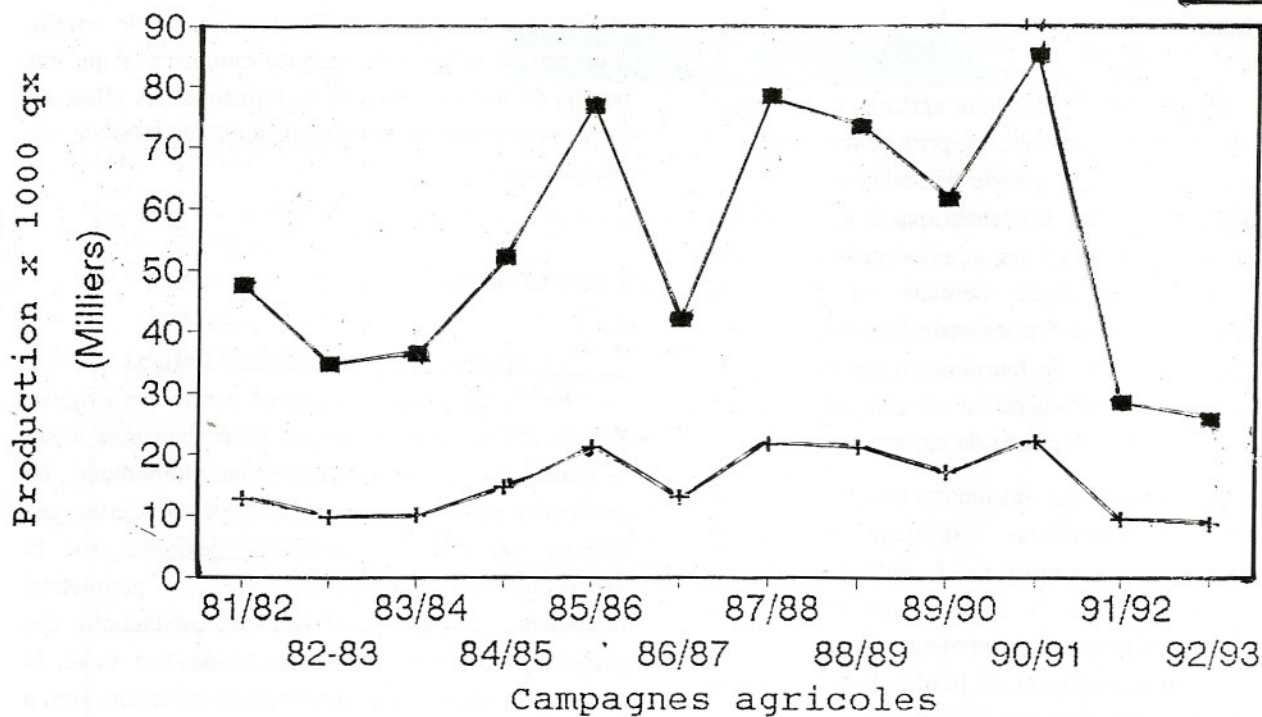
L'efficacité et l'efficience de cette stratégie étaient dues, pour une part importante, à :

- l'implication, l'adhésion et la participation responsable des usagers de l'eau d'irrigation ;
- l'application d'une approche concertée entre les différents intervenants dans la gestion des retenues des barrages ;
- et enfin, l'exploitation conjuguée des eaux superficielles et souterraines disponibles.

Toutefois, il y a lieu de signaler que des progrès peuvent encore être obtenus notamment en matière d'économie d'eau d'irrigation, ce qui permettra de mieux se préparer pour faire face aux sécheresses futures éventuelles.

Evolution de la production des céréales principales dans les zones ORMVA

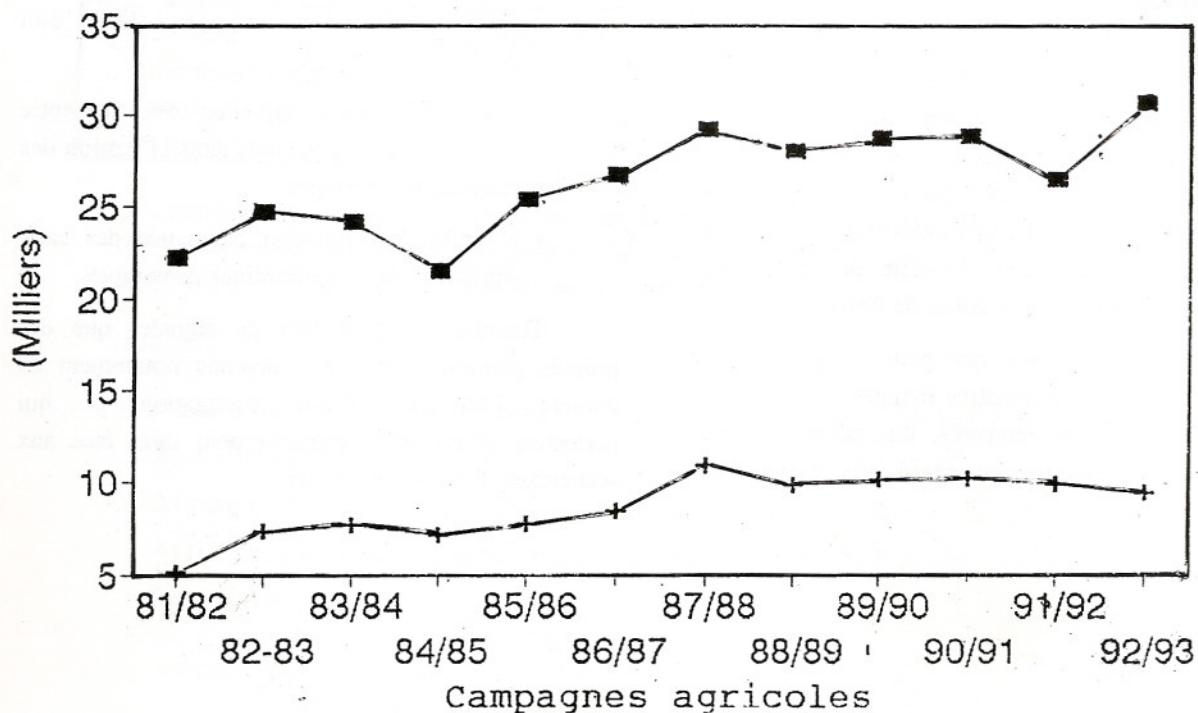
figure 7



■ Production nationale + Production ORMVA

Evolution de la production des cultures sucrières

figure 8



■ Betterave à sucre + Canne à sucre

# REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE : IMPACT SUR LE SOL ET LA NAPPE DANS LA REGION DE SIDI BENNOUR

E.K. LHADI ; N. DAMNATI-ADIB ET H. GUESSIR<sup>(1)</sup>  
A. HANDOUFE ET T. BENCHOKROUN<sup>(2)</sup>

## I. INTRODUCTION

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui devient de plus en plus courante au Maroc et on compte 6.000 ha environ irrigués avec des eaux usées brutes ou épurées. Ces eaux qui constituent une ressource importante engendrent cependant, des nuisances dans les milieux récepteurs et des risques sanitaires pour les populations qui sont en contact permanent ou consommant les produits agricoles irrigués avec ces eaux.

A Sidi Bennour, la réutilisation des eaux usées brutes en agriculture date de 1970, les agriculteurs irriguent plusieurs types de cultures sans le moindre contrôle. Ainsi, nous nous sommes proposés d'évaluer l'effet de cette réutilisation sur le système sol/plante/nappe, à l'aide d'une expérimentation d'irrigation avec des eaux usées brutes et l'installation d'un dispositif lysimétrique.

Cette étude a été réalisée pendant deux années sur deux cultures différentes : la betterave sucrière et le maïs. Nous avons réalisé également une enquête socio-économique auprès des agriculteurs de cette région.

## II. BUT DE L'ETUDE

Dans cette étude nous nous sommes fixés les objectifs suivants :

- Déterminer l'aspect socio-économique auprès des habitants de la zone irriguée par les eaux usées brutes dans la région de Sidi Bennour.

- Evaluer l'impact de l'irrigation par les eaux usées brutes sur le rendement et la qualité technologique des cultures.
- Déterminer le pouvoir épurateur du sol étudié par une campagne d'analyse des eaux d'irrigation et des eaux percolées à travers le lysimètre.
- Evaluer le flux de certains éléments polluants traversant une couche de 1 m, notamment : les nitrates et les sels.
- Etudier l'effet sur la qualité physique du sol en contrôlant le colmatage et la perméabilité.
- Evaluer l'impact sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines par la recherche d'éléments indicateurs de pollution, notamment : les nitrates, les nitrites, l'ammonium, les orthophosphates et les sels dans les eaux de puits situés dans les zones les plus vulnérables.

## III. DONNEES GENERALES SUR LE SITE D'ETUDE

L'expérimentation a été réalisée (figure 1) dans une exploitation agricole appartenant au cercle de Sidi Bennour. C'est une région à vocation agricole appartenant à la plaine des Doukkala centrale. Dans son cadre géologique, le site d'étude appartient à une grande unité géologique : la meseta Marocaine ou les formations secondaires et tertiaires reposent en discordance sur les massifs primaires plissés par

(1) Laboratoire de l'Eau et de l'Environnement - Université Chouaib Doukkali - Faculté des Sciences El Jadida.

(2) Direction du Développement et de la Gestion de l'Irrigation - Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole - Rabat.

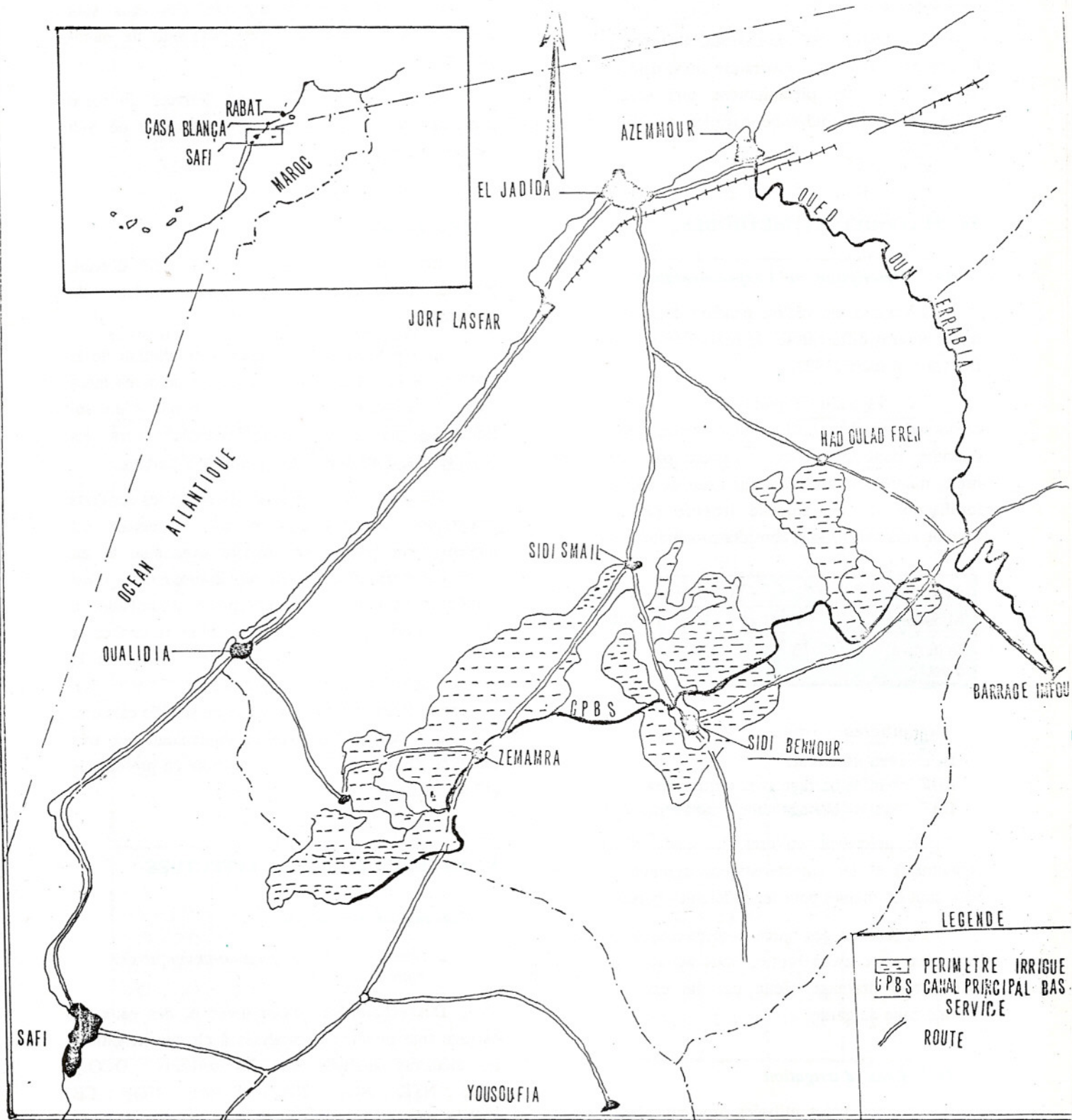


FIG 1. CARTE DE SITUATION AU 1/600 000

l'orogénèse hercynienne (M. FERRE et J. RUHARD (1975)). Dans la région, la majorité des affleurements sont d'âge quaternaire.

Le climat est semi-aride à hiver tempéré (Emberger 1955), la température maximale moyenne est de 35°C. Les précipitations sont généralement faibles avec une moyenne calculée sur dix ans de 281,6 mm.

## IV. MATERIEL ET METHODES

### IV.1 Description de l'expérimentation

L'essai a été réalisé pendant deux années sur deux cultures différentes : le Maïs-Grain (1992) et la Betterave à sucre (1993).

Le dispositif expérimental mis en oeuvre comprend neuf parcelles élémentaires, de 72 m<sup>2</sup> chacune, dont quatre sont irriguées par l'eau usée brute, quatre sont irriguées par l'eau de barrage avec fertilisation et une parcelle irriguée par l'eau de barrage sans fertilisants, considérée comme témoin.

Cultures	Traitements		
Maïs-Grain	EUB	EBF	
Betterave à sucre	EUB	EBF	EBT

#### Les différents traitements mis en oeuvre

EUB : eau usée brute.

EBF : eau de barrage avec fertilisation.

EBT : eau de barrage témoin sans fertilisants.

Le précédent cultural, le mode d'irrigation (gravitaire) et les caractéristiques agronomiques de base sont les mêmes pour les différentes parcelles.

Dans l'une des parcelles élémentaires irriguées avec des eaux usées brutes, nous avons installé un lysimètre à drainage. Cette parcelle est considérée comme zone de garde.

### IV.2 Eaux d'irrigation

Les eaux usées utilisées proviennent des rejets domestiques de la ville de Sidi Bennour auxquels sont

mélangées en proportion plus ou moins importante les eaux industrielles de la sucrerie de mi-Mai à Août et les eaux de ruissellement agricole. Ces eaux sont pompées directement de l'égout à l'aide de moto-pompe.

Les eaux de barrage sont dérivées du canal principal bas service qui alimente le casier de Sidi Bennour en eau d'irrigation.

### IV.3 Le sol

Le sol du site expérimental est alluvial, profond, développés sur un limon sableux du quaternaire.

Le sol a été analysé avant l'installation de la culture, les principales caractéristiques sont résumées dans les tableaux 1, 2 et 3. Il s'agit d'un sol limono-sableux à limono-argilo-sableux vers les profondeurs, d'après la classification d'Atterberg.

Du point de vue qualité chimique les résultats analytiques montrent que le sol de départ est moyennement pourvu en matière organique et en azote. Ces éléments décroissent vers la profondeur. Il est pauvre en potassium et en phosphore assimilable, la capacité d'échange cationique est faible en surface et moyennement élevée, en profondeur à cause de la richesse de sol en argile en profondeur (32 à 36 %). Par contre il est relativement riche en sels de calcium, chlorure et sodium. L'humidité équivalente est très faible en surface (7 à 9 %) et moyenne en profondeur (17,5 à 21,6 %).

## V. MESURES ET SUIVIS EFFECTUES

### V.A Impact sur le sol

#### *a- Suivi de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation*

Des échantillons d'eau usées et des eaux de barrage sont prélevés et analysés à chaque irrigation, les éléments analysés sont les suivants : DCO ; MES ; NTK ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ; P total ; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ; CE (25°C) ; pH ; Cl<sup>-</sup> ; Na<sup>+</sup> ; K<sup>+</sup> ; Ca<sup>2+</sup> ; Mg<sup>2+</sup> ; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Tableau 1 : Caractéristiques granulométrique du sol

HORIZONS (cm)	ARGILE %	LIMONS		SABLES	
		Limon fin %	Limon grossier %	Sable fin %	Sable grossier %
0 — 10	7,8	3,7	2,7	50,6	32,7
10 — 20	7,2	4	3,1	58,2	27,1
20 — 40	15,3	4,1	1,8	47,7	28,9
40 — 60	35,4	4,7	2,5	38,8	18,5
60 — 100	34,2	1,7	2,9	35,5	24,2

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimique du sol avant le semis du maïs.

HORIZONS (cm)	pH (eau)	pH (Kcl)	C %	M.O %	N %	N/C	P <sub>205</sub> %
0 — 10	7,36	7,01	1,076	1,86	0,130	8,28	0,091
10 — 20	7,34	7,03	0,746	1,29	0,090	8,29	0,062
20 — 40	7,28	7,96	0,359	0,62	0,059	6,08	0,001
40 — 60	6,50	6,20	0,197	0,34	0,023	8,56	0,006
60 — 100	6,70	6,02	0,087	0,15	0,020	4,35	0,004

Tableau 3 :

Horizons (cm)	Complexe d'échange meq/100g						HE	ESP	CE	Densité apparente g/cm <sup>3</sup>
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> / Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CEC	%	%	ms/cm	
0 - 10	3,6	6,0	1,66	1,6	0,45	7,4	7,0	21,6	1,24	1,51
10 - 20	2,1	6,3	3,47	3,2	0,35	9,8	7,7	32,5	1,68	1,55
20 - 40	2,5	8,1	3,24	3,2	0,30	10,1	9,9	31,6	0,70	1,37
40 - 60	3,1	14,7	4,74	3,6	0,39	19,3	17,5	18,6	0,58	1,19
60-100	3,5	19,1	5,46	3,4	0,34	25,0	21,6	13,5	0,51	1,16

HE = Humidité équivalente.

ESP = Pourcentage de sodium échangeable.

CE = Conductivité électrique à l'extrait de pâte saturée.

CEC = Capacité d'échange cationique.

### *b- Suivi de la salinité du sol*

Le suivi de la salinité du sol est effectué par le contrôle de la conductivité électrique à l'extrait saturé après chaque deux irrigations durant le cycle de la culture. Les prélèvements sont faits sur 5 horizons, de 0 à 1 m de profondeur dans la zone de garde du lysimètre (4 parcelles élémentaires) et la parcelle témoin.

### *c- Evaluation du pouvoir épurateur du sol étudié*

Cette évaluation est effectuée à l'aide d'un suivi de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation et des eaux percolées du lysimètre, lors de chaque irrigation. Les paramètres analysés sont les mêmes que ceux indiqués précédemment (V-1-a). Les abattements en certains éléments par le sol sont calculés pour donner les performances du sol étudié concernant l'épuration des eaux usées brutes.

### *d- Essai de lessivage de l'azote dans la cuve lysimétrique*

Le but de cet essai est d'évaluer les quantités de nitrates lessivées au delà de la zone racinaire après une irrigation avec des eaux usées brutes et d'estimer par la suite les quantités qui peuvent atteindre la nappe et altérer sa qualité chimique.

L'essai consiste à suivre l'évolution des nitrates en fonction du débit de percolation lors d'une irrigation et durant tout le temps de percolation. Des échantillons d'eau percolées sont prélevés à des intervalles de temps successifs tout en mesurant la vitesse de percolation à l'aide d'un chronomètre et sur ces échantillons nous avons effectué des analyses des nitrates. Le débit est évalué à partir du volume d'eau percolé et de la vitesse de percolation (H. BERDAI 1991).

### *e- Impact sur la qualité physique du sol*

Cet effet est évalué par l'incidence relative de la salinité et du coefficient d'absorption du sodium sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol d'après le diagramme de Rhoades (1977), et Oster Schroer (1979). Nous avons fait également des observations

sur terrain concernant le colmatage du sol et la stabilité de sa structure.

## *V.2 Impact sur le développement et la production agricole*

Le rendement du maïs-grain et ses composantes ont subits des analyses statistiques.

Des analyses ont été effectuées pour déterminer la richesse en sucre et la qualité technologique de la betterave à sucre.

## *V.3 Impact sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines*

Pour évaluer l'impact de l'irrigation avec les eaux usées brutes sur la nappe, nous avons établi un diagnostic de l'état des eaux souterraines, surtout à l'aplomb de parcelles irriguées avec les eaux usées et le long de l'égout. Ceci en cherchant quelques éléments chimiques considérés comme indicateurs de pollution : ( $\text{NO}_3^-$  ;  $\text{NH}_4^+$  ;  $\text{NO}_2^-$  ;  $\text{PO}_4^{3-}$ ), à des quantités supérieures aux normes recommandées pour une eau de boisson, et en suivant leur évolution spatiale et temporelle dans les eaux de puits.

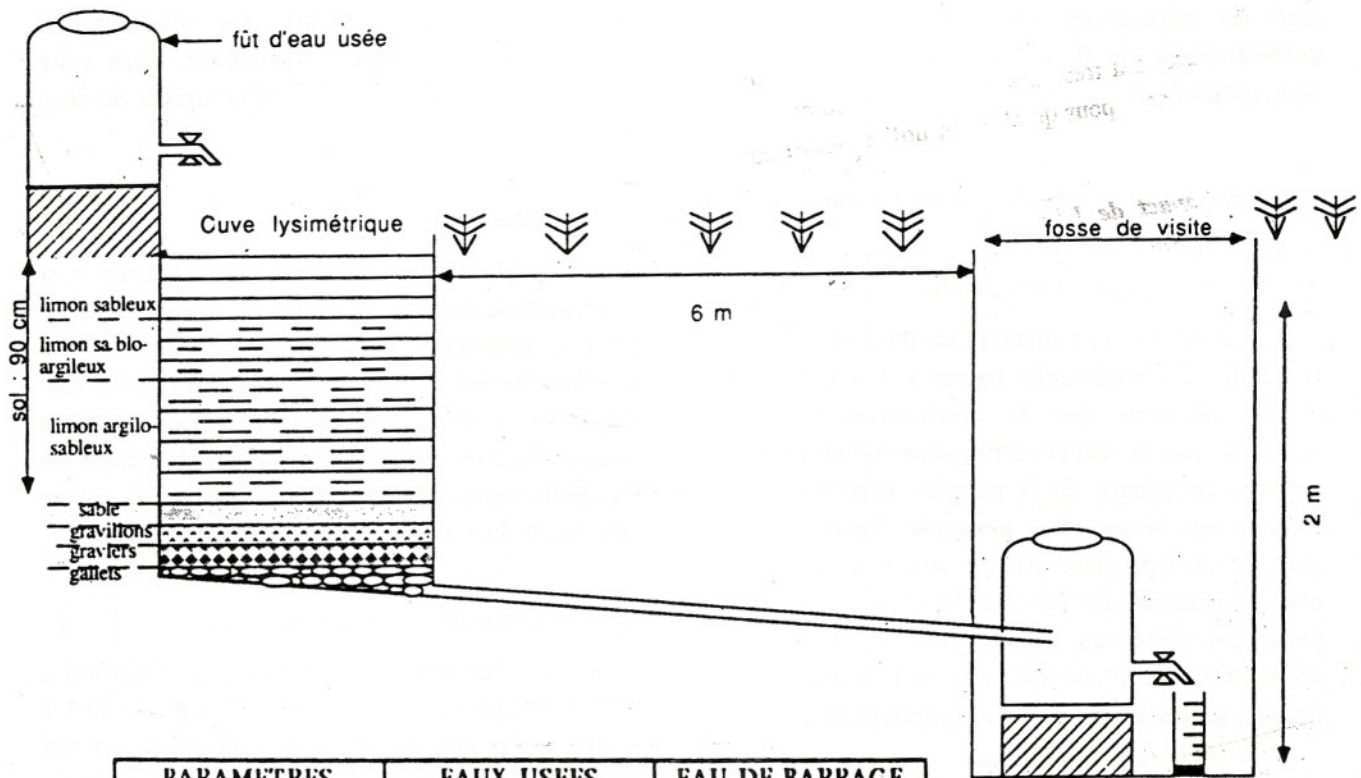
## **VI. RESULTATS ET DISCUSSION**

### *A- Qualité physico-chimique des eaux d'irrigation*

La qualité de l'eau d'irrigation est illustrée dans le tableau 4. Comparées aux eaux de barrage, les eaux usées utilisées sont très riches en matières en suspension, en matière organique, en éléments fertilisants et en sels. Le pH des deux types d'eau est voisin de la neutralité, et légèrement basique pour les eaux de barrage. La minéralisation très élevée de l'eau usée en chlorures, sodium, calcium et carbonates, est essentiellement due aux rejets de la sucrerie. La conductivité électrique moyenne est de l'ordre de 2,33 ms/cm et 1,57 ms/cm respectivement pour les eaux usées et les eaux de barrage.

Les risques de toxicité sont légers à modérés pour le sodium mais sont très forts pour les chlorures

FIG. 2 DISPOSITIF LYSIMETRIQUE



PARAMÈTRES	EAUX USEES	EAU DE BARRAGE
MES mg/l	898,1	5,0
DBO <sub>5</sub> mg/l	460,0	-
DCO mg/l	764,1	-
Oxydabili cmg/l	-	3,6
N-NTK mg/l	62,5	5,2
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	35,6	--
N-NO <sub>2</sub> mg/l	0,0	--
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	7,3	3,6
Pt mg/l	6,2	0,2
P-PO <sub>4</sub> mg/l	3,3	--
CE ms/cm	2,3	1,6
PH	7,1	8,6
Cl mg/l	701,1	524,9
Na <sup>+</sup> mg/l	352,2	252,9
K <sup>+</sup> mg/l	18,4	3,9
Ca <sup>2+</sup> mg/l	473,2	90,1
Mg <sup>2+</sup> mg/l	320,5	57,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	488,7	444,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	618,4	183,0
SAR	4,4	7,2
- Total d'œufs d'helminthes/l	4 - 56	-
- C.F. (UFC/100ml)	6.10 <sup>6</sup>	-
- B.H.A. (UFC/100ml)	3.10 <sup>10</sup>	-
- S.F. (UFC/100ml)	2,4.10 <sup>6</sup>	-

Tableau 4 : Qualité des eaux d'irrigation (moyenne de 9 irrigations)

- C.F - Coliformes Fécaux
- B.H.A. - Bactéries hétérotrophes aérobie
- S.F. - Streptocoques fécaux
- UFC - Unité formant colonie
- - non détecté

dans les eaux usées, les charges bactérienne et parasitaire sont très élevées, la qualité de ces eaux est donc médiocre pour qu'elle soit utilisée en irrigation.

## *B- Impact de l'irrigation avec les eaux usées brutes sur le sol*

### *a- Suivi de la salinité du sol*

Le suivi de la salinité du sol durant le cycle de la culture est illustré par les figures 3, 4, 5, 6 et 7. Ces courbes montrent que la conductivité électrique augmente avec le nombre d'irrigation surtout dans les horizons de surface de la parcelle irriguée avec les eaux usées brutes. On remarque d'une manière générale que l'irrigation avec les eaux usées a entraîné une accumulation des sels dans le sol plus importante par rapport au témoin. Les horizons les plus profonds voient leur conductivité augmenter suite à un lessivage des sels surtout les chlorures, le sodium et les sulfates.

### *b- Evaluation du pouvoir épurateur du sol étudié*

Le sol n'est pas seulement un filtre, c'est un milieu granulaire qui sert de support à un écosystème épurateur, un réacteur qui met en contact les eaux usées avec la microflore épuratrice et l'oxygène de l'air (BIZE et al, 1989). Les vertus épuratrices du sol sont indissociables de son maintien en un état de non saturation d'eau et de renouvellement périodique de l'air qu'il contient. Il s'agit d'un système aérobie.

Performance du sol étudié (tableau 5).

#### *\* Elimination des matières en suspension*

Les matières en suspension sont retenues facilement par le complexe adsorbant du sol, la majorité des expériences ont montré un abattement de 100%. Dans notre expérience les abattements varient de 88 à 95%.

#### *\* Abattement en DCO*

L'élimination de la matière organique est l'essentielle de l'épuration par le sol, elle s'effectue dans la zone non saturée qui est un réacteur aérobie.

Cette élimination se fait par dégradation, transformation et oxydation bactérienne. Dans notre expérience, les abattements en DCO varient de 86 à 95%.

#### *\* Elimination du phosphore*

Le sol est un excellent piège géochimique pour le phosphore surtout dans les sols calcaires ou il précipite sous forme de phosphate de calcium. Mais certaines formes, en grandes quantités dans le sol sont lessivables et peuvent atteindre la nappe (le cas de certains détergents). Dans notre cas l'abattement du phosphore varie de 73,7 à 83,6% pour le phosphore totale et de 85,8 à 96,3% pour les orthophosphates.

#### *\* Elimination de composés azotés*

L'élimination de l'azote totale varie de 80,4 à 87%. L'abattement de l'ammonium varie de 92,2 à 98,9% ce qui montre que l'ion ammonium est très retenu par le complexe adsorbant du sol. Les nitrates et les nitrites ne sont pas retenus par le sol, leurs concentrations augmentent dans les eaux percolées (tableau 6) suite à la minéralisation de l'azote organique puis nitrification par les bactéries nitrifiantes du sol lors des périodes de non saturation.

#### *\* Elimination des sels*

Dans le cas de notre expérience, la salinité de l'eau percolée est très élevée et varie de 6,2 à 12,25 ms/cm par rapport à l'eau usée (1,79 à 3,29 ms/cm). Ceci est dû au lessivage des sels du sol durant la percolation et surtout le sodium, les chlorures et les sulfates (tableau 6). Ces éléments peuvent atteindre la nappe et augmenter sa salinité. Les ions calcium, magnésium et potassium sont retenus par le sol soit par le complexe adsorbant soit par précipitation. Les abattements sont respectivement : 60,5 à 73,9% pour le calcium 48 à 67% pour le magnésium et 38,1 à 75% pour le potassium, pour les carbonates les abattements sont de 36 à 49,9%.

Les résultats obtenus, dans cet essai d'épuration par le sol sont comparables à ceux réalisés à

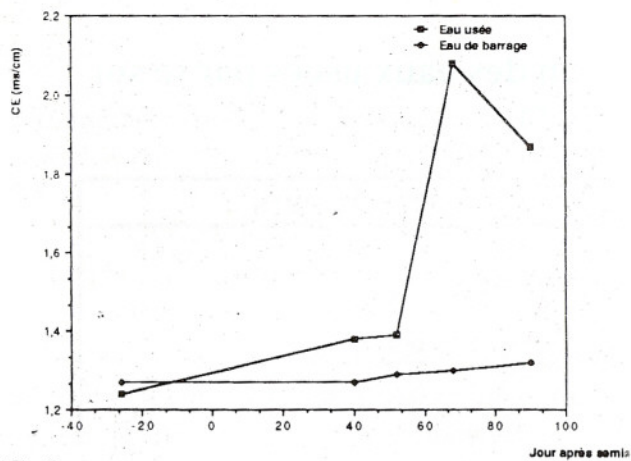


FIG. 3 Evolution de la conductivité électrique (extrait saturé) du sol dans l'horizon 0-10cm.

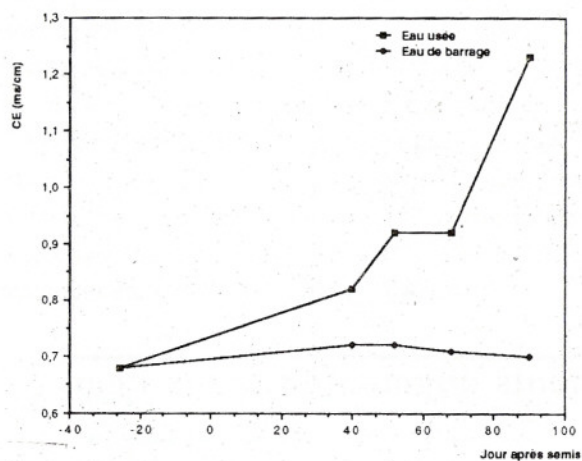


FIG. 5 Evolution de la conductivité électrique (extrait saturé) du sol dans l'horizon 20-40 cm.

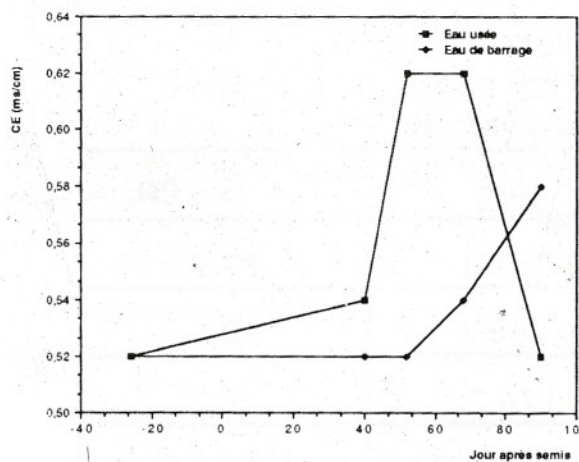


FIG. 7 Evolution de la conductivité électrique (extrait saturé) du sol dans l'horizon 60-80 cm.

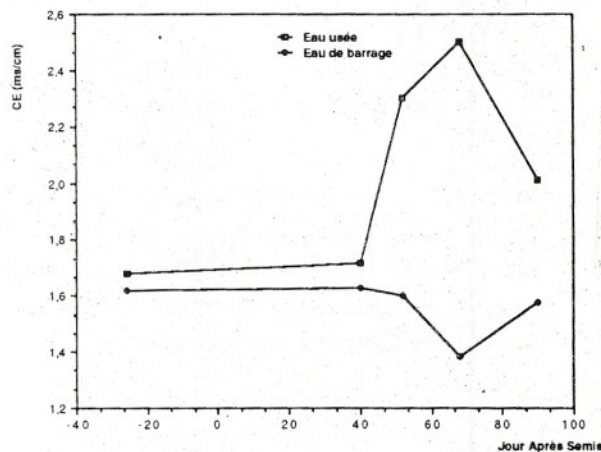


FIG. 4 Evolution de la conductivité électrique (extrait saturé) du sol dans l'horizon 10-20 cm

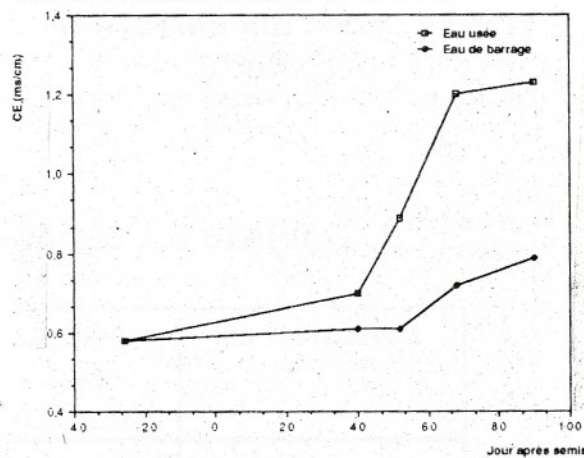


FIG. 6 Evolution de la conductivité électrique (extrait saturé) du sol dans l'horizon 40-60 cm.

**Tableau 5 : Evaluation de l'épuration des eaux usées par le sol  
(couche de 1 m)**

Paramètres	Abattements
MES	91,2 %
DCO	90 %
NTK	83,9 %
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	96,7 %
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	*
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	*
Pt	80,2 %
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	89,9 %
cl <sup>-</sup>	*
Na <sup>+</sup>	*
K <sup>+</sup>	59,4 %
Ca <sup>2+</sup>	65,6 %
Mg <sup>2+</sup>	54,3 %
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	*
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	42,5 %

\*\* : Les concentrations de ces éléments augmentent dans l'eau percolée.

**Tableau 6 : Billan apparent des sels et des nitrates**

Paramètres	Apports (kg/ha) (eaux usées)	Sorties (kg/ha) (eaux percolée)	% Lessivé
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	19,5	30,9	>100
cl <sup>-</sup>	3036,7	2344,1	77,2
Na <sup>+</sup>	1528,2	1230,1	80,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1455,3	176,7	16,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1614,4	919,5	57,5

l'aménagement du Port Leucate (France) et à ceux de la station pilote de Ben Sergao (Agadir) (Bichara, 1987).

*d- Essai de lessivage de l'azote dans la cuve lysimétrique*

Les résultats de cet essai sont illustrés par les figures 11, 12, 13 et 14 pour deux doses différentes : 40 litres et 100 litres. Ces figures montrent que le lessivage des nitrates est directement lié au débit de percolation de l'eau dans le sol. Des résultats similaires ont été trouvés dans l'expérimentation de Ouarzazat (Berdai H. 1992). Ces nitrates proviennent très probablement en partie du reliquat d'azote présent dans le sol avant son irrigation et de celui apporté par l'eau d'irrigation. Les pertes en nitrates par lessivage au delà d'une profondeur de 1 m s'évaluent à 3 kg/ha/irrigation pour une dose d'irrigation de 40 litres et 5,97 kg/ha / irrigation pour une dose d'irrigation de 100 litres et correspondent respectivement à 26 Kg/Ha et 53,73 Kg/ha de nitrates perdu durant le cycle de la culture du maïs.

*C- Enquête socio-économique effectuée auprès des habitants de la zone irriguée par les eaux brutes dans la région de Sidi Bennour*

*a- Origine des eaux usées brutes*

Rejet domestique de la ville de Sidi Bennour - rejet de la sucrerie - eau de ruissellement agricole.

*b- Date de réutilisation*

Dans la région de Sidi Bennour, les agriculteurs ont commencé à irriguer avec les eaux usées brutes à partir de 1970.

*c- Superficie irriguée*

Environ 540 hectares sont irrigués par les eaux usées brutes dans la région de Sidi Bennour.

*d- Comportement des agriculteurs vis à vis des eaux usées*

- Les agriculteurs connaissent bien l'origine des eaux usées utilisées "eau de

ruissellement agricole - rejets domestiques de la ville de Sidi Bennour - rejet de la sucrerie" ;

- Ils ne prennent aucune précaution lors de la réutilisation "manipulation, consommation des produits agricoles irrigués avec les eaux usées brutes ...", pour la majorité il s'agit d'une eau normale qui ne cause aucune maladie, sauf si elle est mélangée avec le rejet de la sucrerie" ;
- Ils sont conscients que cette eau constitue un apport de fertilisants gratuits (grain en fertilisants de l'ordre de : 1.400 à 2.000 Dh/ha), coût moins chère que l'eau de barrage, avec un rendement qui dépasse celui de l'eau de barrage ;
- Ils souhaitent l'épuration de ces eaux et la création d'un réseau d'irrigation avec les eaux usées épurées ;
- Ils sont, à priori, d'accord pour une participation financière au frais d'aménagement et pour le paiement d'une redevance comme pour les eaux de barrage mais à condition que des réseaux d'irrigation qui atteignent leurs exploitations soient installés.

*e- Rentabilité économique de quelques cultures irriguées par les E.U.B. par rapport à celles irriguées par les E.B. (tableau 8)*

Type d'eau culture	Rendement/ha		Revenu annuel (DH)		Gain (DH) EUB/EB
	EUB	EB	EUB	EB	
Blé	50-70 qx	40-60 qx	11.430	7.780	+ 3.650
Maïs	50-70 qx	40-60 qx	8.680	5.480	+ 3.200
Orge	40-70 qx	30-60 qx	8.880	5.480	+ 3.400
Betterave à sucre	80-100 T	70-90 T	36.560	30.260	+ 6.300

EUB : Eau usée brute.

E.B. : Eau de barrage.

Les rendements des cultures irriguées par les eaux usées brutes sont supérieures à ceux des cultures

## VOLUME D'IRRIGATION = 40 L

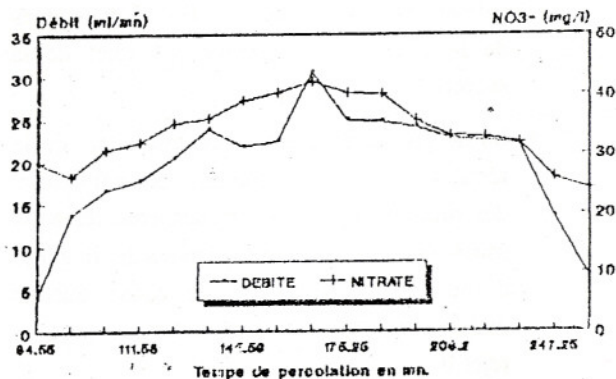


FIG. 11 Evolution du débit et concentration en  $\text{NO}_3^-$  du percolat du lysimètre en fonction du temps de percolation.

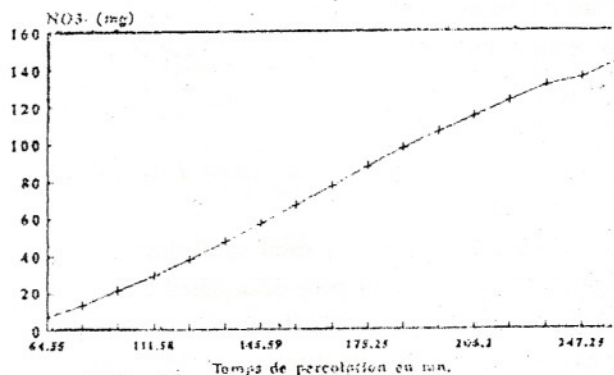


FIG. 12 Evolution des nitrates cumulés au cours de la percolation dans le lysimètre.

## VOLUME D'IRRIGATION = 100 L

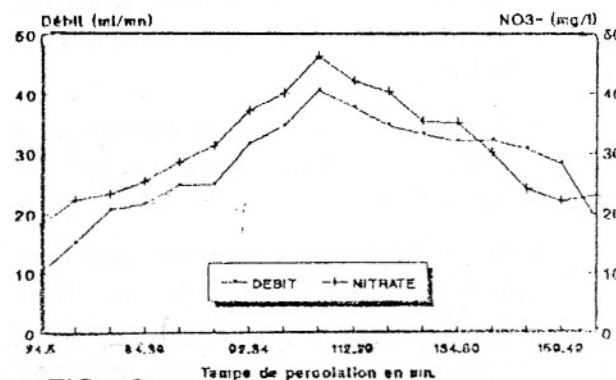


FIG. 13 Evolution du débit et concentration en  $\text{NO}_3^-$  du percolat du lysimètre en fonction du temps de percolation.

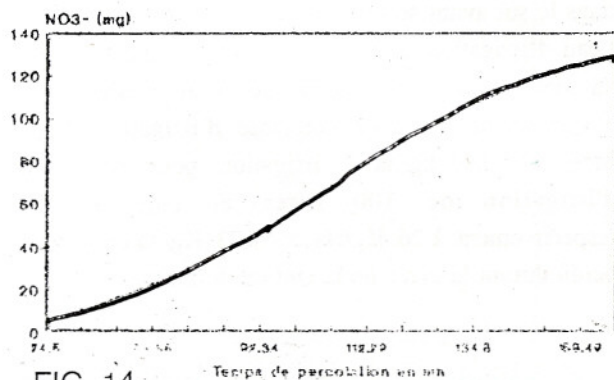


FIG. 14 Evolution des nitrates cumulés au cours de la percolation dans le lysimètre.

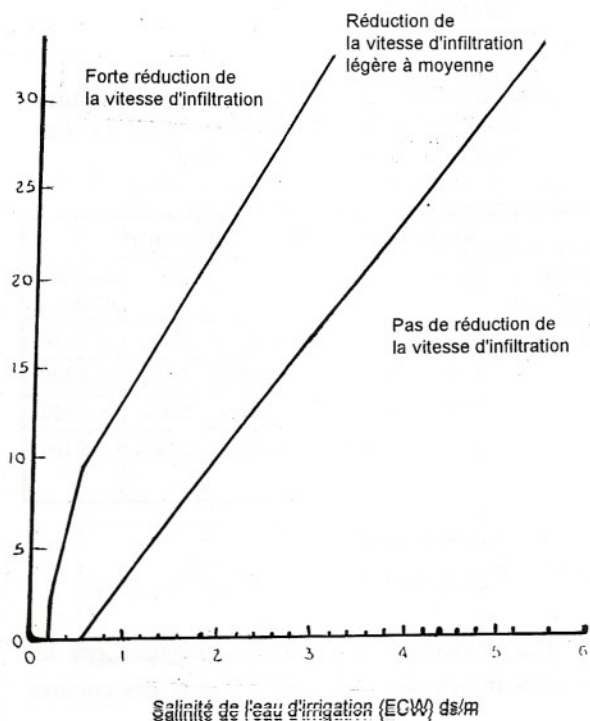


Fig 15 : Effets relatifs de la salinité du coefficient d'absorption (SAR) du sodium sur la vitesse d'infiltration, (source : Rhoades 1977)

irriguées par des eaux de barrage par conséquent le gain (DH) des rendements des E.U.B. dépasse largement celui des E.B.

Pour confirmer ces résultats économiques, nous avons mené deux essais sur deux cultures (Maïs - Grain et Betterave à Sucre).

*D- Impact de l'irrigation par les eaux usées brute sur les cultures*

- Maïs - Grain :

**Tableau 9 : Rendement en grain et ses composantes**

	Peuplement pied/ha	Nombre d'épi/plant	Nombre de grains saines/épi	Poids de 1000 grains à 14% d'H*	Rendement en grains q/ha à 14% d'H*
Moyenne EUB	75.000	1,14	436,40	288,60	72,86
EBT	74.000	1,03	339,11	159,30	43,00
Signification statistique	N.S	N.S	H.S	H.S	H.S

N.S : différence non significative (P > 5%)

H.S : différence hautement significative (P < 1%)

H\* : humidité.

L'irrigation par les eaux usées brutes entraîne une augmentation du nombre de grains, un bon remplissage de ces grains qui se traduit par un poids de 1.000 grains élevé comparativement à l'eau de barrage témoin. Le nombre de grains/épi et le poids de 1.000 grains ont été les composantes les plus déterminantes pour le rendement en grain.

- Betterave à sucre :

**Tableau 10 : Résultats du rendement en racine et de la qualité technologique de la Betterave sucrière à l'Arrache**

Parcelles	Eau usée brute	Eau de barrage + fertilisants	Eau de barrage sans fertilisants
Rendement en racine (T/ha)	101,41	88,23	48,82
N animé (még %)	2	1,82	1,46
Na+ (még %)	1,54	2,28	2,15
K+ (még %)	3,24	2,36	2,30
Teneur en sucre (%)	17,17	16,57	15,10
Sucre mélasse (%)	1,77	1,42	1,15
Sucre extractible (T/ha)	15,62	13,37	6,81

Nous avons pu relever des différences entre les trois types de parcelles en faveur de celle irriguée avec les eaux usées concernant les rendements, la teneur en sucre et la pureté du jus.

Les teneurs en éléments mélassigènes (N animé, K+) qui affectent la qualité technologique, restent plus élevées dans la betterave "Eau Usées" que dans celle "Eau Barrage" par conséquent le rendement en racine et le pourcentage en sucre conduisent à un meilleur rendement en sucre extractible dans le cas des eaux usées.

*E- Impact sur la qualité physique du sol*

Malgré le caractère alcalinisant de l'eau usée utilisée dû à une forte charge en sodium, le risque de réduction de la vitesse d'infiltration est nul (d'après le diagramme de Rhoades 1977, Oster et Schroer 1979) (figure 15).

En effet, la forte teneur de ces eaux en sels solubles totaux (surtout Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup>) compense l'effet de l'excès en sodium sur les propriétés physiques du sol. Cependant, le principal risque encouru par le sol lors de l'irrigation avec des eaux usées brutes est le colmatage (F. Valiron 1983) qui n'affecte généralement que la couche superficielle. Il peut être de plusieurs types.

a- *Colmatage physique* : causé par les matières en suspension qui obturent les pores du sol et entraînent une imperméabilisation de surface.

b- *Colmatage chimique* : il est dû à la précipitation de certains sels, qui est fonction du pH, de la température et du potentiel redox (F. Valiron 1983). Dans notre cas nous avons noté la formation de couches lamellaires blanchâtres qui sont probablement des sels de sodium.

c- *Colmatage biologique* : l'apport de matière organiques par les eaux usées (898,9 mg/l) peut entraîner le colmatage du sol en favorisant un développement d'algues. Ce cas a été observé dans le sol du site étudié.

Des études et expérimentations déjà réalisées dans ce domaine montrent que des labours fréquents

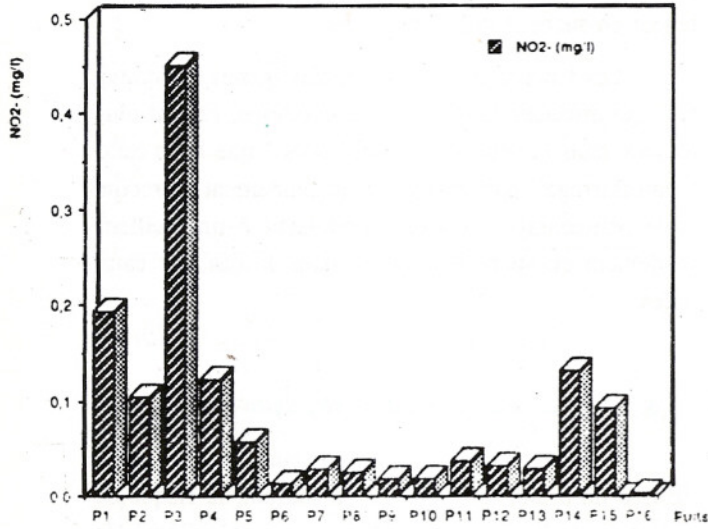


FIG. 16 Teneurs en Nitrites des eaux de puits

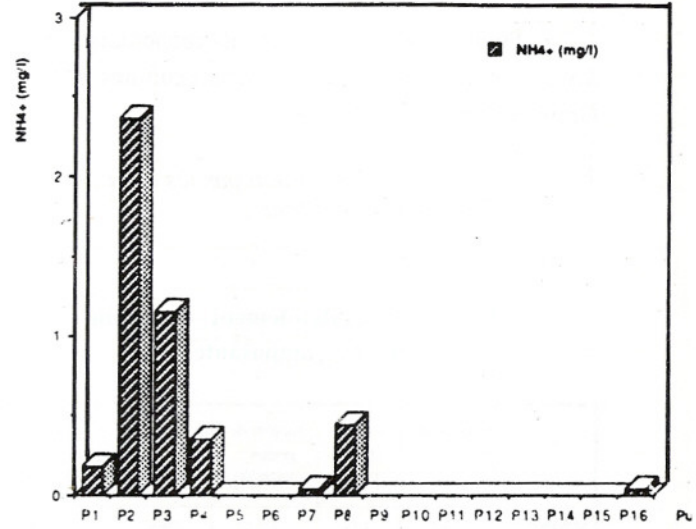


FIG. 17 Teneurs en Ammonium des eaux de puits

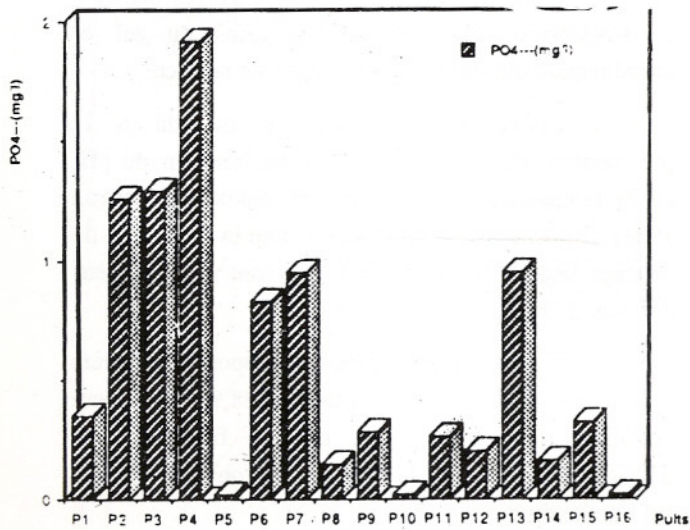


FIG. 18 Teneurs en Orthophosphates des eaux de puits

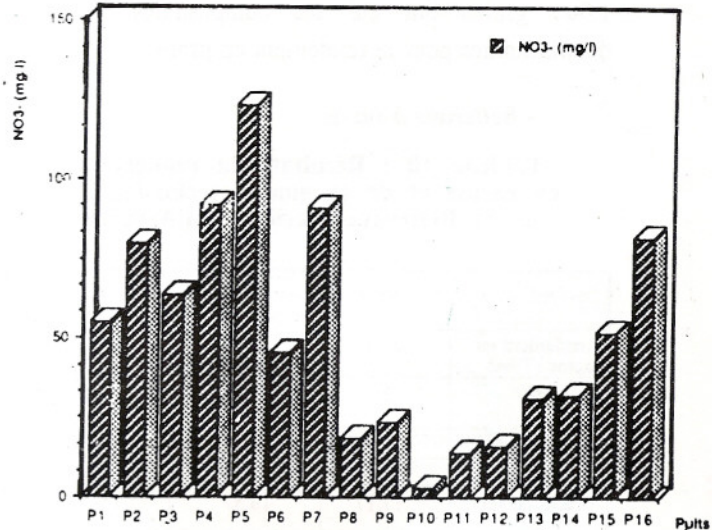


FIG. 19 Teneurs en nitrates des eaux de puits

suffisent pour limiter le colmatage d'une part par action mécanique et d'autre part en activant l'aération du sol et la dégradation des matières organiques.

#### *F- Impact de l'irrigation avec les eaux usées brutes sur le eaux souterraines*

Les résultats de l'étude hydrochimique montrent d'une manière générale que les eaux souterraines sont dégradées. Les puits les plus chargés en nitrates, nitrites, ammonium et en orthophosphates sont ceux situés le long de l'égout et dans la zone irriguée avec les eaux usées (figure 16, 17, 18 et 19). Les teneurs des eaux de puits en ces éléments dépassent les normes fixées par l'OMS et sont donc impropres à la consommation humaine, surtout pour les nitrites et les nitrates qui peuvent causer des risques sanitaires tels que la méthémoglobinémie, particulièrement pour les enfants en bas âge (Quaghbeur et al 1981).

Les eaux de la nappe sont aussi très chargées en sels et la conductivité électrique varie de 1,46 à 11,58 dans les puits.

### **VII. CONCLUSION GENERALE**

L'irrigation par les eaux usées brutes présente des effets positifs sur le rendement de la culture et la richesse du sol en éléments fertilisants ainsi que des effets négatifs à savoir :

- Salinisation des horizons de surface de sol ;
- Un lessivage important des nitrates évalués à 53,73 Kg/ha à l'aide du lysimètre qui va entraîner une contamination importante de la nappe.

En attendant la mise en place d'un projet d'épuration des eaux usées il convient :

- Interdire le maraîchage (consommation crue) et tolérer les cultures industrielles et les céréalicultures qui s'avèrent rentables et sans danger ;
- De prendre certaines mesures importantes afin de minimiser les risques d'entraînement

de l'azote nitrique et des sels vers la nappe. Ces mesures sont les suivantes ;

- Epurer les eaux usées avant leur réutilisation en agriculture (lagunage, boue activée, etc ...) ;
- Faire un contrôle des doses et fréquences d'irrigation avec les eaux usées pour maîtriser les percolations et les apports et minimiser le lessivage des sels et des nitrates.

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- ASANOT T. (1987). - "Recharge de la nappe phréatique avec les eaux usées épurées", séminaire international sur : "la réutilisation des eaux usées" 18-22 Septembre 1989, Sophia - Antipolis (France), 19 p.
- BAHRI A. (1987). - "L'utilisation des eaux usées traitées et des boues résiduaires en agriculture". Colloque international "eaux usées et milieux récepteurs" Casablanca 9, 10 et 11 Avril 1987.
- BIZE J.M. et MINAULT N. (1989). - "Épuration des eaux usées par le sol", journées techniques : "assainissement urbain au Maroc", Agadir, 6, 7 et 8 Septembre 1989, 16 p.
- BOUTIN C. et DIAS N. (1986). - "Impact de l'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech sur la nappe phréatique, Bull. Fac. Sci. Marrakech (sect. Sci. Vie), 3 sous presse.
- BOUTIN C. (1986). - "L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale, mais vulnérable. L'exemple des zones rurales du Maroc", rev. Sci. de l'eau V.6 (3) p. 357-365.
- BERDAI H. (1992). - "Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles" projet Mor 86/018 rapport scientifique intermédiaire R4, R5. Consultant national en physico-chimie.
- BERDAI H. (1991). - "Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles projet Mor 86/018 rapport

scientifique intermédiaire R4, R5. Consultant national en physico-chimique.

**BICHARA S. (1987).** - "Etude expérimentale de l'épuration des eaux usées d'Agadir par infiltration dans le sol", colloque international eau usée et milieux récepteurs" Casablanca 9, 10 et 11 Avril 1987.

**DE BECHER E. (1986).** - "Impact de l'activité humaine sur la contamination azotée des eaux souterraines, exemple du bassin versant de la dyle en amont de Wavre". Rev. tribune de l'eau, Avril 1986, n° 6 vol. 41, n° 536 p. 24-29.

**EL YAMIN N. (1985).** - "Contribution à l'étude qualitative des eaux d'alimentation des principales agglomération Marocaines : problème du maintien, de l'alimentation et de la


protection de cette qualité", thèse Doc. es. Sci. Université Scien. et technique Languedoc Montpellier p. 209-317.

**EMBERGER L. (1953).** - "Une classification bigéographique des climats" rech. Travail. Labo. Zool. Fac Sci. Montpellier série bot, 7 : p. 3-43.

**FAO (1987).** - "La qualité de l'eau en agriculture", bull, FAO d'irrigation 29, rev, organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture p.3-148.

**FERRE M. et RUHARD J. (1975).** - "Ressources en eau du Maroc" notes et mémoires serv, géol. Maroc T2, N 231, p. 261-298.

**VALIRON F. (1983).** - "La réutilisation des eaux usées", Doc. p. 105-122.

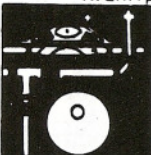
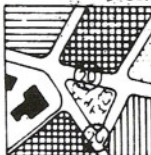


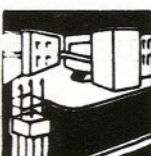



**المغرب**  
**SCET-MAROC**

**الشركة المركزية لتجهيز البلاد المغرب**  
**SOCIÉTÉ CENTRALE POUR L'ÉQUIPEMENT DU TERRITOIRE - MAROC**  
**SCET.MAROC**

Société anonyme au capital de 3 800 000 Dh:  
RABAT Tel (07) 320 22 / 320 23 / 304 49 / 33. 20  
30, Choua Al Alaouyne .RABAT . Telex n° 31 903 M  
B.P. 100 CAISSE DE DEPOT ET DE GESTION C.L.G.

**NIVEAU DES ETUDES**

<p>Etude Générale, Plans Directeurs Facilité Avant-projet sommaire Avant-projet Détaillé, Projet d'exécution</p>	<p>Dossiers de consultation des entreprises Contrôle général des travaux Ordonnancement, pilotage et coordination</p>
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>DEPT INFRASTRUCTURES URBAINES</b></p> <p>Alimentation en eau potable (Adduction, distribution) Assainissement, Traitement d'eau potable et usée, Stations de pompes, Equipement de lotissements VRD</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>CELLULE URBANISME</b></p> <p>Schéma Directeurs d'aménagement et d'urbanisme, Aménagement de quartiers, Etudes de plans masse et de lotissement</p> </div> </div>
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>DEPT DEVELOPPEMENT AGRICOLE ET RESSOURCES EN EAU</b></p> <p>Inventaire des ressources en eau Pédologie et classement des sols Inventaires culturaux Etudes agroéconomiques, Aménagements hydroagricoles, Barrages collinaires, Ouvrages hydrauliques</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>CELLULE TRAVAUX PUBLICS ET OUVRAGES D'ART</b></p> <p>Etudes routières routes nouvelles, Confortement et réaménagement routes existantes, carrefours, ouvrages, portuaires et ferroviaires, Ouvrages d'art</p> </div> </div>
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>DEPT BATIMENT - BETON ARME</b></p> <p>Toutes études bâtiments tous corps d'état, Ensembles immobiliers, Complexes, Hoteliers et touristiques, Ensembles Hospitaliers, Ensembles Industriels Programmes, Education: Lycées techniques, Facultés E N S</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>CELLULE INFORMATIQUE</b></p> <p>Réalisation et exploitation de logiciels en gestion et calcul scientifique, Mise en place de systèmes organisationnels et informatiques.</p> </div> </div>

# ANALYSE QUANTITATIVE DES MINERAUX ARGILEUX DES SOLS PAR LA METHODE DES BILANS CHIMIQUES ASSOCIEE A LA DIFFRACTION DES RAYONS-X

BOUABID R.<sup>1</sup> & M. BADRAOUI<sup>2</sup>

## RESUME

Cette étude présente une approche à l'analyse minéralogique des argiles des sols basée sur une combinaison de la diffraction des rayons-X (DRX) pour identification et d'une méthode de bilan de masse pour la quantification. Le modèle utilisé (QUANTARG) consiste en une résolution Gaussienne d'un système d'équations à plusieurs inconnues, qui représente le bilan de masse entre les compositions chimiques mesurées des échantillons étudiés et les compositions chimiques publiées pour des minéraux monophasiques de même nature que ceux identifiés par DRX dans les échantillons étudiés. Cette approche a été appliquée à un ensemble de sol des régions du Gharb et de la Chaouia.

Les résultats montrent que les argiles du Gharb sont différentes d'un groupe de sol à l'autre. Les argiles du Tirs sont à dominance smectitique (68 à 76%). Elles renferment également de la kaolinite (12 à 19%), peu d'illite (0,4 à 5%) et du quartz (7 à 12%). Les argiles du Dehs ont une composition minéralogique hétérogène où aucun minéral n'est dominant. Elles contiennent, en plus des minéraux présents dans les vertisols, de la vermiculite (10 à 25%) et de la chlorite (1 à 17%). Les argiles de la Chaouia sont essentiellement dominées par des smectites ferrifères (68 à 91%). La palygorskite est présente en quantité relativement importante dans les horizons à encroûtements calcaires (8 à 34%). La kaolinite y est présente aussi, mais en quantité moindre (3 à 19%).

La méthode des bilans de masse peut être considérée plus adéquate pour une analyse quantitative

précise comparativement à l'estimation à partir des intensités intégrées

des diffractions aux rayons-X. Elle a aussi l'avantage de permettre d'obtenir des résultats chiffrés qui peuvent servir à mieux relier la minéralogie des argiles aux comportements du sol. La méthode peut être considérée favorablement quantitative plutôt que semi-quantitative, surtout lorsque le nombre de phases dans l'échantillon à analyser est petit (4). La précision des résultats pour un minéral donné augmente avec son abondance dans l'échantillon.

## INTRODUCTION

Les argiles sont considérées comme étant la fraction la plus active de la matrice du sol. En effet, c'est à ce niveau que se passe un grand nombre de processus importants concernant le comportement physique et physico-chimique du sol, la nutrition minérale des plantes, la genèse et l'évolution des sols, ainsi que d'autres aspects d'importance comparable.

L'influence des argiles sur les propriétés des sols dépend non seulement de leur teneur dans le sol (texture), mais essentiellement de la nature et des quantités des différentes espèces minérales qui les constituent. En effet, les différents minéraux argileux possèdent des caractéristiques et des propriétés très distinctes et de ce fait, ils affectent différemment le comportement du sol. Il n'est toujours pas suffisant de

connaître le pourcentage d'argile granulométrique (la fraction inférieure à 2  $\mu\text{m}$ ); ou même de

1- BOUABID R., Département des Sciences du Sol, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknes, BP 540. Meknes.

2- BADRAOUI M., Département des Sciences du Sol, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. BP 6202. Rabat.

connaître la nature des différents minéraux qui le constituent (identification), mais il est utile, voire même indispensable de connaître les quantités de chaque espèce minérale (quantification) constituant ces argiles. Ceci permettrait d'établir des relations quantitatives avec la minéralogie du sol et apporter des éléments de réponse et des jugements plus solides concernant plusieurs problèmes liés aux argiles.

L'analyse quantitative par diffraction des rayons-X (DRX) avait commencée depuis qu'on avait observé que l'intensité diffractée par un minéral était proportionnelle à sa fraction dans l'échantillon. Klug et Alexander (1954) ont relié l'intensité diffractée par un minéral à sa fraction dans un mélange par l'équation quantitative suivante:

$$I_p = w_p K_p / w_p \mu_p \quad (I)$$

Où,  $I_p$  est l'intensité intégrée d'une diffraction maximale de "P" dans le mélange ;  $w_p$  est la fraction en masse de P dans le mélange ;  $K_p$  est une constante qui dépend de la nature de "P" et des conditions expérimentales,  $\Sigma w_p \mu_p$  est le coefficient d'atténuation de masse moyen du mélange (Brindley, 1980).

L'analyse quantitative des minéraux argileux exige que l'intensité intégrée (l'aire au dessous du pic) soit utilisée au lieu de l'intensité absolue (hauteur du pic). Pour la majorité des minéraux non-argileux qui sont des matériaux bien cristallisés, la hauteur du pic et une estimation adéquate de sa proportion dans le mélange. Les minéraux argileux, au contraire, à cause de leur domaine de réflexion très réduit et de l'existence dans leur structure de zones cristallines moins cohérentes, donnent des pics plus ou moins larges. L'intensité absolue de ces pics devient non précise et doit être remplacée par l'intensité intégrée. Si les moyens techniques pour obtenir directement cette valeur (ordinateur ou autres) sont laborieuses, elle peut être simplement estimée en multipliant la hauteur du pic par sa largeur à mi-hauteur (Reynolds, 1985). Cependant, la non-linéarité des lignes du bruit de fond et l'interférence partielle de certaines pics rendent cette mesure délicate.

En outre, dans une analyse quantitative par DRX, l'estimation de la fraction d'un minéral dans un mélange est soumise à plusieurs sources d'erreurs qui

sont relatives soit à l'instrumentation utilisée, soit aux méthodes de préparation et de pré-traitement, soit aux caractéristiques du minéral lui-même (Brindley, 1980). Les facteurs de variation inhérents à ce dernier semblent être les plus importants car ils sont difficilement contrôlables. Parmi ceux-ci nous citons :

- La variabilité chimique et structurale intrinsèque du minéral argileux.
- L'orientation préférentielle des particules argileuses qui est une fonction de la taille, de la densité et de la morphologie des particules, qui peuvent entraîner une ségrégation des minéraux lors de la mise sur lame.
- La similarité de structure entre certains minéraux argileux fait que leur réflexions sont très proches et peuvent se superposer.

Ces sources d'erreur ont été revues et discutées par plusieurs chercheurs (Blassingame et Hauff, 1985 ; Reynolds, 1985 ; Jones, 1985 ; Brindley, 1980). La difficulté de les maîtriser devient encore plus importante lorsqu'on considère les interactions qui peuvent exister entre elles. La quantification est considérée actuellement excellente lorsque les résultats sont fiables à 10% près (Reynolds, 1985).

Dans le but d'améliorer la quantification des minéraux argileux, la DRX a été associée à d'autres techniques analytiques, en particulier les propriétés physiques et chimiques des argiles. Ce groupe de méthodes est appelé méthodes d'analyse multifactorielles. Une des premières tentatives d'utilisation de cette approche est celle de McNeal et Sansoterra (1964) dans laquelle ils sont arrivés à quantifier les proportions des smectites, de la vermiculite et de la chlorite de quelques sols par des mesures de la capacité d'échange cationique (CEC), de la surface spécifique et des pertes en eau. Hussey (1972) et Robert (1974) ont utilisé aussi une méthode similaire, mais en intégrant plus de propriétés physiques et chimiques des échantillons analysés.

Hodgson and Dudeney (1984) ont adopté une approche différente dans laquelle les phases prédominantes sont estimées quantitativement par une

méthode de bilans de masse. Le procédé est une combinaison de la DRX pour l'identification des phases, de détermination de la composition chimique de l'échantillon en question (Si, Al, Fe et Mg) et d'analyses chimiques de minéraux de référence publiées pour les déductions stoechiométriques, le cas étudié par Hodgson et Dudeney est écrit sous la forme matricielle suivante :

	Chlorite	Vermiculite	Kaolinite	Smectite		
Si	max/min	K1	K2	max/min	% Chlorite	%SiT
Al	max/min	max/min	K3	max/min	% Vermiculite	%AlT
Mg	max/min	max/min	O	max/min	%Kaolinite	%FeT
K	max/min	max/min	O	max/min	%Smectite	%KT
		M			V1	V2

Où M est la matrice des données d'analyses chimiques publiées pour les minéraux en question, variant entre un maximum et un minimum; V1 est le vecteur contenant les proportions des phases à déterminer et V2 est le vecteur contenant la composition chimique de l'échantillon à quantifier. Certains coefficients ont été supposés constants pour la vermiculite (K1) et la kaolinite (K2 et K3) pour lesquelles on n'observe pas une très grande variabilité chimique. La résolution consiste en fait en une résolution Gaussienne d'un système  $M.V1 = V2$ , où V1 est le vecteur des proportions recherchées.

Pour tenir compte de la variabilité chimique qui existe dans les minéraux argileux le modèle incorpore un intervalle de valeur pour les éléments de la matrice M. Il exécute une routine systématique pour la sélection, à partir de toutes les combinaisons possibles de valeurs maximales et minimales des éléments de la matrice M, de solutions acceptables de stoechiométrie produites et de proportions de phases consistantes avec les données des analyses chimiques totales. Avec un choix judicieux des valeurs de M pour chaque élément dans les minéraux présents en mélange, le problème devient une résolution d'un système d'équation linéaires à plusieurs inconnues. Le modèle peut tester jusqu'à  $2^{11}$  (=2048) combinaisons possibles. Les solutions ne sont considérées acceptables que lorsque la somme des phases déterminées est égale à 1005% (Hodgson et Dudeney, 1984).

Dans la présente étude, une approche similaire à celle de Hodgson et Dudeney (1984), légèrement modifiée par Crum (1984), a été adoptée pour l'analyse minéralogique des argiles de sols de deux régions du Maroc. La modification principale consiste à ce que le modèle fasse une sélection aléatoire entre les maxima et les minima des valeurs des éléments de M au lieu des valeurs maximales et minimales elles même. Les principaux objectifs étaient les suivants :

1- Analyse quantitative des minéraux argileux du sol par l'approche multifactorielle associant l'identification par DRX et l'analyse chimique totale.

2- Comparaison de cette approche avec les résultats obtenus par la méthode d'estimation semi-quantitative à partir des intensités intégrées.

## MATERIELS ET METHODES

### Les sols :

22 échantillons prélevés de 8 sols différents représentatifs de deux grandes régions agricoles du Maroc ont fait l'objet de cette présente étude : 11 échantillons provenant de la région du Gharb et 11 échantillons de la région de la Haute Chaouia. Le choix des sols a été fait dans le but d'avoir une gamme assez large d'échantillons de compositions minéralogiques différentes. Le Tableau 1 présente la liste des différents sols utilisés avec leurs classifications.

### La préparation des argiles :

La séparation des argiles a été basée sur une série de décantations successives. Les échantillons ont été préalablement traités dans le but d'éliminer les ciments accompagnant les argiles dans le sol. L'élimination des carbonates a été réalisée pour tous les échantillons présentant une effervescence à l'acide en utilisant de l'acétate de sodium 1,0N à pH 5 (Robenhorst et Wilding, 1984). La destruction de la matière organique a été effectuée à l'aide de l'eau oxygénée  $H_2O_2$  6% à 60°C (Jackson, 1979). L'élimination des oxyhydroxydes de Fe et d'Al a été

réalisée par la méthode du citrate-bicarbonate-dithionite (CBD) de sodium (Jackson, 1979). Enfin, La dispersion des échantillons a été réalisée à l'aide du Calgon et agitation mécanique pendant 4 heures.

Une fois l'échantillon est dispersé, les sables sont éliminées par tamisage à l'eau (>50µm). Les argiles (<2µm) sont ensuite séparées des limons (50-2µm) par une série de sédimentations et siphonages (Jackson, 1979). La centrifugation à 2400 tr/mn pendant 38 minutes a permis la séparation des argiles en fraction fine (<0,2 µm) et fraction grossière (2 à 0,2µm). Seules les argiles de la Chaouia ont subi cette séparation fine et grossière ; les argiles du Gharb sont essentiellement grossières.

Les argiles ainsi obtenues sont saturées au Na<sup>+</sup>, puis lavées à l'alcool isopropylique pour éliminer l'excès de sel et sont ainsi prêtes pour être analysées.

#### *L'identification minéralogique par DRX :*

L'analyse par diffractions aux rayons-X ont été réalisées par un diffractomètre de rayons-X modèle RIGKU, opérant avec une anticathode de cuivre K à 40 KV et 20 mA et une vitesse 2°/min de 0 à 30 degrés 2θ). L'identification a été réalisée selon Jackson (1979), Brindly et Brown (1980) et Dixon et Weed (1989).

#### *L'analyse chimique totale :*

L'analyse chimique des argiles choisies a été faite par la méthode de fusion au métaborate de lithium (LiBO<sub>2</sub>) à 950°C et dissolution dans HCl 2N (Bankston et al., 1979). Les mesures de Si, Al, Fe, Mg, K et Na ont été faites par spectrophotométrie d'absorption atomique (PERKIN ELMER 380). Les échantillons ont été tous préalablement saturés au sodium. H<sub>2</sub>O a été mesuré comme étant la perte en eau entre 105°C et 950°C.

#### *La quantification des argiles par la méthode des bilans de masse :*

Une approche similaire à celle de Hudgson et Dudeney (1984), légèrement modifiée par Crum (1985) a été adoptée dans cette étude. Rappelons que le

principe de cette approche est la combinaison de la diffraction des rayons-X pour l'identification des minéraux argileux et de l'analyse chimique totale des échantillons en question (Si, Al, Fe, Mg, K et Na) pour la quantification, utilisant pour cela un modèle de bilan de masse (QUANTARG). Il s'agit de la résolution Gaussienne d'un système d'équations à plusieurs inconnues, qui représente le bilan de masse entre les compositions chimiques mesurées des échantillons étudiés et les compositions chimiques publiées pour des minéraux monophasiques, en principe, de même nature que ceux identifiés dans les échantillons à analyser. Puisque la composition chimique des minéraux du sol est très variable, QUANTARG utilise une matrice de coefficient présentant des intervalles de valeurs au lieu d'une composition fixe pour les différents éléments structuraux. Les données de la matrice utilisée dans cette étude sont présentées dans le Tableaux 2. Certains coefficients sont considérés constants pour les minéraux qui ne présentent pas une grande variabilité. QUANTARG est écrit en langage Pascal pour l'utilisation sur ordinateurs PC (Crum, 1984).

Avant de procéder à l'exécution des calculs, QUANTARG nécessite l'introduction des éléments de l'analyse chimique totale qui sont en nombre égaux aux phases identifiées dans l'échantillon à analyser, des valeurs maximales et minimales des éléments chimiques considérés, de intervalle dans lequel les combinaisons à tester doivent être comprises pour être considérées comme des solutions valables (maximum 100 + 10%). Le programme exécute le calcul pour chaque échantillon pris individuellement. Il peut tester plusieurs combinaisons possibles, mais ne considère valable que les solutions positives dont la somme des phases minérales est la plus proche possible de 100%, tout en affichant les écarts-types autour de la moyenne.

## RESULTATS ET DISCUSSION

#### *L'identification minéralogique par DRX :*

L'identification des minéraux argileux pour chaque échantillon a été réalisée à partir des

diffractogrammes de rayons-X. Les Tableaux 3 et 4 donne la composition minéralogique des argiles des sols étudiés ainsi qu'une estimation semi-quantitative déterminée à partir des intensités intégrées des pics de diffraction (Badraoui, 1988). On remarque que les argiles des Tirs du Gharb contiennent essentiellement des smectites avec peu de kaolinite, de l'illite et du quartz, alors que celles des Dehs sont relativement hétérogènes et contiennent des smectites, vermiculite, illite, chlorite, kaolinite du quartz et des interstratifiés dans des proportions variables (Tableau 3). Les argiles de la Chaouia sont moins hétérogènes que celles du Gharb. Elles sont dominées par les smectites en présence de peu de kaolinite de palygorskite et du quartz dans la fraction argiles grossières (Tableau 4).

### *L'analyse chimique totale :*

Les analyses élémentaires totales exprimés sous forme d'oxydes, en pourcent de l'échantillon, sont présentés dans le Tableaux 5. Ces données montrent que les argiles de la Chaouia contiennent plus de fer (supposé essentiellement sous forme Fe<sup>3+</sup>) que celles du Gharb. Elles contiennent également des teneurs en sodium plus élevées. Etant donné que les échantillons ont été saturés au sodium avant d'être analysés, la teneur en sodium exprimée en méq/100g d'argile correspond, aux erreurs prêtes d'analyse, à la capacité d'échange cationique (CEC). Le fer est considéré être totalement structural car les échantillons ont été différenciés. Les argiles du Gharb renferment plus de potassium que ceux de la Chaouia, surtout dans les Dehs. Ce potassium indique principalement la présence de l'illite en quantités importantes dans ces sols. En effet, puisque les teneurs en feldspaths potassiques sont négligeables, le potassium (K) peut bien renseigner sur la proportion de l'illite (Robert et al. 1988 ; Mimouni, 1990) :

$$\% \text{ illite} = (\% \text{ K}_2\text{O}) \times f \text{ où } f \text{ varie de } 4 \text{ à } 7$$

L'analyse chimique des argiles de référence a été réalisée principalement pour déceler le degré de précision avec lequel les différents éléments ont été mesurés. Les résultats obtenus pour ces minéraux (Tableau 5) sont très proches de ceux publiés dans la

littérature pour des minéraux identiques (Nemetz, 1981). L'analyse chimique par la méthode de fusion au métaborate de lithium a été choisie dans cette étude, car elle avait l'avantage de conserver tous les éléments de l'échantillon.

### *La quantification minéralogique :*

Les proportions des différentes phases minérales ajustées à 100% obtenues pour les différents échantillons analysés sont présentées dans les Tableaux 6 et 7. Ces tableaux donnent également le nombre de solutions trouvées, les limites de validité de ces solutions, ainsi que l'écart-type à la moyenne pour chaque phase minérale quantifiée.

### *Les argiles du Gharb :*

Les argiles du Tirs (M16, M17 et M18) sont toutes constituées de quatre phases minérales, tandis que les argiles des Dehs lourds et légers contiennent six phases à l'exception de M23 qui ne contient que cinq (Tableau 4).

Les argiles des Dehs renferment en plus des smectites, vermiculite, illite, chlorite, kaolinite et quartz des minéraux interstratifiés. Ces dernières sont difficiles à prendre en considération dans ce genre d'analyse. Leur présence en faibles quantités nous ont amener à les supposer négligeables. Ceci a simplifié le bilan de masse à un système d'équations à six inconnues seulement, qui devient alors moins difficile à résoudre.

les résultats obtenus par le bilan de masse (Tableau 4) montrent que les argiles du Tirs (M16, M17 et M18) présentent une composition minéralogique essentiellement dominée par les smectites (68 à 76%), suivies de loin par la kaolinite (12 à 19%), du quartz (7 à 12%) et en fin de l'illite (1 à 5%). Les argiles des Dehs (M19 à M26) possèdent une composition minéralogique plus hétérogène. Les smectites restent un peu plus élevées que les autres phases dans le Dehs lourd (jusqu'à 41%) ; elles sont plus faibles dans le cas du Dehs léger (0 à 25%). Ces derniers présentent des teneurs plus importantes en illites (24 à 55%) et en vermiculites (10 à 25%). Les

autres minéraux présentent des proportions comparables au niveau de ces deux groupes de sols.

Les proportions des différentes phases dans les échantillons analysés paraissent, en général, conformes aux résultats obtenus à partir des intensités intégrées des DRX présentés dans le Tableau 2. Elles sont même plus précises que ces dernières surtout lorsqu'il s'agit des phases minérales dominantes telles que les smectites. Les proportions données par la méthode des bilans de masse sont des valeurs chiffrées, alors que celles obtenues par DRX sont plutôt exprimées semi-quantitativement sous forme d'intervalles plus ou moins larges.

L'illite a été parfois sous-estimée au dépend de la vermiculite. Etant donné que la vermiculite est supposée un produit d'altération de l'illite et que ces deux minéraux ne diffèrent largement que par leur contenu en potassium (Lowell et Douglas, 1989), il est probable que ceci a pu engendrer un chevauchement entre ces deux minéraux lors de la résolution. Cependant, le modèle tient compte de la quantité en potassium pour assigner à l'illite des pourcentages raisonnables.

#### *Les argiles de la Chaouia :*

Les argiles de la Chaouia sont moins hétérogènes du point de vue composition minéralogique comparativement à celles du Gharb (maximum 5 phases). Les fractions argileuses fines (<0,2 $\mu$ m), à l'exception de M12F (fersiallitique), renferment toutes au plus 3 phases: smectites, kaolinite et palygorskite (Tableau 5). Les smectites sont la phase la plus dominante dans tous les échantillons. Leur proportion varie d'un minimum de 68% (M8F) à un maximum de 91% (M10F). Les proportions de la palygorskite sont relativement plus élevées que celles de la kaolinite. M12F ne contient ni smectite ni palygorskite, mais des quantités élevées d'illite (50%). Il renferme aussi de la vermiculite (30%), et de faibles quantités de quartz et de kaolinite. Comme pour les échantillons du Gharb, là également, les phases prédominantes (essentiellement les smectites) sont les phases déterminées avec le plus de précision comparativement à celles présentes en faible quantité.

Les fractions grossières (2-0,2 $\mu$ m) présentées dans le Tableau 5, renferment en plus de la smectite, kaolinite et palygorskite, des quantités non négligeables de chlorite et de quartz. Les smectites restent toujours la phase prépondérante (56 à 83%) mais relativement moindre que dans les fractions argileuses fines.

Les résultats que nous avons obtenu pour les argiles de la Chaouia par la méthode des bilans de masse sont comparables aux estimations déterminées à partir des intensités intégrées des pics de DRX (Tableau 6), exception faite pour la kaolinite qui paraît sous-estimée dans les échantillons M6F, M8F et beaucoup plus dans M12F pour lequel les DRX ont donné une estimation de 30 à 60% de kaolinite.

D'une manière générale, la méthode des bilans de masse, qui associe l'identification par DRX et les données de l'analyse élémentaire totale, nous a permis d'obtenir une quantification très satisfaisante comparativement à l'estimation à partir des intensités intégrées des pics de DRX. Les phases dominantes sont déterminées avec plus de précision que celles présentes en faible quantité. Cette méthode permet aussi d'obtenir des valeurs chiffrées qui permettront d'établir des relations avec d'autres variables du comportement du sol. En outre, les données de l'analyse chimique pourraient être utilisées pour caractériser la cristallographie des minéraux argileux du sol à travers le calcul des formules structurales et la déduction des charges, surtout dans le cas des minéraux de type 2/1.

#### **CONCLUSIONS**

Cette étude a présenté une approche à l'analyse minéralogique des argiles des sols basée sur une combinaison de la DRX pour l'identification et d'une méthode de bilan de masse pour la quantification. Cette approche a été appliquée à un ensemble de sol des régions du Gharb et de la Chaouia.

Les résultats montrent que les argiles du Gharb sont différents d'un groupe de sol à l'autre. Les argiles du Tirs sont à dominance smectitique (68 à 76%). Elles renferment également de la kaolinite (12 à 19%),

peu d'illite (0,4 à 5%) et du quartz (7 à 12%). Les argiles du Dehs ont une composition minéralogique hétérogène où aucun minéral n'est dominant. Elles contiennent en plus des minéraux présents dans les vertisols, de la vermiculite (10 à 25%) et de la chlorite (1 à 17%). Les argiles de la Chaouia sont essentiellement dominées par des smectites ferrifères (68 à 91%). La palygorskite est présente en quantité relativement importante dans les horizons à encroûtements calcaires (8 à 34%). La kaolinite y est présente aussi, mais en quantité moindre (3 à 19%).

La méthode des bilans de masse peut être considérée plus adéquate pour une analyse quantitative précise comparativement à l'estimation à partir des intensités intégrées

des pics de diffraction aux rayons-X. Elle a aussi l'avantage de permettre d'obtenir des résultats chiffrés qui peuvent servir à mieux relier la minéralogie des argiles aux comportements du sol.

La méthode peut être considérée favorablement quantitative plutôt que semi-quantitative, surtout lorsque le nombre de phases dans l'échantillon à analyser est petit (4). La précision des résultats pour un minéral donné augmente avec son abondance dans l'échantillon.

Il a été remarqué que les proportions obtenues sont quelques fois surestimées pour la kaolinite et sous-estimées pour l'illite par rapport à celles estimées par DRX.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achkar, M. 1983. Cartographie et Caractérisation des Sols de la Région Ain Ali-Moumen. Khemisset-Ouled Said (Province de Settat). Mémoire de 3ème Cycle. D.S.S. IAV Hassan II, Rabat.
- Badraoui, M., P.R. Bloom, and R. Bouabid. 1991. The Association of Beidellite-Palygorskite in a Xerochrept of the High Chaouia. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*
- Badraoui, M. 1988. Mineralogy and Potassium Availability in Soils from the Chaouia and the Gharb Regions of Northwestern Morocco. Ph.D. University of Minnesota, USA.
- Bankston, D.C., S.E. Humphris, and J. Thompson. 1979. Major and Minor Oxide Minerals and Trace Element Determination in Silicate Rocks by Direct Current Plasma Echelle Spectrometry. *Analyt. Chem.* 51:1218-1225.
- Blassingame, S.H. and P. Hauff. 1985. Quantitative X-ray Diffraction-Application to Clay Mineralogy- An Overview. *Proc. Int. Clay Conf. Denver, Colorado.*
- Brindley, G.W. 1980. Quantitative X-Ray Mineral Analysis of Clays. *In Crystal Structure of Clay Minerals and their X-Ray Identification* (G.W. Brindley, and G. Brown eds.). Mineralogical Society Memo. no.5, London.
- Brindley, G.W. and G. Brown. 1980. *Crystal Structure of Clay Minerals and their X-Ray Identification.* Mineralogical Society Memo. no.5, London.
- Crum, J.R. 1984. Soils and Till Stratigraphy of West-central Minnesota. Ph.D. Thesis. University of Minnesota, USA.
- Dixon, J.B. and S.B. Weed. 1989. Minerals in Soil Environments. *Soil Sci. Soc. Amer. Book Series 1.* Madison, Wisconsin.
- Douglas, L. A. 1989. Vermiculites. p.195-258. *In Minerals in Soil Environments* (J.B. Dixon and S.B. Weed eds.). *Soil Sci. Soc. Amer. Book Series 1.* Madison, Wisconsin.
- Drees, L.R., L.P. Wilding, N.E. Smeck and A.L. Senkayi. 1989. Silica in soil: Quartz and disordered silica polymorphs. p. 913-974. *In Minerals in Soil Environments* (J.B. Dixon and S.B. Weed eds.). *Soil Sci. Soc. Amer. Book Series 1.* Madison, Wisconsin.
- Gosgrove, M.E., and A.M. Sulaiman. 1973. Rapid Method For the Determination of Quartz in Sedimentary Rocks by X-ray Diffraction. *Clay Miner.* 10:51-55.
- Heusch, B. et P. Billiaux. 1966. Carte pédologique du Gharb, de la Mamora septentrionale et de leur bordure orientale. *Congrès de Pédologie Méditerranéenne.* INRA, Rabat.
- Hodgson, M.A. and W.L. Dudeney. 1984. Estimation of Clay Proportions in Mixtures by X-ray Diffraction and Computerised Chemical Mass Balance. *Clays and Clay Miner.* 32:19-28.
- Hussey, G.A. 1972. Use of Simultaneous Linear Equation Program for Quantitative Clay Analysis. Ph.D. Thesis. Pennsylvania State University, USA.
- Jackson, M.L. 1979. *Soil Chemical Analyses: Advanced Courses.* 2nd Ed. 11th Printing. Published by the Author. University of Wisconsin, Madison.

- Jones, R.C. 1985. Computerised Technique for Fast X-ray Diffraction Curve Fitting/Peak Deconvolution and Data Manipulation. Proc. Int. Clay Conf. Denver, Colorado.
- Klug, H.P. and L.A. Alexander. 1954. X-ray Diffraction Procedures. Jhon Wiley and Sons, Inc., New York.
- Krimou, L. 1983. Cartographie et caractérisation des sols de la région Had-Mzoura, Oulad Moussa. Zone Ouest. Mémoire de 3ème Cycle. DSS. IAV Hassan II. Rabat.
- Lennox, D.H. 1973. Monochromatic Diffraction-Absorption Technique for Direct Quantitative X-ray Analysis. Anal. Chem. 29:766-770.
- Leroux, J., D.H. Lennox, and K. Kay. 1953. Direct Quantitative X-ray Analysis by Diffraction-Absorption Technique. Analyt. Chem. 25:740-743.
- McNeal, B.L., and T. Sansoterra. 1964. Mineralogical Examination of Arid Land Soils. Soil Sci. 97:367-375.
- Mimouni, T. 1990. Minéralogie, fixation et libération du potassium dans les sols du Tadla et du Haouz. Mémoire de 3ème Cycle. DSS, IAV Hassan II, Rabat.
- Minechelli, D. 1982. The Quantitative Phase Analysis of Clay Minerals by X-ray Diffraction: Modern Aspects of Industrial Routine Control. Clay Miner. 17:401-408.
- Nemetz, E. 1981. Clay Minerals. Akademiai Kiadó. Budapest, Hungary. English Version translated by B. Balkay.
- Norrish, K., and R.M. Taylor. 1962. Quantitative Analysis by Diffraction. Clay Miner. Bull. 5:98-109.
- Pearson, M.J. 1978. Quantitative Clay Mineralogical Analysis from the Bulk Chemistry of Sedimentary Rocks. Clays and Clay Miner. 26:423-433.
- Reynolds, R.C. 1985. Principles and Techniques of Quantitative Analyses of Clay Minerals by X-Ray Diffraction Methods. Proc. Int. Clay Conf., Denver, Colorado.
- Robenhorst, M.C., and L.P. Wilding. 1984. Rapid Method to Obtain Carbonate Free Residues from Limestone and Petrocalcic Materials. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48:216-219.
- Roberts, J.M. 1974. X-ray Diffraction and Chemical Technique for Quantitative Soil Clay Mineral Analyses. PhD. Thesis, Pennsylvania State University.
- Robert, M. J. Guyot et M. Hervio. 1988. Minéralogie des sols et dynamique du potassium. In Phosphore et Potassium dans les Relations Sol-Plante; Conséquences sur la Fertilisation. (Gachon ed.). INRA Versailles, France.
- Ross, C.S., and S.B. Hendricks. 1944. Minerals of the Montmorillonite Group: their Origin and Relation to Soils and Clays. U.S. Geo. Survey, Profess. Paper 205-B, 79p.
- Shadfan, H. A. Mashhady. 1985. Distribution of palygorskite in sediments and soils of Saudi Arabia. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49:243-249.

Tableau 1: Description des sols et des minéraux de référence utilisés.

Région / Identification	Nom vernaculaire	Classification Classification Française	Classification Soil Taxonomy	Référence
<b>GHARB</b>				
M16 M17 M18	Tirs	Vertisol Modal	Pelloxerert	(1)
M19 M20 M21 M22	Dehs lourds	Sol peu évolué su alluvions argilo-calcaires	Haploxeroll	(1)
M23 M24 M25 M26	Dehs léger	Sol peu évolué sur alluvions limono-calcaires	Xerochrept	(1)
<b>CHAOUIA</b>				
M1 M2 M3	Tirs	Vertisol Modal	Chromoxerert	(2)
M4 M5 M6	Tirs	Maron verticale à encroustement tuffeux	Calcixeroll	(2)
M7 M8	Tirs	Maron Vertique à croute calcaire	Palexeroll	(2)
M10		Rendzine	Xerochrept	(2)
M12 M15	Hrach	Fersiallitique	Palexeralf	(3)
<b>ARGILES DE REFERENCE</b>				
KGa-1	Kaolinite			(4)
SWY-1	Montmorillonite			"
PF-1	Palygorskite			"
VTX-1	Vermiculite			"

(1) Heusch et Billaux (1966); (2) Achkar (1983); (3) Krimou (1983); (4) Clay Mineral Society (USA)

Tableau 2: Données de l'analyse chimique de minéraux argileux utilisés par le programme des bilans de masse pour la quantification minéralogique.

Minéral / Référence		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O
Kaolinite / Nemetz (1981)	max	53,72	46,28	0,00	0,00	0,00
	min	53,72	46,28	0,00	0,00	0,00
Montmorillonite / Nemetz (1981)	max	61,47	23,00	4,32	4,65	0,84
	min	48,24	16,54	0,30	0,03	0,12
Beidellite (Ross et Hendriks, 1944)	max	53,88	28,24	8,68	5,40	0,60
	min	45,23	16,24	3,36	0,16	0,09
Vermiculite / Nemetz (1981)	max	54,09	38,84	8,16	5,90	4,97
	min	43,95	21,12	0,72	1,84	0,00
Illite / Nemetz (1981)	max	54,09	38,84	8,16	5,90	7,98
	min	43,95	21,12	0,72	3,60	5,48
Chlorite / Nemetz (1981)	max	39,01	52,00	5,01	10,14	1,52
	min	29,50	32,15	0,00	0,00	0,00
Palygorskite / Shadfan et Mashhady (1985); Badraoui et Bloom (1991)	max	58,10	17,52	4,12	10,35	0,39
	min	54,64	10,33	3,01	7,28	0,00
Quartz / Drees et al. (1989)	max	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	min	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Table 3. Composition Minéralogique semi-quantitative des argiles des sols du Gharb estimées à partir des intensités intégrées des diffractogrammes de rayon-X.

Horizon	Smectite Feldspaths	Vermiculite	Illite	Chlorite	Kaolinite	Int.Strat	Quartz
<b>Vertisol (Tirs)</b>							
M16	xxxxx	-	T	-	x	-	x
M17	xxxxx	-	T	-	x	-	x
M18	xxxxx	-	x	-	x	-	x
<b>Sol peu évolué sur alluvions argilo-calcaires (Dehs lourds)</b>							
M19	xxx	x	xx	x	x	x	x
M20	xxx	xx	xx	x	x	x	x
M21	xx	xx	xx	x	x	-	x
M22	xx	x	xxx	x	x	-	x
<b>Sol peu évolué sur alluvions limono-calcaires (Dehs légers)</b>							
M23	-	xx	xxxx	x	x	x	x
M24	xx	xx	xxx	x	x	x	x
M25	xx	x	xx	x	x	x	x
M26	xx	x	xx	x	x	x	x

Int.Strat: minéraux interstratifiés;

T = trace, x = 5-15%, xx = 15-30%, xxx = 30-50%, xxxx = 50-70%, xxxxx = >70%.

Table 4 . Composition Mineralogique semi-quantitative des argiles de la Haute Chaouia estimées à partir des intensités intégrées des diffractogrammes de rayon-X.

Horizon	Smectite	Vermiculite	Illite	Chlorite	Kaolinite	Palygorskite	Quartz
<b><u>Vertisol (Tirs)</u></b>							
M1G§	xxxxx	-	-	-	x	-	x
M2G	xxxxx	-	-	x	x	-	x
M3G	xxxxx	-	-	x	x	x	x
M1F§	xxxxx	-	-	-	x	-	-
M2F	xxxxx	-	-	-	x	-	-
M3F	xxxxx	-	-	-	x	x	-
<b><u>Maron vertique (Tirs)</u></b>							
M4G	xxxxx	-	-	-	x	x	x
M5G	xxxxx	-	-	x	xx	x	x
M6G	xxxxx	-	-	x	xx	xx	x
M4F	xxxxx	-	-	-	x	-	-
M5F	xxxxx	-	-	-	xx	x	-
M6F	xxxxx	-	-	-	xx	x	-
<b><u>Maron vertique encroué (Tirs)</u></b>							
M7G	xxxxx	-	-	-	xx	x	x
M8G	xxxxx	-	-	-	xx	x	x
M7F	xxxxx	-	-	-	xx	-	-
M8F	xxxxx	-	-	-	xx	x	-
<b><u>Rendzine</u></b>							
M10G	xxx	-	-	-	xx	xx	-
M10F	xxxxx	-	-	-	xx	-	-
<b><u>Fersialitique (Hrach)</u></b>							
M12G	-	x	xx	-	xx	-	x
M12F	-	xx	xx	-	xx	-	-

§, G: fraction argileuse grossière (2-0,2µm); F: fraction argileuse fine (<0,2µm)  
T = trace. x = 5-15%, xx = 15-30%, xxx = 30-50%, xxxx = 50-70%, xxxxx = >70%.

Tableau 5: Analyse chimique totale des argiles des sols et des argiles de référence

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
<b>GHARB</b>							
----- % -----							
<b>Vertisol</b>							
M16	56,60	22,28	1,90	3,28	0,25	2,95	13,77
M17	58,49	22,67	2,04	2,59	0,13	2,81	11,77
M18	55,85	21,67	3,25	2,73	0,57	3,02	14,04
<b>Sol peu évolué sur alluvions argilo-calcaires</b>							
M19	52,14	24,33	1,64	2,60	1,98	1,74	12,81
M20	51,37	25,68	1,83	2,95	1,93	1,68	14,61
M21	54,87	21,85	2,12	2,00	2,08	1,43	15,67
M22	53,20	22,36	1,98	1,90	3,71	1,79	13,26
<b>Sol peu évolué sur alluvions limonocalcaires</b>							
M23	48,88	23,27	1,39	3,70	4,50	0,83	14,27
M24	54,34	25,51	3,21	2,62	2,51	1,34	10,16
M25	54,16	24,41	2,74	2,30	2,30	1,48	11,34
M26	54,30	24,71	4,04	2,17	2,37	1,54	12,20
<b>CHAOUIA</b>							
<b>Vertisol</b>							
M1G	54,10	20,52	6,23	6,64	0,48	3,17	8,86
M2G	57,85	19,36	6,67	1,90	0,61	3,16	10,43
M3G	55,03	20,36	7,62	3,59	0,82	3,21	8,57
M1F	52,12	24,51	6,12	3,41	0,69	3,39	9,75
M2F	53,13	24,65	5,12	2,72	0,54	3,25	10,60
M3F	51,71	21,91	6,31	4,50	0,61	3,17	11,82
<b>Maron vertique</b>							
M4G	53,61	20,65	7,14	3,74	0,65	3,35	10,85
M5G	54,36	21,74	5,47	3,45	0,29	3,16	11,52
M6G	61,52	15,80	6,23	1,81	0,00	2,79	11,81
M4F	51,68	23,31	6,99	3,31	0,05	3,77	10,87
M5F	51,07	24,83	6,58	3,54	0,52	3,86	9,60
M6F	55,35	20,14	4,10	2,51	0,00	3,14	14,75
<b>Maron vertique encroulé</b>							
M7G	54,85	21,00	4,41	4,10	0,36	3,05	12,22
M8G	55,49	17,41	7,45	2,72	0,00	3,06	13,86
M7F	48,90	25,97	5,56	3,21	0,36	3,10	12,88
M8F	55,03	20,85	4,66	2,50	0,82	2,97	13,19
<b>Rendzine</b>							
M10G	56,18	20,14	3,82	3,27	0,74	2,66	13,18
M10F	54,45	21,26	4,96	3,47	0,64	2,99	11,85
<b>Fersiallitique</b>							
M12G	58,57	21,87	4,54	4,01	0,00	1,24	12,00
M12F	56,41	24,43	5,12	3,54	0,00	1,86	9,02
<b>ARGILES DE REFERENCE</b>							
KGa-1	46,00	40,04	0,15	0,08	0,08	0,62	13,64
SWY-1	60,03	22,86	3,83	2,09	0,00	3,20	7,93
PF-1	57,4	12,12	2,34	12,4	0,00	2,33	20,97
VTX-1	37,63	23,77	0,20	22,18	0,10	5,70	10,73

G: fraction argileuse grossière; F: fraction argileuse fine

Tableau 6: Résultats de la quantification minéralogique par la méthode des bilans de masse pour les argiles totales (<2µm) des sols du Gharb.

Echantillon	Limites utilisées %	Nbre de solutions trouvées	Smectite		Vermiculite		Illite		Chlorite		Kaolinite		Quartz	
			%	ET‡	%	ET	%	ET	%	ET	%	ET	%	ET
<b>Vertisols (Tirs)</b>														
M16	99-101	41	74,4	7,2	-	-	1,5	0,9	-	-	14,5	4,6	9,6	4,4
M17	99-101	54	68,5	11,9	-	-	0,4	0,3	-	-	19,4	7,7	11,7	5,0
M18	99-101	100	75,7	6,5	-	-	5,1	1,8	-	-	12,2	4,7	7,0	3,0
<b>Sol peu évolué sur alluvions argilo-calcaires (Dehs lourds)</b>														
M19	99-101	15	37,0	13,8	20,0	15,3	18,2	6,1	11,8	3,8	5,7	4,4	7,3	4,4
M20	99-101	37	33,4	11,3	17,6	11,4	19,6	8,0	17,1	10,0	4,5	2,7	7,5	5,3
M21	95-105	16	23,7	11,1	19,2	8,0	25,1	7,5	8,9	5,7	5,7	3,9	17,4	2,3
M22	95-105	2	20,1	2,0	9,8	0,1	52,2	0,1	0,9	0,3	9,8	1,1	7,2	0,2
<b>Sol peu évolué sur alluvions limono-calcaires (Dehs légers)</b>														
M23	90-110	13	-	-	25,2	6,0	55,0	4,3	4,6	2,4	9,0	2,3	6,2	2,0
M24	99-101	33	25,6	12,3	10,2	9,6	33,9	5,5	13,0	8,9	5,7	3,6	11,5	3,9
M25	99-101	52	28,3	10,8	19,8	11,9	24,0	7,9	11,9	7,6	5,3	3,5	10,6	5,3

‡. Ecart-type

Tableau 7: Résultats de la quantification minéralogique par la méthode des bilans de masse pour les argiles des sols de la Chaouia.

Echantillon	Limites utilisées %	Nbre de solutions trouvées	Smectite		Vermiculite		Illite		Palygorskite		Chlorite		Kaolinite		Quartz	
			%	ET	%	ET	%	ET	%	ET	%	ET	%	ET	%	ET
<b>Vertisols (Tirs)</b>																
M1G§	99-101	137	82,2	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	8,5	4,6	9,3	3,8
M2G	98-102	52	75,5	4,0	-	-	-	-	7,8	3,8	-	-	3,1	2,0	13,6	2,8
M3G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M1F§	99-101	200	83,8	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	16,2	7,9	-	-
M2F	99-101	200	84,7	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	15,3	7,4	-	-
M3F	95-105	77	75,7	6,5	-	-	-	-	15,2	7,3	-	-	9,0	4,7	-	-
<b>Maron verticale (Tirs)</b>																
M4G	95-101	48	81,3	4,0	-	-	-	-	7,7	6,3	-	-	5,4	4,3	5,6	4,0
M5G	99-101	81	68,1	6,7	-	-	-	-	13,8	7,8	6,3	3,4	10,9	6,9	8,9	1,8
M6G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M4F	99-101	196	86,7	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	13,3	6,7	-	-
M5F	95-105	200	75,6	6,2	-	-	-	-	13,6	8,1	-	-	10,8	5,7	-	-
M6F	95-105	26	80,0	7,6	-	-	-	-	13,3	5,6	-	-	6,8	3,6	-	-
<b>Maron verticale entroulée (Tirs)</b>																
M7G	95-105	200	55,8	12,0	-	-	-	-	25,3	11,8	-	-	10,9	5,1	8,1	3,6
M8G	95-105	15	82,9	2,6	-	-	-	-	8,5	6,6	-	-	2,6	1,7	6,0	3,5
M7F	99-101	200	80,5	8,8	-	-	-	-	-	-	-	-	19,5	8,9	-	-
M8F	98-102	86	68,5	7,8	-	-	-	-	22,2	5,7	-	-	9,2	4,5	-	-
<b>Rendzine</b>																
M10G	95-105	200	58,4	10,4	-	-	-	-	33,6	8,3	-	-	8,0	4,4	-	-
M10F	98-102	16	90,9	5,4	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1	5,4	-	-
<b>Fersiallitique (Hrach)</b>																
M12G	95-105	181	-	-	35,8	20,0	43,5	19,4	-	-	-	-	4,8	0,4	15,8	4,1
M12F	95-105	200	-	-	29,4	20,1	50,2	19,1	-	-	-	-	7,5	5,1	12,9	3,7

§. G: fraction argileuse grossière (2-0,2µm); F: fraction argileuse fine (<0,2µm)

‡. Ecart-type



# OMMES, TERRE ET EAUX

*Revue Marocaine des Sciences et Techniques du Développement Rural*

Dépôt légal 21 - 1971

N° 94 - 95, JUIN 1994

## S O M M A I R E

**Comité de Rédaction :**  
Mohamed AIT KADI  
El Houcine BARTALI  
Abdellah BEKKALI  
Mohamed BESRI  
Fouad GUESSOUS  
Driss JELLOULI  
Ben Mohamed NAJEM

**Responsable de la Revue :**  
Mohamed DAOUDI

	Page
ASSEMBLEE GENERALE DE L'ANAFID - 1994 - RAPPORT MORAL A. BEKKALI	4
AMENAGEMENT HYDRAULIQUE AU MAROC : SITUATION ACTUELLE ET PROGRAMME NATIONAL DE L'IRRIGATION M. YACOUBI S.	11
GESTION DES GRANDS PERIMETRES IRRIGUES EN PERIODE DE SECHERESSE - CAS DE L'EPISODE 1991-93 T. BENCHOKROUN, M. EL KENASSI	29
REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE : IMPACT SUR LE SOL ET LA NAPPE DANS LA REGION DE SIDI BENNOUR E.K. LHADI, N. DAMNATI-ADIB, N. GUESSIR A. HANDOUFE, T. BENCHOKROUN	40
ANALYSE QUANTITATIVE DES MINERAUX ARGILEUX DES SOLS PAR LA METHODE DES BILANS CHIMIQUES ASSOCIEE A LA DIFFRACTION DES RAYONS-X R. BOUABID, M. BADRAOUI	57

ADRESSE ANAFID : 2, RUE HAROUN ERRACHID, AGDAL - RABAT  
☎ 67.03.20 / FAX 67.03.03