

# LE QUATORZIEME CONGRES DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE

## NOTE DE PRESENTATION

### I- INTRODUCTION

Le Quatorzième Congrès des Irrigations et du Drainage s'est tenu à Rio de Janeiro (Brésil) du 30 avril au 4 mai 1990. Cette manifestation a été précédée des réunions des Groupes de Travail et Comités de la Commission Internationale des Irrigations et du Drainage (CIID) tenues du 23 au 29 avril, et de la Quarante-et-Unième Réunion du Conseil Exécutif International le 29 avril 1990.

Les participants étaient au nombre de 425 représentant 48 pays et 11 organisations internationales. Grâce aux efforts conjugués du Comité National Marocain de la CIID (ANAFID) et de l'Amicale des Ingénieurs du Génie Rural (AIGR) une importante délégation marocaine composée de 30 cadres de l'Administration et d'Organismes publics et privés a pu participer à cette manifestation.

Ce Quatorzième Congrès a revêtu une solennité particulière puisqu'il a coïncidé avec la célébration du quarantième anniversaire de la CIID. Plusieurs activités commémoratives de cet anniversaire ont été organisées en marge du Congrès.

Les sessions techniques du Congrès ont traité des thèmes suivants:

- 1- **Question 42:** L'impact de l'Irrigation et du Drainage sur l'Environnement et en particulier pour ce qui est de leurs effets sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines;
- 2- **Question 43:** Le rôle de l'irrigation pour atténuer les effets des sécheresses;
- 3- **Session Spéciale:** Impacts socio-économiques et techniques des systèmes d'irrigation mécanisés;
- 4- **Symposium:** Programmation en temps réel des fournitures d'eau.

Cette note présente succinctement le contenu de chacun des thèmes et les conclusions et recommandations formulées à l'issue des discussions. Elle inclut également la liste des rapports qui ont été présentés. Le Maroc a contribué par cinq communications qui sont reproduites dans ce Numéro Spécial.

Le Discours Mémorial N.D. Gulhati pour la Coopération Internationale en Irrigation et Drainage a été présenté par W.R. Rangeleys, président honoraire de la CIID sur le thème "L'Irrigation à la Croisée des Chemins".

Les activités du congrès ont été également marquées par la tenue de la Quatrième Session Spéciale sur l'Histoire de l'Irrigation, du Drainage et de la Maîtrise des Crues et l'organisation d'une exposition internationale sur l'irrigation et le drainage. A l'issue du Congrès trois voyages d'étude ont été organisés à l'intention des participants.

II- LES SESSIONS TECHNIQUES DU CONGRES: CONTENU  
ET RESUME DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

II-1 Question 42: L'impact de l'Irrigation et du Drainage sur  
l'Environnement.

A) Contenu

L'irrigation et le drainage provoquent des changements de l'environnement au bénéfice de l'homme. Une telle démarche se traduit par des effets les uns bénéfiques et les autres nuisibles, et le but de l'auteur du projet est de parvenir à un maximum d'avantages face à un minimum d'effets néfastes.

Les effets négatifs ayant trait à l'environnement, qu'ils soient exercés par l'environnement sur l'aménagement ou par l'aménagement sur l'environnement, sont variés et difficiles à prévoir. Les impacts sur l'environnement ne sont pas seulement perçus à l'intérieur de l'aménagement, mais aussi à l'extérieur de celui-ci et parfois au-delà des frontières nationales. Les modifications de l'environnement concernent le milieu physique de la région, la diversité biologique de l'écosystème et la santé de la population. En constatant la diversité que revêtent les impacts sur l'environnement des aménagements hydroagricoles, les sessions du congrès s'attacheront particulièrement à l'examen des modifications des eaux superficielles et souterraines.

Si difficile soit elle, la prévision des impacts en matière d'environnement est un préalable indispensable pour toute action corrective efficace. La contribution première que la recherche peut apporter à l'amélioration de la qualité de prévisions relatives aux modifications de l'environnement porte sur trois domaines :

- l'exploitation systématique de l'expérience acquise antérieurement, sous une forme directement disponible pour s'y référer à l'avenir;
- l'acquisition régulière de données de surveillance à partir des aménagements existants pour fournir une information plus détaillée;
- le développement d'instruments et de procédures pratiques pour permettre aux concepteurs et aux projeteurs d'établir des prévisions plus étendues et plus objectives en exploitant le plus possible les données disponibles.

Des études de cas bien documentées, l'expérience d'une utilisation efficace des données de surveillance pour améliorer la qualité des prévisions, et la mise en oeuvre d'outils de prévision - qu'il s'agisse de modèles simples ou plus complexes - peuvent contribuer à l'établissement d'une base systématique de connaissances sur ce sujet.

Le développement d'instruments et de procédures pratiques pour prévoir les modifications du milieu physique est moins difficile que celui de procédures

évolutives pour prévoir des changements relatifs à la qualité de la vie humaine ou à la diversité des espèces vivantes dans l'écosystème. Cela n'affecte pas l'importance à accorder à ces effets autres que physiques sur l'environnement. Toute discussion sur les effets de l'irrigation et du drainage sur l'environnement ne saurait ignorer les facteurs biologiques, sociaux et économiques. Cependant l'accent mis sur certains aspects peut être modulé pour s'attacher plus en détail à certains d'entre eux. En conséquence, les sessions du congrès traiteront l'ensemble de la question en distinguant trois rubriques principales : l'impact de l'irrigation sur la qualité des eaux superficielles; l'impact sur la qualité des eaux souterraines; enfin l'impact sur la qualité de la vie.

## **1 Impact de l'irrigation sur la qualité des eaux superficielles**

- 1.1 Préviation des modifications de la qualité des eaux superficielles provoquées par l'irrigation. Modèles régionaux et systèmes-expert pour aider à la préviation, etc.
- 1.2 Rejet des eaux de drainage et, là ou cela est faisable, traitement en vue d'assurer une qualité acceptable pour les usagers d'aval.
- 1.3 Surveillance appropriée de la qualité et besoins minimaux de données pour une gestion efficace.
- 1.4 Etudes de cas permettant de faire ressortir la validité, ou s'il y a lieu les insuffisances, des techniques de préviation existantes et la bonne adaptation de la surveillance.
- 1.5 Influence des herbes sur les systèmes de transport et de drainage, moyens de prévoir leur effet, et mesures permettant de la maîtriser.

## **2 Impact de l'irrigation sur la qualité des eaux souterraines**

- 2.1 Préviation des modifications de la qualité des eaux souterraines résultant de l'introduction de l'irrigation, modélisation de la qualité de l'eau à l'échelle régionale, données nécessaires en portant une attention particulière à l'hétérogénéité des caractéristiques des sols. Il devrait être tenu compte notamment des aspects relatifs à la salinité des eaux d'irrigation et au lessivage des engrais et des produits phytosanitaires solubles.
- 2.2 Préviation des modifications du niveau phréatique à l'échelle régionale provoquées par l'irrigation et/ou le drainage, ainsi que de leurs effets sur l'environnement à l'intérieur et à l'extérieur de l'aménagement.
- 2.3 Répercussions des modifications de qualité des eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface en aval.
- 2.4 Effets de la qualité et du niveau des eaux souterraines sur la fertilité des sols à long terme.

- 2.5 Etudes de cas permettant de faire ressortir les succès et les échecs en matière de maintien des modifications de la qualité des eaux souterraines dans des limites acceptables.

### **3 Effets de l'irrigation et du drainage sur la qualité de la vie, en termes d'environnement**

- 3.1 Etudes de cas approfondies pour montrer : (a) les changements relatifs à la santé de la population provoqués par des aménagements d'irrigation et de drainage; (b) les dispositions relatives aux ouvrages et à l'exploitation, en ce qui concerne les effets de l'irrigation et du drainage sur la santé.
- 3.2 Etudes de cas susceptibles de mettre en évidence l'effet de l'irrigation sur la diversité des espèces vivantes dans l'écosystème, et méthodes applicables à sa prévision.
- 3.3 Etudes comparatives mettant en évidence les différences dans la vie sociale et économique de la collectivité régionale, entre les situations précédant et suivant l'introduction de l'irrigation ou de drainage.

## B) Résumé des Conclusions et Recommandations (\*)

### Point 1 : Impact de l'irrigation et du drainage sur les eaux de surface et les eaux souterraines

### Point 2 : Contrôle de qualité d'eau

1. Il est nécessaire d'améliorer les méthodes permettant de prévoir les conséquences de l'irrigation et du drainage sur la qualité de l'eau.

2. Il est nécessaire de se documenter sur l'expérience du passé.

3. Il est nécessaire d'améliorer le processus de la saisie et le suivi de données relatives aux projets existants d'irrigation et de drainage.

4. L'impact à long-terme de l'utilisation d'eau de basse qualité pour l'irrigation, doit être étudié et évalué. Des critères adéquats pour l'utilisation de telles eaux sont nécessaires.

5. L'ampleur de l'impact des activités agricoles sur la qualité de l'eau ne pourra être réduite que par l'amélioration des pratiques de management, lesquelles incluent invariablement des méthodes efficaces de contrôle des polluants éventuels à la source, comme par exemple l'amélioration des pratiques agricoles pour assurer moins de sédiments et une utilisation plus rationnelle des engrais chimiques et des pesticides - ce qui réduira la contamination de l'eau - et un traitement plus poussé des eaux usées des industries agro-alimentaires.

6. Il est nécessaire de consacrer plus d'efforts au développement et à la mise en oeuvre de pratiques agricoles

appropriées pour parvenir à une amélioration du contrôle de qualité de l'eau.

7. En raison de la résolution conjointe présentée par l'Inde et le Pakistan, la réalisation d'études de faisabilité est recommandée préalablement à la mise en oeuvre de chaque projet d'irrigation et de drainage, en vue de l'étude des impacts sur l'environnement.

### Point 3 : Impact de l'irrigation et du drainage sur la société

1. Les problèmes de l'environnement exigent un examen multi-facettes. Ceci, en raison de l'apparition de nouvelles associations pour le développement et l'amélioration de l'irrigation et du drainage. Celles-ci sont elles-mêmes une conséquence des préoccupations sociales concernant l'environnement. On trouvera ci-dessous quelques considérations et problèmes-clés qui exigent notre attention :

- . La protection contre les risques sanitaires tels que les maladies transmises par l'eau et les problèmes provoqués par la pollution de l'eau;
- . La réutilisation de l'eau de drainage et des eaux municipales et industrielles;
- . L'amélioration des efforts pour la préservation et l'optimisation des régions humides pour la protection de la faune et autres aspects bénéfiques;
- . L'amélioration des pêcheries dans nos installations d'irrigation et de drainage pour améliorer les régimes

(\*) Extrait des Actes du 14ème Congrès. CIID, vol II

alimentaires et réduire les coûts d'entretien;

L'amélioration de l'aspect esthétique des ouvrages associés aux projets d'irrigation et de drainage;

L'amélioration de la planification dans le but de prendre en compte les aspects culturels et sociaux et la préservation archéologique des sites, associés à la croissance résultant des projets d'irrigation et de drainage;

L'amélioration des projets dans les domaines traditionnels dont la destination initiale était la productivité en vue de contribuer au développement social et économique;

La revalorisation des systèmes en vue de faciliter l'utilisation efficace et effective de l'eau en cherchant à promouvoir la compréhension de l'usage adéquat de l'eau et l'applicabilité d'idées comme la programmation des irrigations à la demande, et l'usage conjoint de l'eau pour l'irrigation et la production d'électricité quand cela est approprié.

L'amélioration des techniques et des systèmes de surveillance des effets sociaux du développement des ressources hydriques.

2. Des méthodologies appropriées à ces questions ont été développées pour presque tous les points ci-dessus, mais dans la majorité de cas, les directives pour les études doivent être améliorées pour permettre une planification qui couvre d'une meilleure façon les multiples aspects de celle-ci.

Les méthodologies doivent être perfectionnées dans le but de :

l'utilisation de poissons pour con-

- trôler les mauvaises herbes;
- l'amélioration des zones humides pour permettre leur utilisation à des fins bénéfiques;
- l'amélioration de l'aspect esthétique des ouvrages;
- la réutilisation des eaux usées;
- la mise en place de systèmes de surveillance en ce qui concerne les effets sociaux des projets.

3. Les recherches prioritaires relatives à l'impact de l'irrigation et du drainage sur la société, doivent probablement inclure les mêmes points mentionnés ci-dessus en ce qui concerne la méthodologie. Ces recherches doivent aussi porter sur l'amélioration des connaissances au sujet des risques sanitaires, de l'utilisation appropriée de l'eau et la planification des ressources hydriques par rapport à la société.

4. Nous recommandons une planification minutieuse à facettes multiples qui comprennent tous les détails sur l'environnement, les aspects socio-économiques, hydrauliques et agricoles. Les institutions ont un rôle à jouer dans cette activité, et doivent accélérer la formation dans ce domaine pour traiter comme il se doit, les aspects sociaux et de l'environnement. Ces efforts ne doivent pas négliger l'interaction au niveau des exploitations agricoles, car les systèmes développés à leur intention ont un impact direct sur la société.

#### Point 4 : Etude de cas et modèles

1. Avoir une meilleure évaluation des coûts socio-économiques des mesures nécessaires à la protection de l'environnement contre les impacts négatifs de l'irrigation et du drainage.

2. Réfléchir davantage aux moyens de financement de ces mesures et à la répartition des coûts correspondants.

3. Développer une approche et une méthode d'ingénierie pour le génie

II-2 Question 43: Le rôle de l'irrigation pour atténuer les effets des sécheresses.

A) Contenu

Les sécheresses, ou les périodes prolongées durant lesquelles la pluviométrie ou les débits des cours d'eau s'abaissent de façon significative au dessous des valeurs prévues localement par les analyses statistiques à long terme, constituent partout un risque pour les communautés agricoles. Leur apparition, leur persistance et leur sévérité sont très variables, et les réponses appropriées des autorités responsables à ce problème sont tout aussi diverses.

Il est nécessaire de formuler les politiques capables de protéger contre les effets des sécheresses aussi bien en matière de préparation des projets que dans le domaine de l'exploitation. Au stade des études, il est nécessaire de prévoir des dispositions permettant de résister aux degrés de sécheresse qu'il est possible de prédire à partir des statistiques hydrologiques locales, dans ses conditions raisonnables de vraisemblance. Des politiques d'exploitation des aménagements sont d'autre part nécessaires, afin que les quantités d'eau réduites qui sont disponibles en cas de sécheresse soient utilisées de façon équitable et en vue d'une production maximale. De telles contraintes devraient être acceptées par les agriculteurs dès les premières étapes de la mise en oeuvre des projets, afin d'éviter des conflits et les fraudes susceptibles de se produire. Cela peut justifier un choix entre des solutions constituant des variantes, sur la base de critères socio-économiques, et également, si cela paraît appropriée, une participation des agriculteurs à l'élaboration des politiques relatives aux sécheresses dès le stade des études.

L'irrigation est importante en période de sécheresse, mais elle n'est pas toujours un facteur capable d'en atténuer les effets. A titre d'exemple, les aménagements par dérivation au fil de l'eau ou alimentés par des eaux souterraines, sont vulnérables vis-à-vis des déficits d'approvisionnement en eau en période de sécheresse, et leurs apports peuvent être affectés de ce fait par d'importantes fluctuations. Par contre les aménagements fondés sur un stockage de l'eau permettent de régulariser la production agricole face aux variations des précipitations, ou au moins d'en assurer un niveau minimum. A l'échelle macroéconomique d'une politique nationale, toute évaluation relative à l'irrigation doit tenir compte de sa contribution à la stabilité économique et à la sécurité alimentaire, ainsi qu'à la solution des situations critiques des cas d'urgence.

Récemment, la persistance imprévue des sécheresses dans certaines parties de l'Afrique a concentré sur ce fait les préoccupations de la Communauté Internationale. Cependant, dans le même temps, les conséquences pour les hommes des sécheresses en Asie du Sud ont été fortement réduites. L'irrigation a joué un rôle important dans cette diminution des effets des sécheresses en Asie, et bien des leçons peuvent être tirées des politiques de résistance aux sécheresses qui y ont été appliquées.

A notre époque, il existe des raisons de s'attendre à ce que les données statistiques hydrologiques relatives à certains régions, en matière de pluviométrie aussi bien que d'écoulement, connaissent des modifications. Cela

peut provenir d'évolutions naturelles à long terme, qui peuvent inclure l'extension des déserts, ou bien de processus provoqués par l'homme, tels que la déforestation et les teneurs croissantes de l'atmosphère en gaz carbonique. Les effets de la plupart de ces évolutions sont encore mal connus aujourd'hui, et ils n'impliquent pas tous nécessairement une diminution des ressources en eau utilisables ou un accroissement de l'évapotranspiration. Cependant les ignorer pourrait aussi avoir de sérieuses conséquences.

Les sessions du congrès porteront donc sur le thème général de la question en distinguant trois aspects principaux : les études préalables en vue de résister aux effets des sécheresses, compte tenu des régimes climatique et hydrologique statistiquement observés à présent; la mise en évidence des tendances en voie de modification dans l'évaluation statistique des climats et des données hydrologiques, et l'expression des réponses qui peuvent y être apportées.

Les rapports se référeront aux sous-thèmes ci-après :

## **1 La préparation aux situations de sécheresse**

- .1.1 Le choix et l'utilisation des données statistiques hydrologiques dans les études préalables à l'irrigation.
- 1.2 Les effets macroéconomiques de l'irrigation
- 1.3 Stratégies en matière de choix des cultures et de fourniture de l'eau adaptées aux situations comportant un risque de sécheresse.
- 1.4 Stratégies adaptées aux situations comportant un risque de sécheresse, en matière de conception technique des équipements d'irrigation, en tenant compte, entre autres, d'une réponse correcte des réseaux et des ouvrages de commande de régulation à des conditions variables d'alimentation en eau et de débits.
- 1.5 Etudes de cas sur l'application d'une politique d'irrigation comme moyen d'atténuer les risques imputables aux sécheresses et de régulariser la production agricole.

## **2 L'exploitation des aménagements d'irrigation en période de sécheresse**

- .2.1 Elaboration et mise en application de règles d'exploitation et de procédures de gestion en vue d'une répartition équitable des risques, y compris l'utilisation de modèles de simulation probabilistes dans la gestion et/ou l'exploitation des réservoirs de stockage et des nappes souterraines, dans le but d'optimiser les prélèvements, en fonction des risques de sécheresse prévisibles ainsi que des politiques adoptées pour y faire face.
- 2.2 Prévention et règlement des conflits en situation de sécheresse.

- .2.3 Méthodes permettant d'atteindre une productivité maximale de l'eau en période de pénurie de cette ressource.
- 2.4 Rôle des prévisions météorologiques à moyen terme dans la prédiction de l'intensité et de la durée des sécheresses.

### **3 Tendances climatiques et hydrologiques et leurs conséquences en matière de politiques d'irrigation**

- .3.1 Modifications des bassins versants, et leur influence sur l'ampleur et la durée des très basses eaux dans les rivières et les systèmes d'irrigation.
- .3.2 Tendances en matière de paramètres météorologiques et climatiques : démonstration des changements antérieurs, et des prédictions des évolutions futures.
- .3.3 Rôle de l'irrigation et sa capacité à s'adapter aux changements des variables hydrologiques, (y compris la qualité de l'eau) en particulier dans les zones vulnérables telles que les confins des déserts et les régions semi-arides.

## B) Résumé des Conclusions et Recommandations (\*)

### 1. Introduction

Les débats au Congrès n'étaient pas riches car les sujets qui n'étaient pas bien traités dans les rapports, n'ont pas recueilli l'attention qu'il fallait leur donner. Les points ci-dessous font référence aux titres donnés dans le Rapport Général. Les conclusions du Rapporteur Général sont données à la suite.

### 2. Sécheresse

#### 2.1 Définitions

Il est nécessaire de donner la définition de la sécheresse en même temps que celles des autres régimes xériques. Les débats au Congrès n'ont pas donné lieu à un désaccord sur les définitions proposées par le Rapporteur Général. Ils n'ont pas non plus abouti à un accord précis. Il a fallu donc proposer les définitions suivantes pour discussions aux réunions des Groupes de Travail et Comités de la CIID.

la sécheresse est un déséquilibre temporaire des disponibilités en eau, d'origine naturelle, et consistant en des précipitations persistant en dessous de la moyenne, avec fréquence, durée et sévérité incertaine, d'occurrence imprévisible, avec diminution généralisée des ressources hydriques et de la capacité de réserve et de transport de l'écosystème;

l'aridité est un déséquilibre permanent des disponibilités en eau, d'origine naturelle, et consistant en précipitations de basse moyenne annuelle et très forte variation spatiale et temporelle, avec humidité réduite de façon généralisée, des variations extrêmes de la température et basse capacité de réserve et de transport;

la désertification est un déséquilibre permanent des disponibilités en eau à origine humaine, avec endommagement du sol, réduction de l'utilisation du sol, surexploitation des eaux souterraines, augmentation des crues rapides, perte des écosystèmes riverains et détérioration de la capacité de réserve et de transport;

la pénurie d'eau est un déséquilibre temporaire des disponibilités en eau, d'origine humaine, et il en résulte en des abaissements des nappes souterraines, des réductions des capacités des réservoirs, des changements et des réductions dans l'utilisation du sol et des altérations des capacités de réserve et transport.

#### 2.2 Caractérisation des sécheresses, des indices de sécheresse

Les paramètres et les indices proposés au Congrès n'ont pas été considérés comme étant totalement appropriés. Il s'agit ici d'un domaine où les améliorations sont nécessaires pour caractériser la sécheresse, mieux évaluer leurs impacts, et permettre de formuler les mesures et la politique de contrôle.

Il est nécessaire d'entreprendre d'autres recherches surtout pour définir et adopter les indices qui ne concernent pas spécifiquement le lieu (en dépit de certaines caractéristiques de sécheresses qui concernent spécifiquement le lieu).

### 3. Préparation aux sécheresses

#### 3.1 Prévision des sécheresses et avertissement préalable

Il a été constaté que les prévisions de sécheresse constituent la lacune

(\*) Extrait des Actes du 14ème. CIID, vol II.

principale des connaissances, sur laquelle il est nécessaire d'entreprendre une recherche intensive.

Quelques membres experts du panel ont constaté qu'il existe, s'il y en a, très peu de systèmes d'avertissement adéquats pour l'agriculture irriguée, qui utilisent l'eau déviée directement d'une rivière. Là où le stockage fournit une bonne part d'eau d'irrigation, des systèmes d'avertissement sont disponibles, qui sont utiles pour la planification des cultures. Cependant, d'autres membres ont constaté que, malgré les progrès dans le domaine de réseaux hydrométéorologiques et agrométéorologiques, ainsi que dans l'utilisation de techniques stochastiques, les besoins d'une recherche sont fortement ressentis pour faire du système d'avertissement un système efficace et utile pour la culture, la gestion de fourniture d'eau et le processus de décision.

### 3.2 Amélioration de la capacité de stockage et de transport

De nombreux exemples ont été présentés au Congrès, mais qui en général n'étaient pas spécifiquement destinés à la sécheresse. Dans certains cas, des améliorations ont été apportées aux facilités existantes, qui permettent de résoudre les problèmes de sécheresses; ceci est donc devenu des traits permanents du système. Certains ont envisagé la nécessité d'apporter des améliorations aux études des problèmes sociaux, économiques et d'environnement qui concernent spécifiquement le contrôle des impacts de la sécheresse et la gestion de sécheresse.

### 3.3 Gestion de fourniture d'eau

Un grand nombre d'exemples ont été présentés. L'importance a été soulignée, de gestion de fourniture pendant les sécheresses. Cependant, on est arrivé à aucun accord sur la nécessité d'autres développements pour que l'application

des techniques récentes de planification et de gestion, aux systèmes d'irrigation, devienne disponible à partir des recherches sur le développement des ressources en eau.

### 3.4 Stratégies pour la gestion des cultures irriguées

Le panel a constaté qu'en matière de gestion de sécheresse, la réponse la plus appropriée aux conditions de sécheresse était la gestion de méthode de culture. L'importante question qui n'a pas été généralement reconnue dans les rapports, est la nécessité d'impliquer les fermiers et le personnel local du champ, dans la libre diffusion des informations, pour donner lieu à des réponses encourageantes. Le panel a reconnu qu'avec les méthodes de culture appropriées, l'intensité des cultures ne peut être affectée considérablement.

Le Rapporteur Général estime que ce thème n'a pas été suffisamment traité car il n'y avait aucun rapport sur la conception des méthodes de culture et l'utilisation des variétés tolérantes à la sécheresse, alors que les sujets tels que la planification des irrigations avec déficits hydriques admissibles, l'adoption des pratiques de conservation de l'eau, l'adoption des techniques d'irrigation, l'utilisation des théories de risque et de décision, n'ont été signalés que dans le cadre des références générales.

### 3.5 Gestion des ressources en eau à la ferme

Ce thème n'a pas été couvert de manière suffisante, un seul rapport traitant ce sujet. Mais les techniques y relatives étaient considérées comme étant d'une grande importance pour faire face à la sécheresse.

## 4. Irrigation pendant la sécheresse

### 4.1 Gestion de fourniture d'eau dans les systèmes d'irrigation

Les rapports ont présenté un grand

nombre d'exemples. Le sujet n'a pas été profondément discuté malgré l'importance de certains aspects tels que les changements dans la programmation de fourniture, l'allocation d'eau et la tarification de l'eau.

#### 4.2 Irrigation à la ferme

Les rapports ont couvert des nombreux moyens et systèmes pour améliorer l'utilisation des systèmes de distribution d'eau existants, l'augmentation de fourniture d'eau et l'irrigation à la ferme durant les périodes de sécheresse. Il convient d'impliquer les fermiers dans le processus de prise de décision par le moyen d'informations et de formation.

Le Rapporteur Général a constaté que ce thème est extrêmement pauvre, presque rien n'a été dit concernant les programmations de l'irrigation dans les conditions de sécheresse. Aucun détail n'a été donné sur le réseau agrométéorologique ou sur les programmes de contrôle d'eau souterraine. Rien n'a été signalé concernant l'amélioration, alors qu'une mention a été tout juste faite, des méthodes d'irrigation et des pratiques agricoles.

#### 4.3 Mesures d'urgence

Les sécheresses ne sont pas des phénomènes non communs. Ainsi, les pays devraient avoir un plan au préalable pour faire face à la situation quand elle se produit. Cependant, un seul rapport a traité ce sujet. Le sujet n'a pas été donc traité d'une manière suffisante.

#### 4.4 Evaluation de l'irrigation pour atténuer la sécheresse

L'irrigation a joué un rôle dans l'atténuation de l'impact des sécheresses, mais a eu un grand impact dans les pays qui disposent d'un grand pourcentage de superficie irriguée. L'irrigation a le potentiel de réduire l'impact mais sa performance n'était pas toujours telle qu'anticipée.

Le rapport présenté dans le cadre de ce sujet, ne concerne pas l'évaluation de l'irrigation pour atténuer les sécheresses, mais les impacts économiques, sociaux et écologiques de sécheresse. D'autres développements sont nécessaires.

#### 5. Tendances climatiques et hydrologiques

Au cours de la dernière décennie, la pluviosité a changé dans les hémisphères nord et sud. Il est nécessaire d'entreprendre d'autres enquêtes pour savoir s'il s'agit d'un changement climatique permanent. Mais s'il s'agit d'un changement permanent, cela peut créer des problèmes majeurs partout dans le monde.

Il existe un problème sérieux. Ce sont le manque de données climatiques et hydrologiques fiables et utilisables, et l'échange d'informations entre les pays. D'autres travaux qui doivent être entrepris par cette organisation devront permettre de recueillir ces données et d'en procéder à un échange.

Selon le Rapporteur Général, le sujet "Tendances climatiques et hydrologiques" n'a été traité que dans le cadre d'échauffement des serres. D'autres approches des régions spécifiques susceptibles d'être atteintes par les sécheresses ou les évaluations de l'impact climatique n'ont pas été présentées, mais les développements dans ces régions seront d'un grand intérêt pour permettre à la communauté d'irrigants de réfléchir sur la tendance future.

#### 6. Conclusions

Les rapports présentés au Congrès répondent très peu aux espérances signalées par l'exposé du thème; bien qu'un large éventail de situations aient été couverts, une bonne part de questions n'ont pas été traitées ou elles ont été traitées de manière qui répond très peu à nos exigences. Cependant,

ces contributions nous permettent de tirer des conclusions dans le cadre de nombreuses perspectives.

Les controverses qui se produisent généralement concernant le concept de sécheresse, la définition et les aspects caractéristiques de la sécheresse sont également évoqués dans les rapports présentés. Compte tenu du fait que la clarification des concepts peut aider à mieux traiter les problèmes et les réponses, le désaccord identifié peut être utilisé pour améliorer les discussions et donner des éclaircissements sur ces sujets.

Concernant les aspects caractéristiques de la sécheresse et l'utilisation des indices de sécheresse, il est évident qu'il est nécessaire de faire d'autres recherches en cette matière, y comprise l'utilisation de telles méthodologies dans le cadre d'une perspective dynamique.

L'analyse des "préparatifs pour la lutte contre la sécheresse" indique que les mesures envisagées avec l'aide des "équipements" sont bien traitées, la bonne part des rapports présentant un large éventail de solutions techniques pour l'augmentation de capacité. Par contre, de nombreuses lacunes ont été constatées pour ce qui concerne les préparatifs en matière de "logiciel". Nous avons très peu de connaissance sur la prévision de sécheresse et de sa durée ou sur les méthodes d'avertissement préalable. Il est nécessaire d'apporter d'autres améliorations au management des réseaux d'irrigation afin d'atténuer la sécheresse, et également aux stratégies de management des cultures irriguées.

Des progrès<sup>1</sup> considérables ont été remarqués dans divers domaines où aucune solution nouvelle n'a été présentée au Congrès : capacité des plantes de supporter les conditions défavorables, ou tolérance des plantes, modélisation des cultures compte tenu des sécheresses et des déficits en eau, techniques de management du sol pour

la conservation d'eau, stratégies de management de culture pour faire face à la sécheresse. Il est également évident<sup>(2)</sup> que les développements en matière de management d'irrigation dans les conditions de déficit en eau, de techniques d'irrigation pour l'utilisation économique de l'eau, et d'amélioration du management des systèmes d'irrigation peuvent contribuer

de manière significative aux efforts consacrés à la lutte contre la sécheresse. Ainsi, dans de tels sujets, le fossé à combler est celui qui existe entre la recherche et la pratique d'ingénierie, entre les chercheurs et les maîtres d'ouvrage, et celui qui existe entre les disciplines qui concernent la production agricole.

La bonne part de discussions sur ces questions ne devrait donc pas être orientée vers des problèmes particuliers, mais vers les stratégies à mettre en place pour assurer une communication entre les chercheurs, les ingénieurs, les maîtres d'ouvrage, les agronomes et les hydrologiciens pour la diffusion et l'application des informations sur les récents développements, pour l'amélioration du savoir-faire des professionnels en matière d'irrigation. Et ceci a pour but de passer aux exploitants agricoles les informations dont ils ont besoin pour faire face à la sécheresse.

L'analyse du sujet "irrigation au moment de la sécheresse" révèle une sorte de savoir-faire résiduel avec très peu d'innovations mais avec une large application des solutions d'urgence, tous les deux dans le management des réseaux d'irrigation et dans l'irrigation à la ferme. Ainsi, les commentaires et la proposition sus-visés s'appliquent à cette situation.

L'évaluation de l'atténuation de sécheresse est un domaine où sont présentées très peu de solutions innovatrices. Les mêmes efforts conjugués des ingénieurs, agronomes, économistes, sociologues et experts

en matière écologique, sont nécessaires effets de la sécheresse et des contre-mesures.

Le sujet "tendances climatiques et hydrologiques" a été seulement traité dans le cadre des effets d'échauffement des serres. Bien d'autres points n'ont pas été traités, relatifs aux régions susceptibles d'être atteintes par la sécheresse, et à l'évaluation des effets du climat; mais les développements<sup>(3)</sup> dans ces domaines seraient d'un grand

intérêt et permettraient à la communauté des irrigants de réfléchir sur les tendances futures.

Cette étude suscite des enquêtes finales telles que les suivantes : Qu'est ce que nous savons au sujet des sécheresses? Est-ce que cette réunion reflète vraiment nos connaissances? Pourquoi ce forum, dans un pays où les sécheresses posent des problèmes, n'a-t-il pas attiré de larges contributions et les spécialistes d'autres disciplines?

### **A) Contenu**

L'irrigation mécanisée est constituée par les systèmes qui mettent en oeuvre des dispositifs automatiques et des moyens mécaniques pour l'arrosage et/ou pour les déplacements du système. La mécanisation des systèmes d'irrigation est intervenue rapidement à partir de 1950, donnant lieu à des conséquences notables sur l'agriculture irriguée. La mécanisation de l'irrigation par ruissellement s'est développé de façon limitée dans quelques régions ou pays. Les effets les plus étendus de la mécanisation ont été dûs, pour l'essentiel, au développement des machines à pivot ou à translation, des rampes latérales mobiles sur roues, des canons d'arrosage de type tracté, à enrouleur ou en remorque, ainsi que des systèmes d'arroseurs en couverture totale à commande automatique.

La mécanisation a fortement réduit les besoins en main d'oeuvre de l'irrigation par rapport à ceux des méthodes manuelles plus traditionnelles, et a accru la capacité des agriculteurs à appliquer uniformément une dose d'eau déterminée. Elle a rendu faisable la mise en oeuvre de vastes étendues de terres incultes, et a permis l'irrigation de grandes superficies de terres cultivées qui ne pouvaient pas en bénéficier antérieurement, par les méthodes d'arrosage superficiel, du fait de leur topographie. Au sein de l'exploitation agricole, une utilisation rationnelle de l'irrigation mécanisée nécessite souvent des modifications notables de l'affectation des terres, de la taille et de la forme des parcelles ou encore du choix des systèmes de culture. Dans un contexte collectif, des adaptations des réseaux publics d'irrigation peuvent être nécessaires en fonction du type d'équipement mécanisé choisi en matière de critères de conception et d'exploitation des projets. L'objectif de la Session Spéciale sera de mettre en évidence les avantages de l'irrigation mécanisée et d'identifier les problèmes ou les effets négatifs, ainsi que les approches permettant de les limiter.

Les auteurs sont invités à envisager un ou plus plusieurs des aspects exposés ci-après, pour ce qui concerne l'irrigation mécanisée, sans que cette liste soit limitative.

## **1. Aspects socio-économiques**

- a) Coût de l'irrigation mécanisée vis-à-vis de celui des méthodes traditionnelles;
- (b) Effets de la mécanisation sur les pratiques culturelles et le revenu de l'exploitation agricole;
- (c) Conséquences pour la collectivité concernée;
- (d) Création d'emplois nouveaux (et de nouveaux marchés) dans les domaines de la fabrication et de la commercialisation;
- (e) Implications en matière de commerce internationale et de compte en devises;
- (f) Aspects énergétiques en termes de consommation, de coûts et de disponibilité.

## **2. Main d'oeuvre**

- (a) Besoins en main d'oeuvre de l'irrigation, comparaison entre pratiques mécanisée et traditionnelle;
- (b) Capacité de gestion et qualification professionnelle pour la conduite des machines d'irrigation, systèmes de commande, calculateurs, vannes automatiques et autres organes;
- (c) Bilan de l'emploi, entre suppressions et créations.

## **3. Aspects techniques**

- (a) Avantages et désavantages de l'irrigation mécanisée;
- (b) Application dans les pays en développement;
- (c) Besoins supplémentaires de recherche en fonction des nouveaux problèmes posés par la mécanisation;
- (d) Aspects relatifs à la gestion de l'exploitation agricole et du système d'irrigation;
- (e) Programmation de l'irrigation et gestion énergétique;
- (f) Mise en oeuvre de technologies issues d'autres domaines;
- (g) Développement des industries nationales d'équipement pour l'irrigation.

## **4. Aspects agronomiques**

- (a) Qualité et rendement des cultures;
- (b) Précision des arrosages;
- (c) Spécialisation des cultures;
- (d) Emplois particuliers, tels que l'épandage d'effluents, la fourniture d'engrais, herbicides et produits phytosanitaires au moyen des dispositifs d'irrigation.

## **5. Utilisation et mise en valeur du sol et des eaux**

- (a) Uniformité et efficacité des arrosages;
- (b) Aspects relatifs à la gestion des eaux;
- (c) Impact sur les eaux souterraines de la mécanisation, par voie de pollution diffuse ou d'incitation à la surexploitation;
- (d) Occupation et mise en valeur des terres.

## B) Résumé des Conclusions et Recommandations (\*)

### Résumé

1. Le développement de l'irrigation mécanisée a été surtout le fait du secteur privé. Dans beaucoup de cas, ce développement a été induit par un manque de main d'oeuvre ou par le renchérisement du coût de cette main d'oeuvre.

2. Le rôle des gouvernements, surtout dans les pays en voie de développement pour l'introduction et l'extension de cette irrigation mécanisée est très important. Le développement de cette mécanisation est très important. Le développement de cette mécanisation est liée aussi bien à des considérations technologiques qu'à des mesures institutionnelles et à un environnement politique.

3. Les systèmes d'irrigation de surface, aussi bien que les systèmes de pression peuvent souvent être mécanisés et bénéficier de cette mécanisation.

### Avantages de la mécanisation de l'irrigation

1. Meilleure distribution de l'eau et plus grand efficacité du système;

2. Possibilités d'extension des aires irriguées selon la nature des sols, les conditions topographiques et les volumes d'eau disponibles;

3. Possibilités d'améliorer autant la gestion de l'eau que son économie;

4. Possibilités d'apport uniforme et précis de fertilisants et des produits de traitement avec l'eau d'irrigation;

5. Dans les pays où il y a un manque de main d'oeuvre, ou dans lesquels cette main d'oeuvre coûte cher, réduc-

tion de la main d'oeuvre pour la conduite de l'irrigation.

### Inconvénients de la mécanisation de l'irrigation

1. Coûts d'investissement et d'exploitation élevés;

2. Plus grand besoin en main d'oeuvre qualifiés pour assurer l'installation, l'exploitation et la maintenance appropriées des systèmes d'irrigation ainsi que la gestion du régime agricole modifié.

3. Dépendance vis-à-vis de l'étranger (Importation) pour l'acquisition des composants de la mécanisation, y compris les pièces de rechange dans le cas de faible développement industriel et technologique du pays du projet;

4. Diminution de l'emploi de main d'oeuvre dans les pays en développement, quoique l'importance de main d'oeuvre requise suite à l'augmentation de production puisse compenser partiellement ou entièrement cette diminution.

5. Augmentation du besoin en énergie, et dépendance accrue des fournitures d'énergie.

### Conclusions

1. L'adoption et l'extension de l'irrigation mécanisée ainsi que les types adéquats de la mécanisation sont liées aux systèmes économiques des pays des projets, et dépendent du niveau de développement économique et social de ces pays;

2. Il est peu judicieux de généraliser sur les possibilités de mécanisation de l'irrigation d'un pays à l'autre, ou d'une région à l'autre. Des systèmes d'irrigation peuvent être développés et adaptés à chaque cas de figure; des systèmes sophistiqués peuvent être mis en oeuvre pour la production de cultures très rémunératrices même dans les pays en développement; mais des systèmes

(\*) Extrait des Actes du 14ème Congrès. CIID, vol II

moins compliqués ont plus de chances de succès;

3. Le développement de la mécanisation de l'irrigation de surface devrait présenter un grand intérêt pour les pays en développement pour l'amélioration de l'efficacité des systèmes d'irrigation de surface.

#### Recommandations

1. Avant l'introduction de la mécanisation de l'irrigation, ou son extension à grande échelle, une analyse approfondie et des études détaillées doivent être entreprises pour dégager les effets de cette mécanisation sur :

(a) Les besoins en main d'oeuvre (baisse ou augmentation de ces besoins) en liaison avec l'économie régionale ou nationale;

(b) la demande de l'énergie en liaison avec l'exploitation du système et les coûts de production et pressurisation de l'eau d'irrigation; fiabilité d'approvisionnement en eau et énergie;

(c) Les besoins en pièces de rechange pour la maintenance du système. Les projets de mécanisation ont plus de chance de réussite si l'industrie locale, régionale ou nationale possède les capacités de production des pièces de rechange nécessaires à la maintenance du système;

(d) La diversification des cultures en rapport avec la politique nationale visant, soit l'autosuffisance alimentaire, soit le développement des exportations de produits agricoles;

(e) Les besoins en formation des techniciens et opérateurs en vue de la mise en place et de la maintenance des systèmes mécanisés.

2. Les pouvoirs publics dans les pays en voie de développement devront

encourager la recherche-développement en matière de mécanisation de l'irrigation de surface en vue de l'amélioration de l'efficacité des systèmes en place;

3. Une évaluation de l'efficacité de chaque système mécanisé doit être entreprise dans les conditions d'exploitation du projet afin d'évaluer l'amélioration apportée par le système mécanisé en comparaison avec l'amélioration escomptée;

4. Les systèmes mécanisés doivent être adaptés au potentiel technologique des usagers en vue de l'utilisation efficiente et continue de ces systèmes; cette adaptation doit être entreprise avant la mise en oeuvre du projet. Une attention soutenue devrait être donnée au changement des pratiques agronomiques telles que l'introduction des variétés des cultures, l'élimination des plantes nuisibles, la fertilisation etc. afin de pouvoir tirer des avantages maximum à partir des régimes d'eau améliorés.

5. Les moyens nécessaires (financiers et institutionnels) doivent être mis en place par les pouvoirs publics pour permettre aux exploitants d'accéder au crédit pour le financement de leurs projets de mécanisation.

[Les participants au XIVème Congrès International des Irrigations et du Drainage (Session Spéciale) recommandent aux instances de la CIID :

De poursuivre, lors des prochaines manifestations scientifiques et techniques de la Commission, l'étude de la question de mécanisation de l'irrigation et de ses effets sociaux, économiques, techniques et technologiques, donnant une attention particulière aux problèmes qui n'ont pas été couverts d'une façon appropriée durant le présent Congrès.]

A) Contenu

L'efficacité du transport et de la distribution de l'eau par la plupart des réseaux d'irrigation peut être améliorée. Il en résulte deux avantages primordiaux : une plus grande quantité d'eau est rendu disponible pour la fourniture au champ, et une moindre quantité réellement l'aquifère ou doit être évacuée par le réseau de drainage. En raison de ces avantages, une attention toute particulière a été et sera à l'avenir portée aux stratégies d'amélioration de l'efficacité du transport et de la distribution.

De nombreuses stratégies peuvent être mises en oeuvre pour améliorer l'efficacité de l'usage de l'eau, toutes devant être une combinaison de l'amélioration physique des réseaux et d'une modification correspondante des procédures d'exploitation. En raison des lourds investissements entraînés par la modernisation des canaux, des conduites et des ouvrages qui s'y associent, des méthodes capables de réduire les pertes imputables à la gestion des réseaux d'irrigation sont en cours d'élaboration. Le développement des réseaux de transmission de données en temps réel et des microordinateurs, ainsi que l'établissement de modèles mathématiques s'appliquant aux systèmes de régulation hydraulique ont ouvert la voie d'une méthode peu coûteuse pour améliorer l'efficacité avec laquelle les réseaux peuvent fournir l'eau aux usagers selon leurs besoins.

L'objet du symposium est d'attirer l'attention sur cette méthode prometteuse. Les auteurs sont invités à traiter des aspects suivants :

1. Description des systèmes d'irrigation comportant une programmation en temps réel des fournitures d'eau nécessaires.
2. Niveau de gestion nécessaire et degré de coopération des usagers.
3. Techniques d'acquisition de transfert et de traitement des données pour:
  - 3.1 Evaluation en temps réel ou prévision à court terme des besoins en eau des cultures;
  - 3.2 Fonctionnement des réseaux d'irrigation (débits, niveaux d'eau, pressions dans les conduites).
4. Modèles mathématiques applicables aux systèmes de régulation des débits.
5. Description de systèmes de régulation des débits, y compris par télécommande.

## B) Résumé des Conclusions et Recommandations

Les 12 rapports présentés au Symposium du 14ème Congrès International de la CID sont intéressants par la variété :

Des situations et des types de projets considérés;

Des conditions de rassemblement, de traitement et d'utilisation des données;

Des combinaisons de l'utilisation des interventions manuelles et automatiques.

Les rapports montrent bien pourquoi la gestion de l'eau en temps réel peut être utilisée pour :

Flexibilité à la distribution de l'eau, et adaptation au changement permettant de répondre à la diversification du service de l'eau liée à la diversification des cultures;

Suppression (ou allègement dans les projets existants) des inconvénients de la distribution de l'eau en rotation selon une programmation rigide qui, d'une part ne permet pas généralement de satisfaire aux exigences d'une distribution équitable et gaspille de

l'eau en dehors des périodes de besoins de pointe, et, d'autre part est de plus en plus mal acceptée par les agriculteurs;

Service de l'eau plus faible ajusté au plus près, selon le cas, soit à la demande des cultures, soit au comportement des usagers et aux conditions de la production agricole, soit au rationnement de l'eau dans les projets conçus avec des disponibilités d'eau limitées par rapport aux surfaces irriguées, soit à une politique de restriction saisonnière ou interannuelle en périodes de sécheresse aléatoire.

Un Rapport décrit des applications réalisées sur des anciens périmètres d'irrigation pour moderniser la gestion des irrigations traditionnelles par rotation en étapes successives qui donnent une plus grande flexibilité à la distribution. Les solutions de ce type sont relativement modestes mais loin d'être négligeables. Leur coût est admissible pour des petites associations traditionnelles d'agriculteurs.

Par contre, on ne peut pas dire que les rapports ont suffisamment analysé l'impact, les avantages et les points inconvénients de la gestion en temps réel sur les points suivants :

Du point de vue technique, il s'agit de la plus grande complexité des études du projet. Les rapports ne montrent pas non plus dans quelle mesure le système satisfait mieux les besoins et les appels de débit imprévus, quels sont les risques de défaillances acceptables et à qui on fera supporter ces risques.

Du point de vue de l'organisation de l'Agence d'irrigation responsable, et de la formation de ses personnels, du point de vue des agriculteurs et des relations entre ces derniers et l'Agence.

Enfin les coûts et la rentabilité de l'introduction du temps réel ne sont pas abordés.

Toutefois un Rapport indique que sur la base de 3 années de gestion en temps réel, l'efficacité du transport est passée de 0,6 à 0,85 et le mètre cube d'eau économisé coûte 10 fois moins que le stockage de ce mètre cube d'eau dans un nouveau barrage qu'il aurait fallu construire.

Le temps réel fait partie de l'amélioration des méthodes et des procédures du management global de l'eau et des ouvrages d'irrigation qui est aujourd'hui la préoccupation dominante à cause

de la cherté du capital d'investissement, de la nécessité impérative d'intensifier la production agricole irriguée, d'épargner les ressources en eau.

Pour ce qui est de savoir comment le temps réel est appliqué dans la conception et le management des projets, les rapports donnent généralement des descriptions des dispositifs mais peu d'information sur la manière selon laquelle les dispositifs ont été choisis et combinés. Peu de justifications sont explicitées sur le choix des paramètres à mesurer, sur la localisation et la densité des capteurs nécessaires pour garantir une bonne représentativité du système, sur l'élaboration ou le choix des logiciels pour le traitement des données.

On n'a pas d'information sur les difficultés ou obstacles rencontrés, la façon dont ils ont été surmontés et les lacunes restantes.

Quoique les performances des ordinateurs sont un moyen de travail puissant, il convient de ne pas oublier qu'ils ne sont qu'un outil et non une fin en soi. Ce ne sont pas des boîtes magiques d'où peut sortir la solution d'un problème mal posé. Les modèles standard de simulation d'un système hydraulique plus ou moins complexe,

sont rares. Ils doivent être calibrés à partir des caractéristiques réelles du système mesurées sur le terrain, on ne voit pas bien en général dans les rapports comment ces spécificités ont été prises en compte et si on a suffisamment vérifié que les modèles utilisés donnent bien une image correcte des systèmes qu'ils représentent.

Enfin le temps réel peut être combiné à des dispositifs de régulation automatique pour améliorer celle-ci. Aucun cas de ce type n'est signalé dans les rapports.

### Recommandations

L'analyse précédente a mis en évidence les nombreux apports positifs des rapports présentés au Symposium mais aussi les insuffisances et lacunes constatées.

La gestion en temps réel des fournitures d'eau d'irrigation est encore une innovation. La CIID a retenu ce thème pour le Symposium qui doit avoir lieu au 15<sup>ème</sup> Congrès International de La Haye en 1993.

Le débat est donc loin d'être terminé, et les rapports reçus au Congrès de 1990 pourront être d'ici 1993 enrichis pour combler les lacunes signalées.

### III- LISTE DES COMMUNICATIONS PRESENTES

#### III-1 Question 42:

R.24 M.P. ARLOT (France)

Exportations d'azote par les eaux de drainage souterrain

R.25 JC. FAVROT, R. BOUZIGUES, C. LONGUEVAL, JC. CHOSSAT, and F. BOURGEAT (France)

Structure du sol, drainage et environnement rôle de la structure du sol sur le fonctionnement hydraulique et la qualité des eaux d'un réseau de drainage

R.26 Y. RACAULT, C. CHEVALLIER, and P. COLLAS (France)

Drainage et qualité des eaux dans les marais du littoral atlantique français

R.27 A. BARARI, A.R. BENDER, and T.C. COWMAN (USA)

Natural protection of ground water from agricultural activities by the presence of clayey unweathered till

R.28 B. DE CARMANTRAND (France)

La nappe alluviale de la basse Durance, impact de l'irrigation sur la quantité et la qualité des eaux

R.29 P.N. DWIVEDI, L.P. VERMA, AKHTAR ALI, I.N. SINGH, V.K. SINGH, R.S. DIXIT, and R.K. SINGH (India)

Studies on combined effect of drip irrigation system and soil conservation techniques on plant performance and run off water quality in salt-affected soils

R.30 R.P. BIRCH, and J.J. VAN WONDEREN (UK)

Exploitation of fresh water lenses in Sind Province, Pakistan

- R.31 ARTURO COLAMUSSI, GIANNI CANTELLI, ALFONSO DESIDERIO, and LINO TOSINI (Italy)**

Salt intrusion control : Movable barrier on Po Di Gnocca river - Italy

- R.32 MARCEL CADILLON, and JOEL MANCEL (France)**

L'amélioration de l'environnement par la réutilisation des eaux usées domestiques, l'exemple de l'île de porquerolles, France

- R.33 GERARD DAMIAN, and DIDIER OLIVRY (France)**

Impact des aménagements sur le paysage et sur les comportements socio-culturels (L'irrigation : les archives de l'espace et la culture locale)

- R.34 H.J. COLLINS, and G. KOLLMANN (FRG)**

Impact of the type of irrigation upon the salt and water balance of soils

- R.35 W.K. BOEHMER, and J. FABER (The Netherlands)**

The effect of the conjunctive use of surface and ground-water on the salt balance in an aquifer

- R.36 K. ROELSE, J. LUIJENDIJK, WALUYONO, and W.A. SEGEREN (The Netherlands)**

Reclamation and management of acid sulphate soils in tidal lowlands, Indonesia

- R.37 LEONCIO BELOQUI G. (Spain)**

Water pollution in the lower area caused by uncontrolled irrigation in the upper and median areas of the Segura river Spain

- R.38 A. BASKER, D.A. SELVASEELAN, G. RAMANATHAN, and P. KANDASWAMY (India)**

Sub surface drainage system for saline soil reclamation - A case study

**R.39 MICHAEL R. STANSBURY (USA)**

Irrigation and water quality - A United States perspective

**R.40 DIA EL DIN EL QUOSY (Egypt)**

Drainage water monitoring in the Nile Delta

**R.41 SIRIPONG HUNGSPREUG, and NATHA HUNGSPREUG (Thailand)**

Pru Toh Daeng swamp development project, Thailand

**R.42 GIUSTO GIULIANI, and CORRADO VERNI (Italy)**

Marecchia river's project : Irrigation with surface waters and analysis of their interaction with ground waters by realtime scheduling

**R.43 MUHAMMAD LATIF, and LYMAN S. WILLARDSON (Pakistan)**

Modelling soil profile salt distribution for conjunctive use irrigation

**R.44 KARL HANS HEIL (FRG)**

Remedial and precautionary measures aiming at environmentally sound groundwater management in the Hessische Ried using qualitative and quantitative forecasting model

III-2 Question 43:

- R. 1 **IMRE PETRASOVITS (Hungary)**  
General review on drought strategies
- R. 2 **SUREN N. KULSHRESHTHA, and KURT K. KLEIN (Canada)**  
Drought mitigation through large-scale intensive irrigation projects - A case study of the south Saskatchewan river project
- R. 3 **G. VISENTINI, and A. LINOLI (Italy)**  
Polders in lake Chad : A special example of measures to combat drought and guarantee agricultural production
- R. 4 **HEINZ-DIETER OLBRISCH (FRG)**  
Prediction of waterlevels for pumping operation during droughts
- R. 5 **PANAPITIYA D. MAHINDA, and JAYANTHA JAYEWARDENE (Sri Lanka)**  
Consideration of farmers' behaviour to improve planning irrigation projects in drought prone areas
- R. 6 **D.N. KULKARNI and S.Y. KULKARNI (India)**  
Management of Mula waters during successive drought years
- R. 7 **WILLIAM R. JOHNSTON, and RUTH E. JOHNSTON (USA)**  
Preparing for agricultural water use in a drought
- R. 8 **D.A. BUCKS (USA)**  
Water conservation for drought preparedness
- R. 9 **LEWIS T. MORE, and RICHARD H. LIVES (USA)**  
Temporal, meteorologic and hydrologic changes : Prospects and potential effects on irrigation
- R. 10 **JERRY SCHAACK (USA)**  
Methods used to alleviate the effects of a drought on irrigated agriculture
- R.11 **HAJIME TANJI, RYOICHI OONISHI, and YOSHITO YUYAMA (Japan)**

Irrigation planning by a catchment field of Nansei islands in Japan

- R.12 MASAYOSHI SATOH, MASAMI OKAMOTO and YOSHIHIKO OGINO (Japan)**

How to settle water users conflicts during droughts in Japan

- R.13 I. PALFAI (Hungary)**

Description and forecasting of droughts in Hungary

- R.14 S.C. GUPTA, and V.K. MEHROTRA (India)**

A multiset programming model for drought management

- R.15 ALLEN R. POWERS, DANIEL LUTE, and RICHARD RIGBY (USA)**

Regional water management and conservation in the Pacific northwest - technical and institutional approaches

- R.16 MASAOKI UEDA (Japan)**

Paddy rice field maintenance : A numerical model, and countermeasures against water shortages

- R.17 PEDRO GOMEZ POMPA (Spain)**

Incidence d'une longue période de sécheresse sur une grande région d'irrigation. Les terrains d'irrigation du Guadiana à Badajoz au cours des années 80 à 83

- R.18 HENRI TARDIEU, and BERTAND PLUS (France)**

Après la sécheresse des années 1984-1987 dans le bassin de la Garonne, France

- R.19 R. GOURDIN, and M. LANET (France)**

Irrigation des cultures primeurs à partir d'eaux traitées

- R.20 BAZZA, M, and STOCKTON C.W. (Maroc)**

Variabilité spatiale et chronologique du climat marocain et importance de l'irrigation dans l'amélioration de ses potentialités pour les cultures pluviales

- R.21 BENCHOKROUN T. and HANDOUFE A. (Maroc)**

Maximisation de l'efficience de l'eau, cas du blé

- R.22 **VARLEV, I., KOLEV, N.A., and KIRKOVA, Y. (Bulgaria)**  
Irrigation management under water deficiency
- R.23 **P. PEYREMORTE, and F. VALLEIX (France)**  
La réponse des réseaux d'irrigation face à une évolution importante des systèmes culturaux : Analyse du risque de pénurie (un exemple en France méditerranéenne)
- R.24 **KAMAL EL-KHESHEN (African Development Bank)**  
Macroeconomic impacts of irrigation under arid and drought conditions : The Egyptian case
- R.25 **JOHN W. BROWN, and NEIL W. SCHILD (USA)**  
Irrigation water supply and conveyance master planning for drought conditions
- R.26 **MAHMOUD ABU ZEID, and SAFWAT ABDEL-DAYEM (Egypt)**  
The Nile, the Aswan high dam and the 1979-1988 drought
- R.27 **D. LENKA (India)**  
Appropriate cropping systems to withstand drought in uplands of Orissa
- R.28 **F. LEBDI, N. ENNABLI, and J. TARHOUNI (Tunisia)**  
Application de la programmation linéaire à la planification de l'irrigation en condition de pénurie d'eau
- R.29 **FREDERICK A. ROSS (Canada)**  
Irrigation district operation in water shortage conditions - The Alberta experience
- R.30 **Z.X. FANG, A.P. BOUILLOT, and B. VORON (France)**  
Exploitation des barrages - Optimisation de la gestion des dépenses en eau d'irrigation
- R.31 **S. INDELICATO, V. TAMBURINO, S. BARBAGALLO and G. MAZZOLA (Italy)**  
Water deficit forecasting : The case-study of an irrigation system in Sicily

# EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT INDUITS PAR L'EDIFICATION DU BARRAGE MANSOUR EDDAHBI EN VUE DE L'IRRIGATION DU PREMIERE DU DRAA MOYEN\*

JELLOULI, D. (1) OUTABIHT, H. (2)

## RESUME ET CONCLUSIONS

Tout projet d'irrigation et de drainage — conçu initialement pour procurer des avantages à la collectivité concernée — se traduit par une multitude d'effets sur son environnement au sens large. Ces effets sont en interaction complexe; il appartient au projeteur de les analyser pour en saisir les mécanismes afin de favoriser les effets positifs et réduire l'impact des effets négatifs.

Si un projet d'irrigation — drainage permet d'améliorer notablement la productivité des cultures en place, il se traduit également par un grand nombre de répercussions à des niveaux divers.

Par exemple, un projet en requérant la mobilisation des eaux de surface dans une retenue, peut contribuer à une salinisation progressive de ces eaux, laquelle par la suite peut toucher les sols irrigués et aboutir même à une contamination des eaux de la nappe, notamment si elle est maintenue à un niveau relativement bas pour éviter la remontée capillaire liée à l'évaporation particulièrement intense qui caractérise les régions présahariennes. Cette situation nécessitera une exploitation rationnelle de cette nappe ou selon le cas le drainage des terrains concernés.

L'augmentation de la salure des eaux de la retenue peut elle-même aboutir à la longue à une modification de la flore et de la faune aquatiques qui y vivent. C'est ainsi que la schistosomiase, maladie causée par un parasite et répandue dans le périmètre du Drâa, disparaît dès que le taux de salinité des eaux atteint 3 à 3,5 g/l.

De même, le barrage, en empêchant l'écoulement des eaux à l'aval, peut entraîner des modifications importantes sur la faune et la flore. La construction du barrage Mansour Eddahbi s'est

traduite par l'assèchement du lac IRIQUI qui constituait un lieu de pèlerinage pour un grand nombre d'oiseaux migrateurs notamment le flamand rose. En outre, le paysage est désormais envahi par des plantes xérophytes et des plantes halophytes.

Par ailleurs, pour être efficace, l'irrigation appelle l'utilisation de fortes doses d'engrais dont une partie peut rejoindre la nappe par lessivage. Les eaux contaminées peuvent de ce fait à la longue être impropres à la consommation.

L'intensification de l'irrigation est également à l'origine de la propagation du Bayoud, maladie cryptogamique du palmier dattier, qui a détruit presque en totalité les variétés de palmiers dattiers les plus intéressantes au plan de la qualité des fruits.

Les changements apportés par l'irrigation ne se limitent pas au milieu physique. Dans le Drâa, la réglementation coutumière qui régit la distribution des eaux est soumise à rude épreuve. Une expropriation des droits d'eau s'avère une nécessité pour espérer assurer la rationalisation de la distribution de l'eau. Inversement, l'existence même de ces droits d'eau a été à l'origine de la conception du réseau d'irrigation puisque les canaux traditionnels ont été maintenus et reliés aux adducteurs par des canaux de liaison. L'environnement social a nécessité une adaptation brutale aux exigences du nouveau système de distribution de l'eau d'irrigation.

L'environnement physique peut également subir, du fait de l'irrigation, un grand changement en raison de l'intensification et de l'introduction des cultures nouvelles ou de variétés à haut rendement.

Une combinaison adéquate de l'utilisation des eaux mobilisées au niveau de la retenue, des eaux de la nappe et des eaux de crues du bassin intermédiaire (surdoses) peut permettre d'éviter des revers. Ceci impose la définition en cours d'études de schémarii de gestion des eaux et corrélativement de mesures appropriées destinées à protéger en définitive les sols contre une dégradation irréversible.

\* Environmental effects induced by the Mansour Eddahbi dam built for Middle Draa perimeter irrigation.

(1) Directeur de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole d'Ouarzazate, Maroc.

(2) Chef du Service de l'Équipement Rural de l'O.R.M.V.A. d'Ouarzazate, Maroc.

La mise en pratique de ces mesures nécessaires, pour être effective, nécessite la surveillance permanente de certains paramètres.

- surveillance des eaux et calcul de bilans
- choix des espèces et des variétés cultivées
- contrôle de la nappe
- drainage
- apport d'amendements : sulfate de calcium, carbonate de calcium
- façons culturales : un bon nivellement permet de limiter l'évaporation.

Dans le Drâa entre 1968 et 1980 on a enregistré une augmentation générale de la salure aussi bien des eaux de la nappe que des sols ainsi du reste que de l'alcalinité. Certains endroits sont beaucoup plus touchés que d'autres en raison de la faible profondeur de la nappe. Pour la palmeraie située le plus en aval, on constate une redistribution des sels, avec une diminution notable dans les terrains excessivement salés à l'origine et une augmentation de la superficie touchée. La palmeraie de TINZOULINE, semble être l'invariant de cette situation.

Néanmoins, le caractère de la superficie touchée. La palmeraie de TINZOULINE, semble être l'invariant de cette situation.

Néanmoins, le caractère fragmentaire et discontinu des mesures disponibles d'une part ainsi que l'impossibilité d'avoir une analyse de la situation en l'absence d'aménagement, ne permet pas d'émettre une opinion tranchée. La vigilance doit cependant être de mise vu le caractère sensible des périmètres du type du Drâa.

En tout état de cause, le suivi de tous ces paramètres affectant l'environnement n'est pas aisé; en outre le caractère pluridisciplinaire de ces effets nécessite la collaboration de plusieurs départements ayant d'autres priorités.

Une zone pilote devrait être choisie pour mesurer l'effet de ce genre de projets sur l'environnement et mettre au point une méthodologie d'évaluation de ces effets dont l'importance, à défaut d'être évaluée en termes monétaires, est soit sous estimée soit escamotée.

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

Any Irrigation — Drainage project, initially implemented to provide specific advantages to a certain community has multiple effects on the environment in the broad sense. These effects are generally interacting in a complicated way; it belongs to the projector to analyze these processes and understand the mechanisms in order to enhance the positive effects and reduce the negative ones.

If an irrigation and drainage project yields additional productivity for specific crops, it also results in undesirable effects at various levels.

For example, any project based upon the use of harvested water in a retaining dam may contribute to increasing salinity of water; and the affect irrigated lands and subsequently under-ground water tables, particularly when these are maintained at a relatively low level in order to avoid capillary attraction the intensive evaporation that characterizes the subsaharian regions. In such situations, more pumping is required or system schemes should be set up.

Given this situation? salinity could also affect the fauna and the flora that live in the area, at least in the long run. For instance, schistosomiasis a parasitic disease widespread in the Draa valley, disappears when water salt content reaches 3 to 3,5 g/L.

Also, the dam, by limiting downstream water flow, could be at the origin of dramatic modification of the fauna and flora. The construction of Mansour Eddahbi dam has led to complete drying of the IRIQUI lake, which used to be visiting site for a large number of migratory birds, particularly, the rose flamand. Moreover, the landscape turn out to be invaded by xerophyte and halophyte plants.

The use of fertilizers in large quantities associated with excessive irrigation could result in under ground water contamination by leaching. This water will, in the long run, be unsuitable for human consumption.

Intensive irrigation increases the spread of bayoud, a fungal disease specific to date palm trees which, during the last century, destroyed most of the best varieties.

Modifications brought by irrigation systems were not confined to physical aspects only. In the Draa valley, water rights were subjected to steep regulations. The necessity of expropriating water rights for rational water distribution and the emerging problems due to irrigation system settlement concluded in a compromising situation; the traditional irrigation scheme was maintained and connected to the modern channels.

But the whole social environment was in a certain sense very sensitive to these changes.

The physical environment might also be subjected to changes since the improvement of irrigation conditions leads to better farming systems, intensive production, and the use of high yielding varieties.

An appropriate management of combined water resources stored water, underground water, and food water might alleviate conflicts between

users. This requires the establishment of an appropriate scenario of water management and appropriate measures of soil conservation.

It should be noted that the effective execution of these actions requires monitoring of certain parameters :

- the control of irrigation systems and calculation of water balances
- screening of crop species and variétés
- water table control
- drainage
- soil management : application of calcium sulfate and calcium carbonate.
- cultural practices

In the Draa valley, we noticed a general increase in salt content and alkalinity in soils or in the water table.

Some areas, where the water table is low, evade salt problems, while in others, where the water table reaches cultivated layers, salinity causes serious deficiencies.

In the downstream oases, redistribution of the salts was noticed, with a notable decrease of salts the excessively salty ground and an increase of salts in the surrounding areas. In the Tinzouline oasis, however, no evolution was noticed.

However, due to the lack of coordination between diverse actions and insufficient analyses data of the situation, it is difficult to give definite opinions. Care must be taken for more social stabilization in such a sensitive perimeter.

Anyhow, monitoring all the parameters involved in the environment is not that easy; moreover, the multiple sides of the effects require more collaboration between departments of concern.

A pilot area should be set up in order to assess the effects of such projects on the environment and update the methodology of this effect assessment. These important effects are, in fact, more or less taken into consideration.

## INTRODUCTION

Avant d'aborder le sujet, il est utile, pour permettre au lecteur de situer l'analyse dans son contexte local de donner un aperçu succinct sur le Drâa Moyen.

Le périmètre du Drâa Moyen prend naissance en aval des gorges taillées par l'Oued Drâa entre les chaînes de l'Anti-Atlas et le Jbel Saghro pour se terminer dans les étendues sableuses en aval de la palmeraie de M'HAMID. Il est constitué par un chapelet de six palmeraies dont la largeur moyenne est de 3 km, variable entre 0,5 et 10 km et séparées

entre elles par des resserrements appelés FOUM. D'amont en aval, ce sont MEZGUITA, TINZOULINE, TERNATA, FEZOUATA, KTAOUA et M'HAMID.

Il s'étend sur une longueur de près de 230 km. Sa superficie totale brute est voisine de 35.000 ha pour une surface nette de 6.000 ha. Les effectifs de palmiers dattiers pilier de l'économie de la région, de plus de 2 millions de pieds, placent la région au premier rang des zones phoénicoles dans le pays.

Il est irrigué à partir d'un barrage moderne édifié en 1972 : le barrage MANSOUR EDDAHBI assurant un volume régularisé de 250 Mm<sup>3</sup>. L'oued Drâa en aval constitue l'adducteur principal. Quatre barrage de dérivation à l'amont des palmeraies dérivent l'eau à un réseau de canaux principaux de 200 km de long puis de canaux secondaires s'étendant sur 170 km. L'eau est ensuite dérivée aux séguias ou canaux traditionnels en terre à partir desquels s'effectue la distribution aux champs.

### 1 — IMPACT DE L'IRRIGATION SUR LA QUALITE DE L'EAU DE SURFACE

L'examen de la carte structurale du bassin versant du Drâa à l'amont du site du barrage MANSOUR EDDAHBI permet de se rendre compte de l'importance des affleurements triasiques comprenant des basaltes doléritiques ainsi que des marnes et argiles à niveaux salifères constituant le substratum imperméable de la série Jurassique. Ces affleurements sont à l'origine de toutes les eaux salées de la région.

Le trias affleure massivement à l'Ouest et n'apparaît qu'au niveau des failles, diapirs ou bouctonniers à l'Est.

Au niveau des apports, le Dabès qui draine l'Est du bassin versant apporte les eaux les plus douces : résidu sec entre 0,4 et 0,6 g/l. Le M'Goun amène des eaux de résidu sec stationnaire de 0,8 à 0,9 g/l.

C'est l'Ouest Ouces : résidu sec entre 0,4 et 0,6 g/l. Le M'Goun amène des eaux de résidu sec stationnaire de 0,8 à 0,9 g/l.

C'est l'Ouest Ouarzazate qui draine l'Ouest du bassin versant qui apporte les eaux les plus chargées en sel : résidu sec supérieur à 1,5 g/l.

Le Dadès contribue aux deux tiers environ des apports, alors que l'Ouest Ouarzazate apporte le tiers des eaux.

En automne et au printemps la salure du Drâa se situe entre 1,3 et 2 g/l selon que c'est la zone Est ou la zone Ouest qui réalise le plus d'apports.





En été, période d'étiage en général, seul le Dadès, peu salé, coule encore de sorte que la salure reste faible, autour de 1 g/l.



### BARRAGE VOUTE

- Capacité = 550 Mm<sup>3</sup>
- Hauteur = 70 m
- Surface inondable = 5 500 ha
- Volume régularisé = 250 Mm<sup>3</sup>
- Puissance de la centrale hydro-électrique = 10.000 Kw

### LEGENDE

-  Palmeraies
-  Réseau principal
-  Gued Drâa
-  Barrages

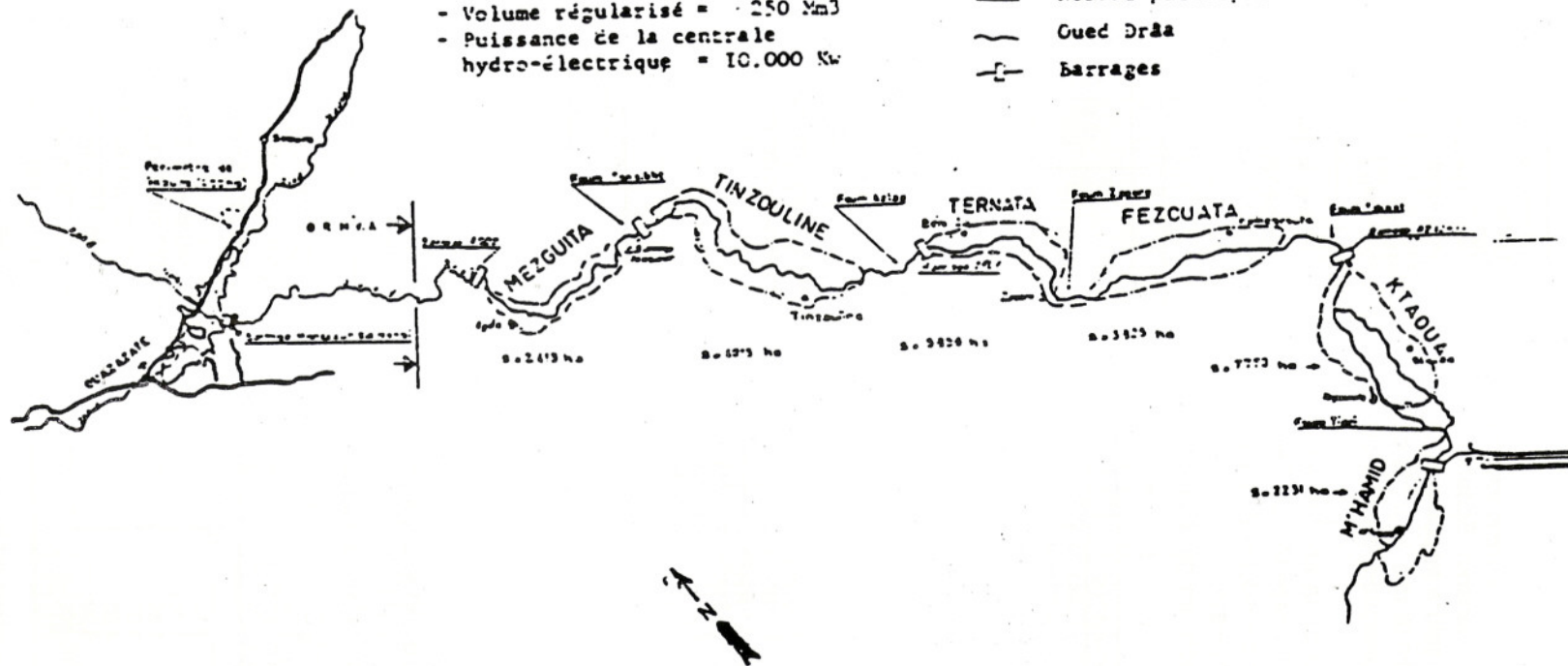


Figure 1. Vallée du Drâa Moyen : situation des palmeraies (The Middle Drâa valley : perimeters situation).

Ainsi, il apparaît que le Drâa est un oued aux eaux à salinité variable tout au long de l'année, cette salinité se répercutant directement sur les eaux d'irrigation.

Un changement important a été introduit par la construction du barrage Mansour Eddahbi qui a rendu moins fluctuante la salure au point de départ.

L'évolution de la salinité des eaux de ce barrage depuis 1982 est consignée dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Evolution de la conductivité électrique à 25° C de l'eau du barrage Mansour Eddahbi (Evolution of the electric conductivity at 25° C of the Mansour Eddahbi dam water).

(Les prélèvements sont en général effectués une fois par semaine).

Année	PH	FOURCHETTES	
		CE à 25°	Cotes de Mois la retenue
1982	6.6-8.65	1.43-1.87	1082.25 Mars à 1089.54 Décembre
1983	7.6-8.6	1.87-2.77	1076.25 Janvier à 1082.89 Décembre
1984	7.9-8.6	2.22-3.16	1076.47 Barrage 1081.73
1984	7.45-8.20	1.79-2.10	1078.31 Mesures au 1086.26 niveau de la fuite
1985	7.5-8.45	1.37-2.56	1078.31 1086.24
1986	—	1.50-1.82	1079.76 3 mesures 1084.97 seulement 2 en Janvier 1 en Mai
1988	—	0.71-0.98	1101.41 Dernière mesure 1104.01 effectué le 9.8.88

Les premiers résultats d'une étude en cours montrent que la salure est corrélée négativement au volume d'eau stocké dans la retenue; le coefficient de regression étant de 0,84.

Ces valeurs sont à rapprocher de celles obtenues, à la suite des mesures effectuées en Février 1973 lors d'un lâcher.

Débits et conductivités avant la lâchure.

Tableau 2

	CE mmhos/cm	Q l/s
— Aval barrage Mansour Eddahbi	2,12	0
— Taghout	1,30	30
— Pont de Tansikhte	1,80	220
— Fom Azlag	3,00	165
— Zagora	4,60	560
— Azaghar	3,90	0
— Fom Tidri	10	160

Les valeurs moyennes enregistrées pendant le palier du débit maximum sont les suivantes :

Tableau 3

	CE mmhos/cm	Q l/s
— Aval barrage Mansour Eddahbi	1,25	19
— Taghout	1,25	18,7
— Pont de Tansikhte	1,34	16,7
— Fom Azlag	1,43	15,80
— Zagora	1,53	15,30
— Azaghar	1,8	8,85
— Fom Tidri	2,4	7,00

Dans le tableau suivant on trouve la correspondance entre la conductivité électrique et le résidu sec.

Tableau 4

	Avant lâchure	Pendant	Q max
	Q l/s	Salure en g/l (RS à 180°)	Q m <sup>3</sup> /1 RS à 180°
— Barrage	0	1,5	19
— Taghout	30	0,95	18,5
— Zagora	560	3,2	15,30
— Fom Tidri	160	7,0	7

L'évolution de la salinité entre 1968 et 1980 a fait l'objet d'une étude entreprise par l'Office en 1980. Les mesures réalisées dans certaines séguias ont donné les résultats suivants.







Tableau 5

PALMERAIE	CONCENTRATION EN SELS		Moyenne
	en g/l	en mmhos/cm	g/l
— Mezguita	0,754-1,210	1,02-1,59	1,05
— Ternata	1,189-1,425	1,69-1,81	1,10
— Tinzouline	0,944-1,863	1,30-2,59	1,27
— Fezouata	0,956-2,8	1,41-4,27	1,40
— Ktaoua	1,524-12,659	2,2-15,8	2,36
— M'Hamid	1,536-3,613	2,3-5,71	2,8

Ces chiffres se situent relativement bas par rapport aux chiffres cités par CHAMAYOU avant l'édification du barrage (période pluvieuse).

Quelques analyses effectuées par l'ORMVAO en 1979 sur l'eau prélevée aux abords des barrages de dérivation (voir tableau 6 ci-après) montrent qu'à partir de TERNATA, l'eau est plus riche en résidu sec en 1979 qu'en 1980 d'une part et que d'autre part l'eau est plus dangereuse avant un lâcher qu'après.

LEGENDE

-  Tertiaire et Quaternaire des régions bordières
-  Crétacé
-  Série perméable Aalénien-Dogger
-  Série imperméable Toarcien-Aalenien
-  Série imperméable Lias inférieur-Domérien
-  Substratum imperméable Trias et primaire

- M.E. : Le Quaternaire est enlevé dans le Haut-Atlas.
- Faille et contact anormal
- Source principale
- Ligne de partage des eaux

Documents consultés de :

E. Bolelli, J. Fourcart, C. Chaubert, G. Duber, J. Lindermeyer, E. Koch, et cartes géologiques du Maroc au 1/500.000<sup>e</sup>, feuilles de Hammada de Guir et Gujda.

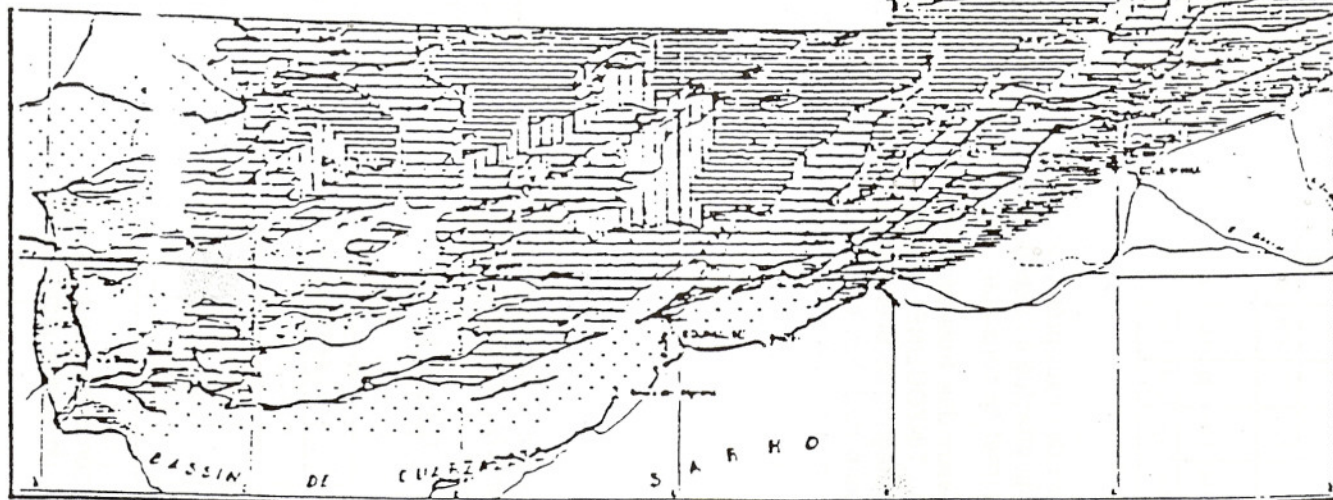
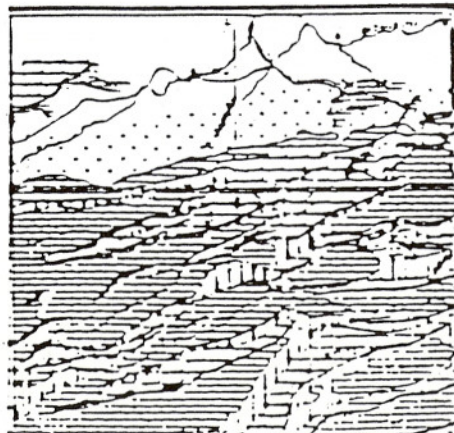


Figure 2. Haut Atlas Calcaire : Carte structurale et hydrogéologique (Calcareous Haut Atlas : Structural and hydrogeological map).

Tableau 6

LIEU	AGDZ	BAR-RAGE AGDZ	TANSI-KHTE	Idem	BAR-RAGE IFLY	Idem	ZAGORA	BAR-RAGE AZA GHAR	Idem
DATE	20/6/79	6/7	20/6	4/7	22/6	10/7	23/6	24/6	3/7
Concentrations mmhos/cm	1.13	1.15	1.76	1.38	3.85	2.61	4.55	10.22	2.46
g/l	0.7	0.8	1.2	0.95	2.9	1.9	3.5	7.2	1.8

Le classement des eaux prélevées tout le long de la vallée du Drâa effectué à l'aide du diagramme de RIVERSIDE permet de constater :

— que les eaux des trois premières palmeraies MEZGUITA, TINZOULINE et TERNATA se classent dans la catégorie C3 S1 en dessous de 2,25 mmhos/cm. Les eaux du Sebou et du Beht au Nord du pays se classent dans la même catégorie.

— FEZOUATA : quatrième palmeraie : eaux entre les catégories C3 S1 et C4 S2.

— KTAOUA-M'HAMID : à l'aval, l'eau se classe au point de vue qualité dans la catégorie C4 S2.

## II. IMPACT DE L'IRRIGATION SUR LA QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE

Quelques mesures ont été effectuées au niveau de certains profils décrits en 1980 dans les palmerais de TERNATA, KTAOUA et M'HAMID.

Tableau 7

PALMERAIE	CONCENTRATION EN SELS	
	g/l	mmhos/cm
— TERNATA	31.317	36.96
— KTAOUA	2.8	4.27
— M'HAMID	2.736	4.08
	2.60	3.30

Ces chiffres démontrent que les eaux souterraines présentent un risque alcalin plus que les eaux de surface.

Dans une étude complète réalisée par CHAMAYOU en 1966, la conductivité électrique a été mesurée dans toutes les palmeraies et on a pu dresser les tableaux suivants :

Tableau 8 : Résidu sec des eaux souterraines de la vallée du Drâa (Dry residue of the Drâa valley groundwater).

PALMERAIE	CONCENTRATION EN g/l ET EN (mmhos/cm)		
	Max	Moyenne	Min
— MEZGUITA	3.5 (5.1)	1.5 (2.2)	0.3 (0.45)
— TINZOULINE	7 (10.15)	2.2 (3.2)	0.4 (0.58)
— TERNATA	8 (11.6)	2.5 (3.65)	0.4 (0.58)
— FEZOUATA	15 (21.78)	4 (5.8)	0.8 (1.15)
— KTAOUA	18 (26)	5 (7.25)	1.5 (2.2)
— M'HAMID	16 (23.2)	9 (7.25)	1.5 (2.2)

Tableau 9 : Fréquence en pourcentage des salinités totales dans les eaux souterraines : CHAMAYOU 1966 (Frequency in percent of total salinity of groundwater : CHAMAYOU 1966).

Résidu sec	mmhos/cm	MEZGUITA	TINZOULINE	TERNATA	FEZOUATA	KTAOUA	M'HAMID
2	2.9	87	41	31	6.6	0.1	0.3
2-4	2.9-5.8	13	52	60	28.8	22	28
4-6	5.8-8.7	0	9.5	9	48.7	37.2	47.5
6-8	8.7-11.6	0	1.4	0	9.6	22.5	16.1
8	11.6	0	0.1	0	6.3	18.2	8.1

On constate à travers les deux tableaux précédents que les résidus secs varient avec la situation géographique de la nappe dans la vallée mais aussi à l'intérieur de chaque nappe selon les zones et la profondeur du niveau hydrostatique. Il existe aussi des variations latérales qui augmentent là où la nappe a un régime stagnant sur les bordures de la palmeraie ou dans les zones mal drainées.

## III. IMPACT SUR L'EVOLUTION DES SOLS

Nous exposerons ci-après les résultats d'une étude réalisée en 1980 sur l'évolution de la salure depuis 1968 date à laquelle les travaux du barrage ont été démarrés et pour laquelle on dispose de résultats sur la salinité.

### III. 1. Salinité des sols

La probabilité expérimentale d'observer un sol salé dans au moins un horizon permet de se faire une première opinion sur l'Etat des différentes palmeraies en 1968 et en 1980/81.

Tableau 10 : Fréquences expérimentalement observées de sols dont la CE de la pâte dépasse 4 mmhos/cm dans au moins un des horizons (Observed experimental frequencies of soils where the E.C. of the paste is higher than 4 mmhos/cm in at least one horizon).

Palmeraie	En 1968	En 1980/81
MEZGUITA	15 %	24 %
TINZOULINE	35 %	32 %
TERNATA	37 %	42 %
FEZOUATA	45 %	66 %
KTAOUA	66 %	73 %
M'HAMID	55 %	62 %

Le nombre de données à partir desquelles est déduit ce résultat varie entre 50 à Mezguita et 150 à Ktaoua. C'est peu eu égard à la superficie des palmeraies mais c'est néanmoins suffisant pour en tirer un simple résultat de fréquence.

Ainsi donc, la probabilité d'observer un sol salé a considérablement augmenté entre 1968 et 1980, sauf dans le cas de la palmeraie de Tinzouline.

— La situation des 3 dernières palmeraies est alarmante.

— A Mezguita, Tinzouline et M'Hamid on ne constate pas de grand changement entre les deux situations.

— Dans la deuxième et dans la dernière palmeraie l'évolution depuis 1968 semble plutôt favorable.

L'augmentation la plus nette est observée à Fezouata.

On peut déduire également de ce tableau que la probabilité expérimentale d'observer un sol salé augmente graduellement le long du cours du Drâa. Mais c'est à Ktaoua et non à M'Hamid que cette probabilité est maximale.

Le tableau ci-dessous montre l'évolution des fréquences expérimentalement observées au niveau d'une salure de 8 mmhos/cm.

Tableau 11 : Fréquence des sols dont la salure dépasse 8 mmhos/cm dans au moins un des horizons (Frequency of soils where salinity is higher than 8 mmhos/cm in at least one horizon).

Palmeraie	En 1968	En 1980-81
MEZGUITA	2,2 %	2,2 %
TINZOULINE	13,0 %	10,0 %
TERNATA	11,0 %	16,0 %
FEZOUATA	12,0 %	32,0 %
KTAOUA	29,0 %	45,0 %
M'HAMID	33,0 %	27,0 %

Le planimétrage des cartes de salure des sols a permis d'avoir les résultats suivants pour les deux situations.

Tableau 12 : Résultats de la planimétrie des cartes de salure des sols (Planimetry results of the soils salinity map).

Palmeraie	En 1968 pourcentage de la surface totale affectée	En 1980/81 pourcentage de la surface tot. affectée
MEZGUITA	12,4	20,0
TINZOULINE	31,6	32,3
TERNATA	34,8	38,3
FEZOUATA	40,2	60,7
KTAOUA	68,3	79,5
M'HAMID	57,2	62,0

Ces résultats sont très comparables aux fréquences expérimentalement observées ci-dessus.

Tous les résultats sont légèrement inférieurs à ceux fournis par les fréquences expérimentales sauf pour Ktaoua dont la salure semble avoir été un peu surestimée sur la carte.

Les interprétations qui découlent de ce deuxième procédé d'analyse sont semblables à celles des deux premiers tableaux des fréquences expérimentales.

— En moyenne l'augmentation des surfaces affectées est relativement faible et ne dépasse pas 10 % sauf pour la palmeraie de Fezouata.

— Tinzouline est stationnaire du moins au niveau des surfaces touchées.

— Le pourcentage le plus fort de terres salées se trouve à Ktaoua et non à M'Hamid comme on aurait pu le supposer a priori.

### III. 2. Alcalinité des sols

A partir de bilans ioniques, on a pu calculer le taux d'adsorption du sodium (SAR) qu'on a utilisé pour le calcul du pourcentage de sodium échangeable (ESP) par une méthode graphique classique.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 13 : Nombre de stations — profil ou sondage — manifestant dans au moins un des horizons une alcalinisation (Number of stations — profile or sounding — where alkalization is present in at least one horizon).

Palmeraie	Nombre d'observations	ALCALINISATION			TOTAL	Fréquence de sols alcalinisés %
		II ESP 15	15 ESP 30	ESP 30		
MEZGUITA	48	0	0	0	0	0
TINZOULINE	84	0	3	0	5	6,2
TERNATA	136	7	6	3	16	11,8
FEZOUATA	77	6	5	2	13	17,1
KTAOUA	156	15	19	11	45	28,8
M'HAMID	49	3	2	2	7	14,3

Si on considère que la limite inférieure de l'alcalinisation est de 15 % de sodium échangeable on obtient les fréquences suivantes :

Tableau 14 : Fréquences expérimentalement observées de profils réellement alcalinisés (Observed experimental frequencies of real alkalinized profiles).

PALMERAIE	FREQUENCE
FEZOUATA	0 %
TINZOULINE	3,6 %
TERNATA	6,6 %
FEZOUATA	9,2 %
KTAOUA	19,2 %
M'HAMID	8,2 %

— La probabilité d'observer un sol alcalinisé s'accroît progressivement le long du cours du Drâa.

Comme pour la salinité des sols c'est Ktaoua et non M'Hamid qui affiche le plus haut taux de probabilité.

Eu égard au fait que l'alcalinisation est un défaut grave et difficile à corriger il faut considérer que la situation de Ktaoua est alarmante. D'ailleurs, il a été vérifié sur le terrain que la structure des profils décrits est dégradée dans 5 cas sur 27 observations.

### III. 3. Perméabilité des sols

Les fortes teneurs en sel (sodium échangeable) réduisent la perméabilité du sol par défloculation des argiles.

Une eau peu chargée aboutit au même résultat par le biais d'un autre mécanisme (dissolution du calcium).

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 15

Palmeraie	Texture	Perméabilité en 1980	Perméabilité en 1968	Nbre de données en 1980 en 1968	
Tous les résultats mis ensemble		9.5 cm/h	4.45 cm/h	4	4
	SI	11.4 "	5.3 "	5	4
	Ls	3.5 "	2.3 "	9	6
	L	2.6 "	2.04 "	28	17
	LA	2.4 "	0.55 "	9	6
	AL	1.7 "	1.0 "	3	3

Ces résultats montrent que :

— On ne peut comparer les résultats de 1980/81 à ceux de 1968.

— La perméabilité est liée à la texture du sol.

— Le niveau moyen des perméabilités (1980/81) est assez faible mais demeure acceptable dans la mesure où il ne tombe pas au-dessous de 2 cm/h. Les argiles limoneuses (qui sont relativement peu fréquentes dans la vallée) sont donc légèrement pénalisées.

### III. 4. Toxicité

Il convient de signaler qu'en plus des problèmes de salinité, d'alcalinité et de perméabilité des sols dûs à l'irrigation avec des eaux contenant des sels, le problème de la toxicité due à ces sels se pose également.

Cette toxicité peut être le fait d'un ion donné en abondance dans la solution aqueuse du sol.

C'est ainsi que l'ion sodium Na<sup>+</sup> aussi bien que l'ion chlorure CL<sup>-</sup> sont toxiques.

De même un déséquilibre du rapport calcium/magnésium dans la solution peut entraîner chez le ruminant qui consomme l'herbe irriguée une maladie appelée Tétanie d'herbage.

### III. 5. Effets sur les cultures

La disponibilité de l'eau dans le sol pour une culture donnée peut s'exprimer par le potentiel hydrique du sol qui exprime l'intensité avec laquelle l'eau est retenue par le sol et corrélativement la résistance que la plante doit vaincre pour la prélever.

La salinité influe également sur cette disponibilité de l'eau qui diminue proportionnellement à la salinité par effet osmotique, à l'origine de ce qu'on appelle « sécheresse physiologique ».

A ceci s'ajoutent les effets liés à la toxicité ainsi qu'au développement des mauvaises herbes qui concurrencent la culture à la fois pour l'eau et pour les éléments minéraux.

De même la dégradation de la structure du sol et la réduction de sa perméabilité sont à l'origine d'une mauvaise alimentation en eau et d'un apport d'oxygène déficient.

Dans ces conditions, il est clair que la production agricole ne peut qu'être affectée.

Il convient de souligner tout de suite qu'aucune mesure directe de ces effets n'a été effectuée au niveau du périmètre.

Toutefois, des auteurs américains (RIVERSIDE) ont établi que la croissance des végétaux diminue linéairement en fonction de la conductivité de l'extrait de la pâte saturée et ce à partir d'un seuil caractéristique pour chaque plante.

### III. 6. Mesures correctives — méthodes de prévision

Le tableau suivant donne un résumé des mesures destinées à corriger la perméabilité, la salinité et la toxicité (N° 29 du bulletin FAO d'irrigation et de drainage : la qualité de l'eau en agriculture).

Tableau 16 : Mesures de correction (Correction mesures).

PERMEABILITE	SALINITE	TOXICITE
— Amendement (gypse, soufre, acide sulfurique)	— Irriguer plus fréquemment	— Arroser plus fréquemment
— Mélange des eaux de qualités différentes	— Plantes tolérantes	— Fournir un supplément d'eau pour le lessivage
— Arrosage plus fréquent	— Supplément d'eau pour lessivage	— En cas de toxicité par le sodium utiliser un amendement (gypse, acide sulfurique)
— Façons culturales et labour profond	— Pratiques culturales	— Mélanger des eaux de qualité différentes
— Arrosages prolongés	— Nivellement	— Cultures moins sensibles
— Déchets organiques	— Modification profil pour percolation en profondeur	— Techniques spéciales en aspersion.
— Modification du sens de l'irrigation	— Drainage artificiel	
	— Concentration des cultures pendant les périodes pluvieuses	

Par ailleurs, le séminaire de BAGHDAD est sorti avec les recommandations suivantes :

— Confirmation du rôle du drainage qui doit aller de pair avec l'irrigation dans la sauvegarde des sols contre la salinité.

— Réglementation des eaux souterraines qui doit accompagner les autres mesures agricoles.

— Drainage vertical : l'exploitation des eaux souterraines par pompage doit s'accompagner de mesures en vue de l'évaluation de ses effets à long terme.

— Usage des résultats de recherche avec discernement : les méthodes de mesure ainsi que les conditions opératoires peuvent être décisives et à l'origine de discordances pouvant conduire à l'échec.

Il existe donc tout un arsenal de mesures correctives qu'on peut mettre en œuvre.

Il convient de signaler que la plupart de ces mesures ne sont pas inconnues de nos agriculteurs et principalement l'utilisation de surdoses d'irrigation à l'occasion des crues pour entraîner les sels par lessivage.

La tête de crue chargée en sel n'est pas utilisée.

Le chaulage est également une technique connue dans la région mais qu'il y a lieu d'utiliser avec discernement (un adage local ne dit-il pas que « la chaux enrichit le père et appauvrit le fils ». Un autre dit : « qui chault sans fumier se ruine sans s'en douter »).

Le paillage est utilisé pour éviter les remontées de sels et la culture sur billons est très répandue.

Le problème de l'effet de l'irrigation sur la salure se pose sous l'angle de la sodication (alcalinisation) du profil.

Des méthodes de calcul très simples permettent d'optimiser les apports d'eau en fonction des contraintes telles que :

- composition de l'eau d'irrigation
- propriétés du sol
- physiologie de la plante cultivée
- prix de l'eau
- fonctionnement des systèmes d'apport et d'évacuation.

Les expériences de dessalage réalisées au TAFILALET en 1963 par la DMV et interprétées par DUPRET et al. ont abouti à des résultats intéressants qu'il serait utile de commenter.

Le point de départ est un sol salé; la C.E. de l'extrait à saturation située à 23 mmhos/cm en surface, atteint 30 mmhos/cm à une profondeur de 25 cm.

Après une quatrième irrigation avec une eau de C.E. = 5 mmhos/cm on arrive à une C.E. sol de 7 mmhos/cm uniforme sur une profondeur de 50 cm; le pic est moins accusé.

Le tonnage de sel dans le sol passe quant à lui de 93 tonnes à 49 tonnes sur les 100 cm de profondeur.

La capacité en champ = 300 mm; l'eau salée à 3 g/l apporte 9 tonnes pour 1 m; le rendement du dessalage qu'il s'agit d'optimiser est de :

$$93 - 49 = 52 \%$$

$$93 - 9 = 52 \%$$

Ces expériences sont basées sur le modèle établi par BRESLER et reposant sur le principe de la conservation de la masse de sel.

Une fois mis en œuvre, le modèle peut permettre l'étude de différents scénarios à la fois sur la salure de l'eau, la dose d'irrigation, la fréquence des irrigations, la dotation globale, etc. avec variation d'un seul facteur à la fois ou même une variation simultanée de plusieurs facteurs.

De même, l'efficacité du dessalement croît rapidement jusqu'à 200 mm et commence à s'applatir.

De même, un modèle numérique mis au point par une équipe de chercheurs de l'I.A.V. Hassan II et de l'Université de Louvain en 1976 (Annales de l'INA-Volume VI-n° 1-1976), basé sur l'équation aux différences finies de la diffusion avec convection a été appliqué aux sols du TAFILALET et de OUARZAZATE.

Dans le cas des sols de RISSANI, l'accord avec les résultats expérimentaux a été satisfaisant à l'exception d'une tendance au ressalage des couches superficielles due à une évaporation partielle de l'eau d'irrigation et dont il n'est pas tenu compte dans le modèle.

Le modèle a été testé sur les sols du KTAOUA sur lesquels l'irrigation a été arrêtée depuis 4 ans (il s'agit de tester l'évolution de la salure et de la saturation en sodium) et qui présentaient un taux de

salure de la solution du sol de 100 mE/l et un ESP de 50 % dans la couche arable.

Le problème est de calculer le volume d'eau nécessaire pour ramener ESP à une valeur acceptable sur une profondeur suffisante compte tenu de la composition de l'eau d'irrigation et de sa concentration.

Après passage d'un volume d'eau (de concentration égale à 10 g/l et ayant un SAR = 5,6) égal à deux ou trois fois la capacité à saturation de la couche de sol, l'ESP est ramené à 15 %.

Parallèlement à ces « micromodèles », il y a lieu de mettre au point un modèle de simulation de la nappe du Drâa, **intégrant le phénomène de salinité.**

En fait une telle étude nécessiterait des moyens immenses ainsi qu'une longue durée. C'est pour cela que dans un premier temps, il y aurait intérêt à limiter l'étude à une seule palmeraie; c'est le sens du rapport de mission établi par CHAMAYOU en Juin 1985 dont un aperçu très succinct est donné ci-dessous.

L'existence du barrage permet d'approcher le phénomène de recharge des nappes par les crues.

Il s'agit d'étudier : **les relations entre les eaux de surface dérivées et infiltrées dans les palmeraies ou transitant dans le lit de l'oued et contribuant à la recharge de la nappe alluviale.**

Le calage **débits écoulés-hauteur de la nappe**, pourrait être effectué sur une période donnée (85-86) puis étendu à 72.

L'ajustement à l'aide de modèles de simulation devrait permettre de reproduire les recharges probables en l'absence de barrage de 73 à 84.

Il faut pour cela analyser et sélectionner les périodes de mesures et les piézomètres représentatifs :

— D'un état à régime sans barrage (63-72)

— d'un état avec barrage (73 à nos jours).

D'ores et déjà, il est prévu une dizaine d'essais hydrauliques.

— 150 sondages électriques pour déterminer la profondeur de substratum et l'épaisseur des alluvions;

— 15 à 20 relevés sur les piézomètres toutes les semaines lors des crues ou bimensuellement en décrue;

— Implantation de quelques piézomètres à équiper d'enregistreurs;

— Installation de limnigraphes à AZLAG et ZAGORA.

Le rapport propose de commencer par la palmeraie de TERNATA et insiste sur la nécessité de désigner un coordonnateur dès le démarrage de l'étude.

Le modèle inclut la mesure de la C.E. des eaux de l'oued et de la nappe sur le réseau de piézomètres témoins non équipés pour l'établissement d'un bilan chimique (en option) à condition de pouvoir déterminer la part de la salinité provenant du lessivage du sol.

Il serait en outre utile de notre point de vue de procéder à toutes les mesures devant permettre ultérieurement d'émettre tous les diagnostics utiles sur la qualité des eaux d'irrigation.

a — Mesures pendant la décharge

La décharge est influencée par : ETP, pompage, résurgence, retards d'infiltration, autant de postes à évaluer.

b — Modèle

L'influence d'une crue sur les différents niveaux de la nappe peut être abordée par un modèle hydrologique d'ajustement de type global.

Chaque influence se traduit par une fonction de transfert définie par son amplitude et par deux paramètres; retard et vitesse de stabilisation de l'impulsion reçue.

c — Modèle de simulation de la nappe

Le modèle permettra d'évaluer les quantités d'eau infiltrées vers la nappe ou destockées en période de tarissement.

Il permettra en définitive de déterminer :

— Les effets des lâchures sur les volumes infiltrés;

— Les effets des prélèvements et des écoulements aux exutoires naturels sur le tarissement de la nappe en déduisant par approches successives les différents termes du bilan (résurgences, pompages, ETP).

On pourra simuler différents états transitoires comme le comportement de la nappe sous l'effet des différentes répartitions des lâchures, évaluer les débits infiltrés et le coefficient d'infiltration.

On pourra également simuler des comportements aussi voisins que possible de ce qui se serait passé en l'absence de barrage et comparer les deux situations; ceci est très important pour l'évaluation future des autres projets.

On devrait aussi pouvoir évaluer :

— La part de la ressource renouvelable par rapport à la réserve;

— Les risques fréquentiels de dénoyage de secteurs fragiles :

— Le module d'infiltration efficace pour différents états et profondeurs de la nappe et différents hydrogrammes d'apport et d'irrigation.

Par la suite, l'extrapolation se fera pour toute la vallée du Drâa.

#### IV. EFFETS DE L'IRRIGATION SUR LA QUALITE DE LA VIE

IV. 1. Impact du projet d'irrigation de la vallée du Draâ sur la santé des populations.

Un projet d'irrigation-drainage peut amener des modifications écologiques susceptibles de favoriser le développement de certains insectes ou parasites qui sont à l'origine de maladies. Ainsi en est-il de la bilharziose dans la vallée du Drâa Moyen, de la leishmaniose et du paludisme.

##### a — Bilharziose

C'est une maladie parasitaire due au schistosoma haematobium parasite à deux hôtes : le bilingue (mollusque d'eau douce) et l'homme.

Les causes de propagation de cette maladie sont liées au mode de vie des populations qui pratiquent une agriculture irriguée ainsi qu'aux conditions hydrologiques qui favorisent le développement de l'hôte intermédiaire : le bilingue qui ne s'accommode pas des eaux de salure excédant 3 g/l.

En effet, d'après une thèse soutenue par Mr NABBACH, l'augmentation du degré de salinité a un effet régressif sur la fréquence de la maladie qui disparaît dès qu'on atteint 3 à 3,5 g/l. Comme il y a une diminution notable de la salure à la suite d'un lâcher du barrage, cela peut entraîner une prolifération du mollusque dans la vallée, ce qui permet la propagation de la maladie.

##### b — Leishmaniose

Cette maladie est apparue pour la première fois à OUARZAZATE, elle est due à un parasite du genre Leishmania et transmise à l'homme par un moustique appelé le phlébotome. Le rat d'égout et le chien constituent les réservoirs à virus.

Le remplissage de la retenue du barrage par suite de la bonne hydraulité de l'année 1987 a engendré une pullulation de moustiques dont le phlébotome.

Ainsi, en 1988, 800 cas de leishmaniose ont été signalés dont un cas de leishmaniose viscérale.

##### c — Le paludisme

C'est une maladie parasitaire dont l'agent causal est le plasmodium falciparum, transmis à l'homme par un moustique du genre Anophèles dont le développement présente une phase aquatique et qui de ce fait trouve les conditions favorables à sa pullulation dans les marécages.

Quatre espèces du genre Anophèles existent dans le périmètre. Chaque année de bonne hydraulité se traduit par marécages.

Quatre espèces du genre Anophèles existent dans le périmètre. Chaque année de bonne hydraulité se traduit par un développement spectacu-

laire de ce moustique, mais on ne constate pas toujours un développement parallèle de la maladie.

##### d — Mesures prises et moyens de lutte

Un certain nombre de mesures dont le but immédiat est l'éradication de ces épidémies sont prises et mises en oeuvre par les services de la Santé Publique.

C'est ainsi que dans le cas de la leishmaniose une campagne d'abattage des chiens et de dératisation ont été menées afin d'éliminer les réservoirs à virus.

A moyen terme, il s'agit d'amener les populations à assurer les conditions d'hygiène requises dans les habitations.

De même, la pratique consistant à déposer le fumier non stabilisé à l'air libre doit être combattue. Une fermentation anaérobie dans des fosses recouvertes avec de la matière plastique et de la terre permettrait d'obtenir avantageusement le même résultat c'est-à-dire la stabilisation du fumier préalablement à son épandage aux champs.

En ce qui concerne la bilharziose, la lutte intéresse plusieurs départements.

La leçon à tirer de ces problèmes est de prendre en considération dans les projets d'irrigation futurs les aspects de santé et d'associer les départements de la Santé afin de minimiser l'impact négatif du projet sur la Santé publique.

IV. 2. Impact sur la diversité des espèces biologiques.

Nous avons déjà signalé plus haut le rôle d'un barrage de retenue pour le développement de certaines espèces de moustiques : Culex, Anophèle.

D'autres influences à l'oeuvre conditionnent les espèces végétales rencontrées.

La partie aval du périmètre du Drâa où les phénomènes de salinisation augmentent est caractérisée par un paysage où dominent les plantes halophytes à la fois par la végétation herbacée dominée par le Zygodium goetulum et un certain nombre de plantes appartenant au groupe des Salicornes.

La végétation arborée et arbustive est quant à elle dominée par le Tamarix avec ses quatre espèces :

- Tamarix Articulata (aphylla)
- Tamarix Pantiovulata
- Tamarix Nelotica
- Tamarix Glauca.

On note également l'existence d'espèces arbustives du genre Salsola :

- Salsola Vermiculata
- Salsola Tetragena.

Au niveau des autres espèces animales, l'assèchement du lac IRIQUI en aval de la palme-

raie de M'HAMID, alimenté par les eaux de crue avant la construction du barrage était un lieu de pèlerinage pour un grand nombre d'espèces d'oiseaux migrateurs dont le flamand rose a amené un déplacement du centre d'intérêt de certains de ces oiseaux vers le site du barrage. C'est ainsi qu'on enregistre au niveau de la ville de OUARZAZATE un afflux de hérons garde-boeufs (*Babillus ibis*) source de beaucoup de nuisances (bruit et déjections). (1).

L'intensification de l'irrigation dans la vallée du Drâa est à l'origine de la propagation du Bayoud — maladie cryptogamique du palmier dattier dûe à un champignon : le *Fusarium Oxysporum* forme spécialisée *Adbédis*, qui a décimé presque en totalité les variétés de palmier dattier les plus intéressantes au plan de la qualité des fruits. Car l'eau d'irrigation constitue en effet l'un des vecteurs les plus efficaces du parasite.

L'enrichissement progressif des eaux du barrage en Azote peut être à l'origine du développement d'algues susceptibles de jouer un rôle important dans la chaîne alimentaire et par voie de conséquence dans le recyclage de l'azote qui de ce fait peut être ôté à l'alimentation de la nappe.

De même qu'il est difficile, de prétendre que le projet avait pris en compte de telles modifications, il est actuellement encore difficile d'en mesurer l'impact négatif éventuel en dehors des problèmes liés à la Santé publique et au Bayoud.

Toutefois, le constat de la situation ayant été établi, il importe dans l'immédiat et dans un **cadre concerté** de mener une lutte tous azimuts contre ces fléaux.

D'un autre côté, des études spécialisées doivent être menées pour essayer de tirer le meilleur parti de certains aspects positifs de ces changements et limiter l'impact négatif du projet sur l'environnement.

#### IV. 3. Impact socio-économique de l'irrigation

Les changements apportés par l'irrigation ne se limitent pas au milieu physique. Dans le Drâa, la réglementation coutumière qui régit la distribution d'eau d'irrigation est soumise à rude épreuve. Cette réglementation ne permet pas une gestion rationnelle de l'eau. Actuellement, les agriculteurs tentent d'adapter le tour d'eau à la durée des lâchers.

Inversement, l'existence même de ces droits d'eau a été à l'origine de la conception du réseau d'irrigation puisque les canaux traditionnels ont été maintenus et reliés aux adducteurs par des canaux de liaison.

---

(1) Toutefois, ces oiseaux peuvent jouer un rôle efficace dans la lutte contre les rats.

La réalisation de l'aménagement' a nécessité une adaptation brutale des agriculteurs aux exigences du nouveau système de distribution de l'eau d'irrigation.

L'existence du barrage de retenue entraîne la limitation des dégâts causés dans le passé par les crues et corrélativement réduit la masse des travaux de réfection des diguettes de prises emportées après les crues.

Les résultats économiques du projet sont indéniablement positifs puisque la valeur ajoutée totale dûe au projet est de 140 MDH. C'est du reste là l'objectif du projet et l'action des responsables vise toujours l'accroissement de cette valeur ajoutée.

Il serait toutefois difficile d'imputer ce résultat au seul facteur irrigation étant donné le nombre considérable de facteurs intervenant dans la production agricole : comme les techniques culturales et particulièrement l'utilisation de semences sélectionnées et d'engrais qui ont connu un bond considérable depuis la mise en service du barrage.

## CONCLUSION

Nous avons dans ce qui précède analysé l'impact de l'irrigation dans le Drâa Moyen à différents niveaux en mettant l'accent tout particulièrement sur l'aspect relatif à la dégradation de la qualité des eaux, étant entendu qu'aucune amélioration sensible de la production agricole ne peut être obtenue sans la prise de certaines mesures destinées à récupérer les sols touchés par e de la production agricole ne peut être obtenue sans la prise de certaines mesures destinées à récupérer les sols touchés par l'alcalinité et la salinité et à freiner l'évolution constatée entre 1968 et 1980 en particulier dans les trois palmerais aval.

Comme on a pu le voir à travers les chiffres, les eaux du barrage ne sont pas dans une situation critique et peuvent permettre d'assurer un bon lessivage des sols comme l'indiquent les résultats de la lâchure de Février 1973 qui a réduit notablement la salure dans le lit de l'oued ainsi que les résultats de l'essai réalisé au Ktaoua.

La situation qui prévaut' dans la palmeraie de Ktaoua est simplement alarmante sur le plan de l'alcalinité puisque la fréquence expérimentale des profils alcalinisés est de 19,2 % et nécessite une intervention immédiate.

Nous avons brossé un tableau des mesures correctives susceptibles d'être prises et dont la plupart sont connues de nos agriculteurs.

Nous insistons sur la technique du lessivage qui doit être développée parce qu'elle a déjà donné de bons résultats au KTAOUA — même et ce en

raison de la texture grossière des sols de la vallée dont l'efficacité du lessivage est supérieur à 0,5 limite à partir de laquelle des résultats probants peuvent être obtenus.

Il faut mettre à profit le remplissage de la retenue du barrage pour mettre en exécution un programme d'urgence destiné à combattre ce fléau.

Il existe des modèles pour optimiser la quantité d'eau à apporter pour entraîner les sels d'un sol donné.

Les lâchures du barrage doivent donc se baser sur la connaissance exacte des besoins en eau du palmier dattier (pilier de l'économie oasienne) pour les stades critiques, auxquels il faut ajouter les doses nécessaires au lessivage (Leaching requirement) tout en tenant compte des différentes efficacités et de l'expérience de nos agriculteurs (un adage local dit : « un arbre non irrigué en hiver n'a pas de propriétaire » et un autre dit « un palmier irrigué en Août ne triche pas »).

L'interdépendance des nappes phréatiques des palmeraies, ainsi que l'existence de seuils rocheux en aval de chacune d'elles accentuant les problèmes de salinisation à leur niveau réduisent l'intérêt de l'utilisation des eaux de drainage en aval.

La nécessité d'établir un modèle de simulation des nappes du Drâa intégrant le phénomène de salinité semble admise et l'on se rend compte du caractère fragmentaire des données disponibles.

Il y a donc intérêt à créer au niveau de l'Office une cellule chargée exclusivement des problèmes liés à la salinité et d'abord de la mise en place de dispositifs de collecte de toutes les données requises en vue de pouvoir émettre un diagnostic sur la qualité de ces eaux et prévoir toutes mesures correctives à ce sujet (les paramètres à mesurer figurent dans un tableau du bulletin FAO n° 29).

L'impact d'un projet sur l'environnement particulièrement en ce qui concerne l'aspect sanitaire, doit à l'avenir faire l'objet d'une étude soignée à laquelle dès le stade d'avant-projet devront contribuer des spécialistes en vue d'écarter toutes les variantes dont l'impact pourrait être négatif sur ce plan.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

— Ressources en eau du Maroc : Tome 3 Domaines atlasique et Sud atlasique — Editions du Service Géologique du Maroc — Rabat-1977.

— A. KHANA : Influence de deux eaux d'irrigation sur la salinité et la sodicité des sols de la vallée du Drâa — Mémoire de fin d'études de 3ème cycle de l'I.A.V. Hassan II — 1989.

— MAROC-DEVELOPPEMENT-ACEN : Etude de l'évolution de la salure des sols dans les palmeraies du Drâa Moyen — ORMVAO — 1980.

— La qualité de l'eau en agriculture : Bulletin n° 29 FAO d'irrigation et de drainage.

— Amélioration des sols salins et alcalins : Séminaire de BAGHDAD du 17 au 20 Mars 1986.

— F. DUPRET — F. MOUGENOT et C. CHIANG : Optimisation du dessalage par eau souterraine des sols du TAFILALET. Revue Hommes Terre et Eaux n° 3 — 2ème trimestre 1972.

— NEBBACH Hamidou : Bilan de quatre années de lutte contre la Schistosomiase dans la Province de OUARZAZATE — Thèse de Doctorat en Médecine — Faculté de Médecine de Rabat — 1983

— M. BELHAJ, C. CHIANG, R. FRANKART, H. LAUDELOUT : Modèles mathématiques pour la description de la salure et de l'alcalinisation des sols du Sud marocain — Annales de l'Institut National Agronomique — Vol. VI — n° 1 — année 1976.

— J. CHAMAYOU : Recharge des nappes alluviales en zone aride à l'aval du barrage de stockagè (cas du Drâa) — Rapport de mission Juin 1985.

## LISTE DES ABBREVIATIONS

- C E : Conductivité électrique
- R S : Résidu sec
- IAV HASSAN II : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
- Q : Débit
- O.R.M.V.A.O. : Office Régional de Mise en Valeur Agricole d'OUARZAZATE
- SAR : Ratio d'absorption du sodium
- ESP : Pourcentage de sodium échangeable
- DMV : Direction de la Mise en Valeur
- INA : Institut National Agronomique
- mE/l : Milliéquivalent par litre
- ETP : Evapotranspiration potentielle.
- MDH : Million de Dirhams

# VARIABILITE SPATIALE ET CHRONOLOGIQUE DU CLIMAT MAROCAIN ET IMPORTANCE DE L'IRRIGATION DANS L'AMELIORATION DE SES POTENTIALITES POUR LES CULTURES PLUVIALES (1)

BAZZA, M.(2), et STOCKTON, C.W. (3)

## RESUME

La variabilité de longues séries de précipitations est étudiée dans le temps, au niveau de différentes régions. L'étude a permis de dégager que, même quand les précipitations sont importantes, leur variabilité est plus accentuée que dans la majeure partie du monde et en particulier le monde arabe. Elle a également permis de dégager un certain nombre de modèles pouvant caractériser cette variabilité et permettant de distinguer, à l'échelle du pays, quatre zones qui peuvent être considérées comme homogènes, du point de vue variabilité, lors d'études agrohydrologiques.

Dans une seconde partie, et sur la base de mesures de l'évaporation à partir de bacs classe A effectuées dans plusieurs stations et pendant plusieurs années, les besoins en eau mensuels des céréales d'hiver (blé, orge) sont déterminés. La confrontation de ces besoins aux apports naturels a révélé que même dans les zones où ces derniers sont en moyenne supérieurs aux premiers, ils existe un déficit hydrique. Dans la majeure partie du pays, et surtout dans les zones où les céréales sont pratiquées intensivement et presque exclusivement, ces déficits sont encore plus accentués et ont lieu dans au moins 50 % des années.

L'étude a montré également que les déficits ont lieu essentiellement pendant les périodes critiques d'épaison et de floraison des céréales — et, à un degré moindre, en début du cycle cultural — ce qui entraîne des chutes considérables des rendements.

Les retombées d'apports artificiels d'eau par le biais d'une ou deux irrigations par cycle sont discutées en se basant sur des expériences con-

duites dans différents coins du pays. Il a été trouvé que des apports de quantités aussi faible que 50 à 100 mm, effectués pendant ces périodes critiques, permettent d'améliorer considérablement les rendements.

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

Records of monthly rainfall are studied with respect to variability in time, for different rainfed agriculture regions of the country. It is shown that, even when precipitation is important on the average, its variability is higher than in any other part of the World, and especially in Arab countries. The study allowed the modeling of this variability and the partitioning of the country, based on these models, into four domains which could be considered homogeneous and should be considered separately during hydroagologic studies.

In a second part, and based on evaporation from class A pans, measured at different stations and during numerous years, monthly water requirements of winter cereals (wheat and barley) are determined. The confrontation of these requirements with the natural water supply revealed that, even in the regions where the latter are higher than the former on the average, there exists a water deficit due to the high fluctuations of precipitation both within years and from one year to another. In a large part of the country, and especially in the regions where cereals are cultivated intensively and almost exclusively, these deficits are important and occur in at least 50 % of the years. The study revealed also that these deficits take place essentially during the critical stages of heading, pre-milk, and soft dough — and to a lesser degree in the beginning of the cultural cycle — which results in considerable yield reductions even when the deficits are not very high.

Based on experiments conducted in different parts of the country, the artificial supply, through irrigation, of water quantities as low as 50 to 100 mm, during these critical stages, proved to be very efficient and to result in considerable yield improvements.

(1) Ce travail a été financé, en partie, par le Programme Fulbright, à travers la Commission Marocco-Américaine pour les Echanges Educatifs et Culturels.

(2) Maître de Conférence, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202 RABAT-INSTITUTS — MAROC.

(3) Professeur, W. STADIUM n° 58, University of Arizona — Tucson, ARIZONA 85721, U.S.A.

Spatial and Temporal Variability of the Moroccan Climate and importance of Irrigation in Improving its Potential for Rainfed Crops.

# PREMIERE PARTIE : VARIABILITE SPATIALE ET CHRONOLOGIQUE DES PRECIPITATIONS SUR LE TERRITOIRE MAROCAIN

## VARIABILITE MENSUELLE OU INTRA-ANNUELLE

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles relevées au niveau de 19 stations, et pour des périodes de mesure allant de 15 à plus de 50 ans, montre que dans tout le territoire (voir annexe), et pour tous les mois de l'année, le coefficient de variation (CV) est supérieur à 60 %. Des CV élevés même en période d'hiver impliquent une grande irrégularité des précipitations mensuelles d'une année à l'autre même si les moyennes annuelles sont importantes. La figure 1 illustre la variabilité intra-annuelle dans différentes régions du pays.

Les villes Sud-Atlassiques (Agadir, Taroudant et Ouarzazate) ont des coefficients de variation supérieurs à 100 % durant toute l'année. Ainsi, le Domaine Sud-Atlassique est sujet à des extrêmes, et donc à des sécheresses, beaucoup plus que le Nord du pays. Cette situation est accentuée par le fait que les moyennes annuelles y sont déjà trop faibles et ne peuvent pas subvenir aux besoins des cultures pluviales, même en année normale, comme nous le verrons plus loin.

Les meilleures relations entre les moyennes mensuelles des précipitations, M (mm) et les CV (%) qui leur correspondent sont du type :

$$CV = a - b \ln(M)$$

Le tableau 1 donne les valeurs estimées des coefficients a et b pour les différentes stations analysées ainsi que les CV correspondants. Ce tableau montre que, partout, la variabilité est excessivement élevée en été et diminue rapidement avec l'augmentation de la moyenne mensuelle des précipitations en hiver. Les taux de chute des coefficients de variation ne sont cependant pas les mêmes. En effet, plus la variabilité en période sèche est élevée et plus le taux de chute en hiver est élevé également et vice-versa. D'ailleurs, les valeurs des coefficients a et b sont linéairement liés par la relation :

$$b = -17.35 + 0.228 a \quad R = 0.979$$

C'est-à-dire que quoique les CV maximums des précipitations mensuelles soient différents, la tendance est vers une homogénéisation relative du degré de variabilité pendant la période pluviale d'hiver.

## VARIABILITE INTER-ANNUELLE

Le tableau 2 montre les moyennes annuelles des précipitations, les coefficients de variation et les extrêmes enregistrées pendant les périodes de

mesure. Il ressort des des précipitations, les coefficients de variation et les extrêmes enregistrées pendant les périodes de mesure. Il ressort de ce tableau que contrairement à la variabilité intra-annuelle, les plus grands CV ne sont pas nécessairement associés aux moyennes les plus faibles. On peut remarquer également que cette variabilité est inférieure à la variabilité intra-annuelle en général.

La meilleure relation qui existe entre les moyennes annuelles (M) et les CV correspondants est :

$$CV = 98.2 - 10.9 \ln(M)$$

avec un coefficient de détermination de 54.4 % seulement. On peut également remarquer que les villes de Fès, Demnate et Meknès ont les coefficients de variation les plus bas (25 %) et sont donc relativement moins sujettes à des grandes fluctuations par rapport aux moyennes. Cette stabilité est vraisemblablement due à l'influence du Moyen Atlas. Les villes de Ouarzazate, Agadir, Taroudant et Midelt ont, quant à elles, les CV les plus élevés et sont également, avec Marrakech, les plus défavorisées du point de vue précipitations moyennes annuelles. Ces dernières sont nettement inférieures aux besoins annuels des cultures pluviales qui sont, pour le blé et l'orge, supérieurs à 450 mm dans ces régions comme on le verra plus loin.

Si on considère les 11 villes continentales seulement, on trouve la relation suivante :

$$CV = 127 - 16.1 \ln(M) \quad R^2 = 85.8 \%$$

Par rapport à plusieurs villes du monde arabe où la relation suivante a été dégagée :

$$CV = 922.29 M^{-0.5992} \quad R^2 = 85.8 \%$$

il y a plus de variabilité au Maroc pour les régions où la moyenne annuelle des précipitations est supérieure à 150 mm, c'est-à-dire pour toute la partie au Nord de Ouarzazate.

Pour les villes côtières, et bien qu'il y ait des relations étroites entre les moyennes mensuelles et les CV correspondants, les CV et les moyennes annuels sont quasi-indépendants.

Sur la base des hauteurs des précipitations à l'échelle régionale et du degré de variabilité de celles-ci, on peut distinguer quatre grands domaines ayant des caractéristiques et des comportements différents. Ceux-ci sont le domaine Sud-Atlassique ou Saharien le Domaine Atlassique, le Domaine du Nord-Ouest qu'on pourrait appeler également Domaine du Gharb et le reste qu'on dénommera Domaine Continentale. Nous ne tenons compte, bien sûr, que des zones agricoles où les cultures annuelles, dont surtout les céréales, sont pratiquées intensivement. Le premier, le Domaine Sud-Atlassique, est caractérisé par des précipitations inférieures aux besoins en eau des cultures et

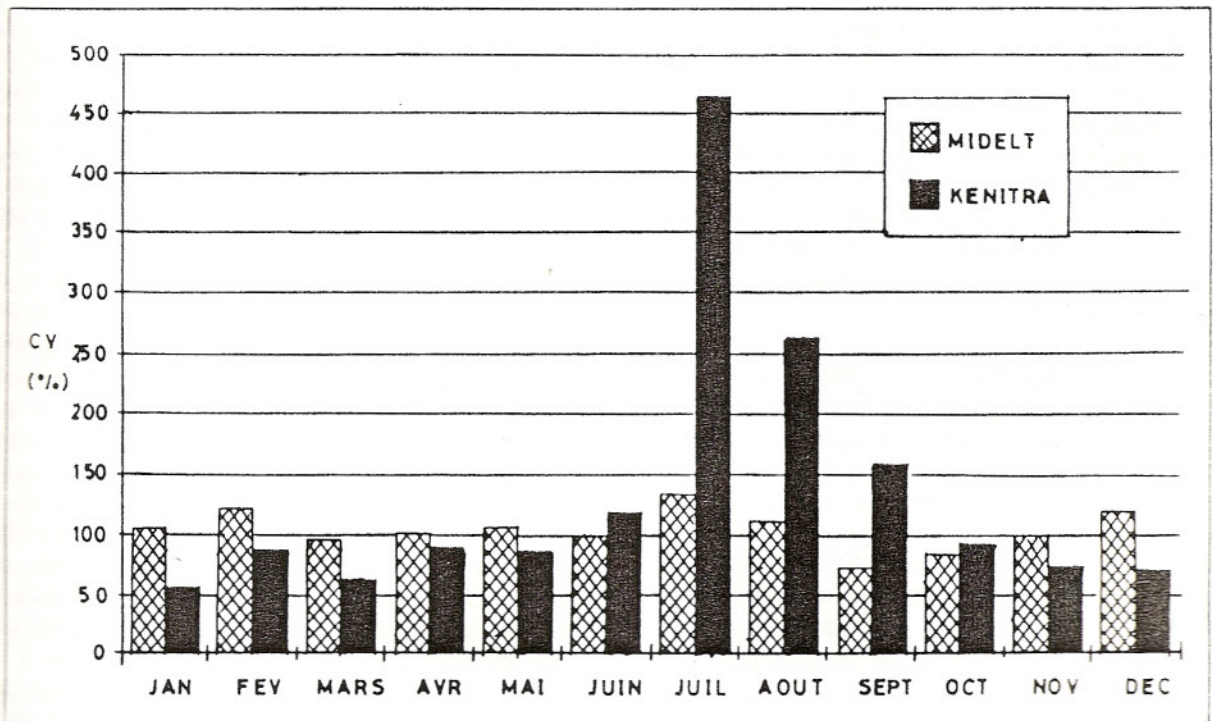
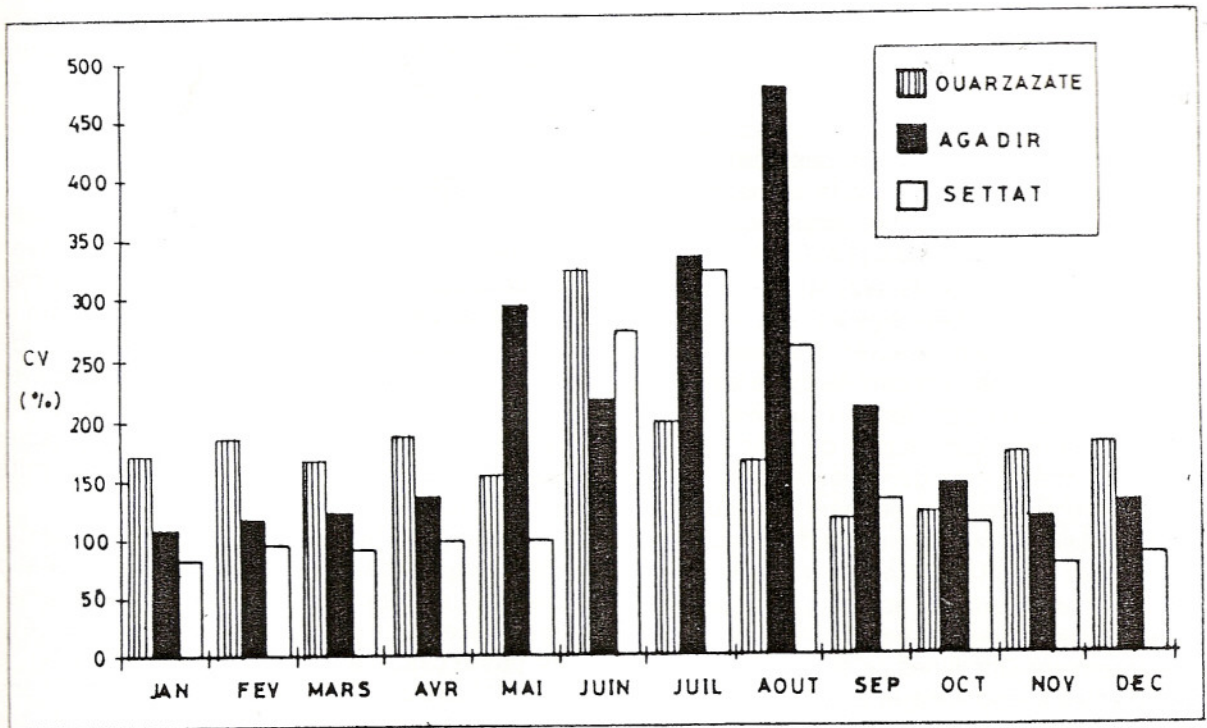


Fig.1: Coefficients de Variation ( CV ) des précipitations mensuelles dans différentes régions.

des coefficients de variation supérieurs à 100 % toute l'année, et ce pour la quasi-totalité des années. Ce domaine est représenté par les villes de Ouarzazate, Agadir et Taroudant. Le domaine Atlassique, représenté par les villes de Fès, Meknès et Demnate, est caractérisé par des précipitations plus ou moins égales aux besoins des céréales et une relative stabilité de ces apports par rapport à tout le reste du pays. De faibles risques de déficit en fin du cycle des cultures (Mars, Avril, Mai) y sont probables. Le Domaine du Gharb, situé essentiellement au Nord de Rabat et longeant les plaines du Gharb et du Loukkos, est caractérisé par un excès de précipitations totales pendant le cycle des cultures mais mal réparties par rapport aux besoins de celles-ci avec surtout des risques de déficit en fin de cycle. Les coefficients de variation dans cette région sont légèrement supérieurs à ceux du Domaine Atlassique, les risques de fluctuations y sont alors assez importants. Enfin le domaine qu'on appelle avec une certaine aberration « Domaine Continental » comprend tout ce qui n'est pas inclus dans les premiers Domaines, c'est-à-dire la côte Atlantique entre Casablanca et Agadir, les plaines de la Chaouia, de Abda, de la Moulouya, etc... Ce domaine est caractérisé par des précipitations totales ne couvrant la totalité des besoins des céréales que d'Hns environ 50 % des années d'une part (voir plus loin) et une variabilité intermédiaire entre les Domaines s des céréales que dans environ 50 % des années d'une part (voir plus loin) et une variabilité intermédiaire entre les Domaines Sud-Atlassique et du Gharb. La majeure partie des zones céréalières du Maroc étant située dans ce Domaine, il est impératif que des efforts considérables y soient déployés et qu'une attention particulière de la part des responsables, des chercheurs et des vulgarisateurs lui soit apportée.

## **DEUXIEME PARTIE : BESOINS EN EAU DES CEREALES D'HIVER METHODOLOGIE D'APPROCHE**

Ces besoins sont déterminés sur la base de l'évaporation à partir de bacs classe A, mesurée pendant des périodes allant de 17 à 24 ans dans onze villes du Royaume, situées dans différents domaines climatiques. La méthode de la FAO (Doorenbos et Pruitt, 1985) a été adoptée pour évaluer les besoins en eau mensuels pour toutes les années pendant lesquelles les mesures de l'évaporation ont été effectuées. Les stades culturaux adoptés sont ceux correspondant à une bonne année agricole où il n'y a pas de limitation en eau. Pour chaque phase ou stade cultural, le coefficient

cultural utilisé est le maximum des coefficients du blé et de l'orge quand ceux-ci sont différents. Les différences entre ces deux coefficients, quand elles existent, sont cependant très faibles et résultent en des différences de besoins en eau de l'ordre de 5 à 10 % seulement.

### **RESULTATS ET DISCUSSION**

Le tableau 3 donne les moyennes mensuelles des précipitations, les besoins en eau moyens mensuels estimés à partir de l'évaporation mensuelle et les déficits moyens mensuels pendant les périodes indiquées. Les valeurs indiquées des besoins correspondent aux besoins nets et doivent être majorés pour tenir compte des pertes. Afin d'apprécier le degré de variabilité de ces variables, nous avons reporté sur le même tableau les limites des intervalles de confiance à 95 %.

D'après ce tableau, on peut faire un certain nombre de remarques : 1) l'évapotranspiration mensuelle (et donc l'évaporation) est relativement plus stable et varie peu d'une année à l'autre, ce qui n'est pas le cas pour les précipitations. En effet, les intervalles de confiance, qui peuvent être considérés comme une mesure de la variabilité, sont beaucoup plus petits pour les besoins en eau que pour les précipitations.

Si on les standardise en divisant leur longueur par les moyennes correspondantes, on trouve que la variabilité des précipitations est trois à cinq fois plus élevée que celle de l'évaporation. D'ailleurs, les précipitations et les taux d'évaporation mensuels ne sont pas bien corrélés contrairement aux moyennes annuelles. Quand on ne considère que les périodes d'Octobre à Mai, même les moyennes annuelles ne sont que peu corrélées. 2) La deuxième remarque qu'on peut faire à partir du tableau 3 concerne la couverture des besoins par les précipitations. Sur les 11 stations analysées, seules celles de Midelt, Agadir, Marrakech et Oujda ont un bilan déficitaire quand on ne considère que les cumuls des moyennes mensuelles de l'évapotranspiration et des précipitations pendant le cycle cultural. La couverture des besoins par les précipitations est de 25, 51, 54 et 72 % respectivement dans ces quatre stations. Sur la base de ceci, les modèles prétendant prédire les rendements à partir des précipitations moyennes pendant le cycle cultural, diraient que seul le Sud de l'Atlas, et à un degré moindre le Maroc Oriental, sont sujets à des chutes de rendements qui seraient de 75, 49, 46 et 28 %, par rapport aux rendements potentiels, dans les villes de Midelt, Agadir, Marrakech et Oujda respectivement.

Ce raisonnement serait valable dans un climat

où les pluies sont uniformément réparties durant le cycle cultural et d'une année à l'autre. Dans le cas d'un climat méditerranéen tel celui du Maroc, on peut remarquer que partout, il y a un déficit pendant la phase la plus critique pour les céréales d'hiver c'est-à-dire la période Mars-Avril-Mai sauf à Tanger, Larache, Fès et Meknès où les besoins de Mars sont à peine satisfaisants sans excès qui pourrait être stocké dans le sol et utilisé ultérieurement pendant la période déficitaire d'Avril-Mai. La ville de Safi qui représente la plaine céréalière de Abda, quoique les conditions climatiques y soient différentes en raison de la proximité de l'Océan, est déficitaire à partir de Janvier. Casablanca, la station analysée la plus proche de la plaine de la Chaouia, est déficitaire à partir de Février. Les régions Orientales et Sud-Atlasique sont déficitaires toute la saison à l'exception des mois de Novembre et/ou Décembre pour certaines stations.

Ces résultats sont basés sur un raisonnement optimiste puisqu'il suppose que les précipitations observées sont réparties sur tout le mois ce qui n'est pas toujours le cas. En effet, les précipitations sont souvent concentrées sur un ou deux jours par mois, surtout au début et à la fin du cycle cultural. Ainsi, même quand le bilan entre précipitations et besoins en eau des cultures est positif, on peut avoir un déficit pendant une grande partie du mois surtout si les précipitations n'ont lieu qu'à la fin du mois et que le stock initial de l'eau dans le sol est faible.

Afin d'évaluer les fréquences des années où les besoins sont couverts, et puisque ces derniers ne fluctuent pas beaucoup d'une année à l'autre, nous avons confronté les précipitations mensuelles à ces besoins moyens. Ceci nous a permis de déterminer les fréquences relatives ou probabilités de couverture de différentes fractions de l'évapotranspiration, pour tous les mois du cycle cultural et pour les différentes régions. Ceci a révélé que partout il y a des déficits pendant les mois de Mars, Avril et Mai même pour les stations où les moyennes annuelles des précipitations dépassent largement les besoins tels les cas de Kénitra et Larache par exemple. A l'échelle de tout le cycle cultural (Octobre à Mai), les besoins ne sont satisfaits en totalité que dans environ 50 % des campagnes agricoles pour les régions les plus arrosées du pays (Nord-Ouest) bien que sur la base des moyennes de plusieurs années, les besoins sont couverts jusqu'à 160 % et au delà. Ceci étant évidemment dû aux grandes fluctuations des précipitations d'une année à l'autre (voir première partie). D'où l'intérêt de grands réservoirs pour régulariser ces apports et l'intérêt, bien sûr, de l'irrigation pour

assurer la satisfaction des besoins un plus grand nombre d'années.

Si on considère les régions céréalières (Abda, Doukkala et Ben Guérir) ont peut conclure, sur la base des données des stations analysées les plus proches (Safi, Casablanca et Marrakech respectivement), que les réductions de l'évapotranspiration (déficits) sont de l'ordre de 40 à 50 % en moyenne. Comme au niveau de Casablanca et de Safi l'influence de l'Océan aurait tendance à augmenter les précipitations et diminuer l'évaporation par rapport aux plaines de la Chaouia et de Abda, les déficits auraient lieu au niveau de ces dernières dans environ 50 et 60 % des années respectivement.

### **TROISIEME PARTIE : IMPORTANCE DE L'IRRIGATION DANS L'ATTENUATION DES DEFICITS HYDRIQUES**

Avant d'aborder le rôle que peut jouer l'irrigation dans l'amélioration des rendements, analysons d'abord l'effet du déficit hydrique sur les rendements. Le tableau 4 montre les totaux des précipitations, aux niveaux de différentes régions pendant la période d'Octobre à Mai et les rendements moyens des céréales, à l'échelle nationale, pour les campagnes 82-83 et 85-86.

Il ressort de ce tableau que les rendements sont étroitement liés aux quantités d'eau disponibles et qu'une augmentation de ces dernières de 42 % a entraîné une amélioration des rendements des principales céréales du même pourcentage.

Si on se limite aux zones d'action des Directions Provinciales d'Agriculture (DPA) où l'irrigation est très limitée, voire même inexistante les années sèches, les augmentations des rendements de 1982-83 à 85-86 sont de 43 %, 49 % et 61 % pour le blé dur, le blé tendre et l'orge respectivement.

Afin de confirmer les résultats de la deuxième partie qui montrent que les déficits de la fin du cycle cultural sont les plus responsables des chutes des rendements, nous avons détaillé pour certaines stations, les précipitations par saison et les rendements moyens pour les mêmes campagnes (tableau 5). Il ressort de ce tableau que mis à part Marrakech, et à un degré moindre Casablanca, les précipitations des six premiers mois (Septembre à Février) de la campagne 82-83, étaient suffisantes pour couvrir les besoins et qu'en conséquence, les chutes des rendements de 82-83 étaient dûes essentiellement au déficit de la période de Mars-Avril-Mai. D'autre part, on peut remarquer que quoique ces déficits ne représentent pas de grandes hauteurs d'eau, les chutes des rende-

ments qui en résultent sont énormes. Ainsi l'apport de faibles quantités d'eau (50 à 100 mm), sous forme d'irrigation de complément aurait une très grande rentabilité et améliorerait considérablement les rendements. Ceci a été confirmé, expérimentalement, par plusieurs chercheurs qui ont travaillé dans différentes régions du pays. Ainsi par exemple, Hubert (1978) a trouvé que l'apport de faibles quantités d'eau, sous forme d'une ou deux irrigations, en fin de cycle cultural, et surtout en Mars, a permis une amélioration des rendements du blé dur au Tadla pendant toutes les campagnes sur lesquelles sont étudiés (1966-67 à 73-74). Ces améliorations ont été de plus de 65 % dans 50 % des campagnes et ont atteint jusqu'à 100 %. Le même auteur a trouvé que les rendements du blé dur, dans la même région, étaient reliés à la couverture des besoins (et donc au déficit hydrique) du mois de Mars par la relation :

$$R = 7.847 + 0.039 (P-ETM) \text{ Mars}$$

où les rendements (R) sont en quintaux par hectare et P et ETM sont en mm.

L'auteur a trouvé que la quantité (P-ETM) pendant le mois de Mars n'était positive que dans 3 années sur dix.

Des essais menés par le Service de la Météorologie Nationale à Meknès, ont montré que les rendements du blé tendre (Nesma 149) non irrigué, étaient de 33 et 47.3 qx/ha pendant les campagnes 82-83 et 85-86 respectivement alors que les cumuls des précipitations pour les périodes de Septembre à Mai étaient de 418.5 et 631.9 mm respectivement pour les deux campagnes. Pendant la campagne 82-83, le cumul des précipitations des mois de Mars, Avril et Mai n'était que de 81 mm alors que pour 85-86, il était de 137 mm ce qui montre encore une fois que les chutes relatives des rendements sont dûes essentiellement au déficit hydrique des trois derniers mois du cycle cultural d'une part, et que ces déficits, quoique ne représentant que de faibles hauteurs d'eau et peuvent donc être comblés par une ou deux irrigations de complément causent des chutes importantes des rendements puisqu'ils interviennent à un moment critique du cycle de la culture (épiaison-remplissage des grains).

Les mêmes auteurs ont montré que le rendement de la même variété de blé, mais en irrigué, était de 51 qx/ha pendant la campagne 84-85 alors que les précipitations cumulées durant le cycle n'étaient que de 381 mm. Durant cette même campagne, l'irrigation de l'orge vers la fin du cycle a résulté en une augmentation des rendements de plus de 26 % (24 qx/ha en irrigué contre 19 en bour).

Des essais similaires conduits près d'Oujda pendant la campagne 84-85 ont montré que l'irrigation du blé et de l'orge a résulté en une amélioration de la hauteur des plantes, mesurée au stade floraison, de plus de 20 % par rapport à celles qui n'étaient pas irriguées.

Enfin, des essais menés par le Laboratoire de Recherche de l'Environnement de l'Université de l'Arizona (1979), dans le périmètre de Souss-Massa (Agadir) ont montré que l'apport de 100 à 200 mm d'eau, sous forme d'irrigation, a résulté en des améliorations des rendements pour l'ensemble des sept variétés de blé testées et que ces améliorations étaient beaucoup plus importantes pour certaines variétés que pour d'autres (tableau 6).

## CONCLUSION

La présente étude a confirmé ce qui est reconnu comme étant le caractère principal des précipitations au niveau du Bassin Méditerranéen en général, et du Maroc en particulier, à savoir l'irrégularité excessive; le résultat de cette variabilité étant une distribution inégale des précipitations sur le territoire d'une part, et d'une année à l'autre d'autre part. L'analyse de la distribution des précipitations dans l'espace et du degré de variabilité qui la caractérise a permis de répartir le pays en quatre zones qui doivent être considérés séparément lors d'études agro-hydrologiques. L'évaporation à partir de Bacs classe A est cependant plus stable relativement.

La confrontation des besoins en eau des céréales d'hiver (blé et orge), déterminés sur la base de cette évaporation et des coefficients culturaux de la FAO correspondant aux stades culturaux d'une bonne année agricole, montre qu'en se basant sur les moyennes annuelles, seule une partie restreinte du pays est déficitaire (Domaine Sud Atlassique et, à un degré moindre l'Oriental).

Cependant, quand l'analyse est faite à l'échelle annuelle, on remarque qu'il y a un déficit hydrique dans tout le pays, surtout pendant les périodes critiques des mois de Mars, Avril et Mai, et, à un degré moindre en début du cycle cultural; et ce même pour les régions les plus arrosées du pays. Dans les régions où les céréales sont pratiquées intensivement et presque exclusivement, des déficits hydriques ont lieu dans environ 50 à 60 % des années.

Quoiqu'ayant lieu très fréquemment, ces déficits hydriques ne sont souvent pas très élevés (100 à 200 mm), mais résultent en des chutes de rendements considérables en raison du fait qu'ils ont lieu pendant les stades critiques d'épiaison, de floraison et de remplissage des grains. De ce fait,

leur correction par une ou deux irrigations de complément ne demande pas de grandes quantités d'eau d'une part, et permet d'améliorer les rendements considérablement d'autre part. Les retombées de tels apports artificiels ont été mises en évidence par plusieurs essais conduits au niveau de différentes régions du pays.

## REFERENCES

BELL, F.C. 1969. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. J. Hydrol. Div., ASCE. 95 (HY1) : 311-327.

BERNARD, M.M. 1932. Formulas for rainfall intensities of long duration. Trans. ASCE. 96 : 562-606.

FAO. 1981. Arid zone hydrology for agricultural development. Irrigation and Drainage paper 37. Rome.

HANKS, R.J. 1983. Yield and Water-Use Relationship: An Overview. in: Taylor, H.M., Wayne, R.J., and Sinclair, R. (editors). Limitations to Efficient Water use in Crop Production.

ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI.

HARGREAVES, G.H. 1988. Extreme Rainfall for Africa and other Developing Areas. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 114. n° 2.

MARA/DPAE. Enquête Agricole. Principales Productions Végétales. Campagne 1982-83, et 1985-86.

MARA. 1987. L'Agriculture en chiffres.

Ministère des Transport — Division de Climatologie Générale et Appliquée. Service d'Agrométéorologie. Recueil des données agroclimatologiques. Années Agricoles 1982-83, et 83-84.

Années agricole 1985-86.

STEWART, J.I., and HASH, C.T. 1982. Impact of Weather Analysis on Agricultural Production and planning decisions for the semi-arid, areas of Kenya. Journal of Applied Meteorology. Vol. 21. N° 24.

STOCKTON, C.W. and Associates, Inc. 1985. Long term Reconstruction of Drought in Morocco. A project Commissioned by His Majesty King Hassan II of Morocco.

The environmental Research Laboratory of the University of Arizona. 1979. Accelerated Applied Research Program in Agriculture in the Massa Region of Morocco. Report prepared for Office Regional de Mise en Valeur Agricole du Souss-Massa, Agadir, Morocco.

**Tableau 1: Paramètres des équations  $CV = a - b \ln(M)$**

Station	a	b	Coef.Corr.
Casablanca	227	35.2	0.994
Safi	202	24.9	0.969
Kénitra	295	53.4	0.965
Marrakech	259	50.5	0.962
Tanger	263	40.0	0.958
Settat*	290	52.3	0.923
Fès	160	20.8	0.920
Oujda	184	25.0	0.914
Taroudant	258	39.6	0.891
Agadir	274	40.5	0.827
Ouarzazate**	264	42.2	0.578
Midelt	147	15.2	0.493

\*  $CV = 301.85 M^{-0.316}$   $R = 0.941$

\*\*  $CV = 235.1 \exp.(-0.034 M)$   $R = 0.647$

**Tableau 2: Précipitations moyennes annuelles, coefficients de variation, et extrêmes annuels observés.**

Stations	PPT(mm)	CV(%)	Rang CV	Extrêmes (mm)
Tanger	859.51	27.88	6	398.4-1462.9
Larache	724.1	34.96	13	409.5-1404.5
Tétouan	723.57	32.21	12	272.3-1297.4
Demnate	648.24	23.75	2	— —
Kénitra	600.33	27.49	5	357.8-920.6
Meknès	593.04	24.44	3	367.7-1018.8
Fès	545.51	22.73	1	319.8-804.1
Casablanca	490.20	31.63	10	148.5-805.7
Béni-Mellal	411.62	29.89	8	— —
Oued-Zem	402.82	35.02	14	— —
Safi	384.91	31.60	9	136.6-634.0
Settat	373.25	35.23	15	— —
Oujda	342.26	28.46	7	110.1-570.2
Essaouira	275.18	27.35	4	124.1-432.3
Taroudant	247.87	39.19	17	145.0-572.3
Marrakech	246.12	31.95	11	80.9-430.1
Agadir	237.60	46.29	18	82.9-670.0
Midelt	228.49	37.74	16	6.7-487.1
Ouarzazate	108.57	54.04	19	6.3-278.5

**Tableau 3: Moyennes mensuelles et intervalles de confiance des précipitations, des besoins en eau nets et des déficits hydriques**

Mois	Besoins	(mm)	Précipitations	(mm)	(2)-(1)	(mm)
	moyenne (1)				moyenne	
		+	Moyenne (2)		+	

STATION DE FES : Données de 19 ans						
O	30	5	45	22	15	25
N	29	4	66	23	37	30
D	31	4	65	23	34	24
J	48	6	62	26	14	26
F	54	5	78	26	24	32
M	71	8	80	18	9	25
A	80	10	66	22	-14	29
M	45	7	40	15	-56	20
Totaux	388	23	502		114	

STATION DE LARACHE : 21 ans						
O	10	1	63	30	53	30
N	17	1	84	35	67	33
D	20	1	133	60	113	60
J	28	2	124	44	96	44
F	46	3	109	40	63	41
M	75	6	77	25	2	29
A	86	4	71	27	-15	30
M	76	6	37	17	-39	21
Totaux	358	10	698	118	340	—

STATION D'AGADIR : 19 ans						
O	28	5	15	11	-13	12
N	42	5	47	26	5	26
D	52	6	62	39	10	42
J	79	13	34	24	-45	31
F	98	12	30	17	-68	23
M	116	19	30	15	-86	31
A	59	8	22	16	-37	19
M	6	0	4	3	-2	4
Totaux	480	62	244	67	-236	—

**Tableau 4 : Rendements moyens (quintaux à l'hectare) à l'échelle national, et précipitations cumulées aux niveaux de différentes stations pendant la période d'Octobre à Mai — Campagnes 82-83 et 85-86.**

Rendements moyens (qx/ha)

Culture	82-83	85-86	Augmentation
Blé dur	9.63	16.62	42 %
Blé tendre	10.61	17.67	40 %
Orge	5.71	14.41	60 %
Maïs	5.89	8.18	28 %

Moyenne 42.5 %

Cumuls des précipitations (mm) pendant la période d'Octobre à Mai

Stations	82-83	85-86	Augmentation
Oujda	144.7	222.5	35 %
Tanger	524.5	747.8	30 %
Kénitra	486.5	782.1	38 %
Casablanca	286.5	444.2	40 %
Meknès	406.4	567.0	28 %
Marrakech	98.3	171.4	4 %
Midelt	79.8	113.1	29 %
Agadir	88.3	230.6	62 %
Laâyoune	16.2	60.0	73 %

Moyenne 42 %

Tableau 5 : Précipitations par saison et rendements aux niveaux de quelques régions. Cameroun 82-83 et 85-86.

STATIONS	PRÉCIPITATIONS (mm)								Rendements (qx/ha)					
	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars-Av. Mai		Total Sept à Mai (mm)		Blé tendre		Orge	
	82-83	85-86	82-83	85-86	82-83	85-86	82-83	85-86	82-83	85-86	82-83	85-86	82-83	85-86
Meknès	159.9	149.0	179.5	336.2	81.0	136.6	420.4	621.8	20.1	25.7	19.0	22.0		
Settat	—	—	—	—	—	—	—	—	0.7	15.5	0.9	18.1		
Béni-Mellal	66.1	66.7	104.1	168.4	41.8	98.0	212.0	333.1	2.7	32.4	1.2	25.1		
Casablanca	62.6	37.7	139.7	334.5	70.3	75.2	272.6	447.4	8.9	26.1	7.5	21.2		
Fès	199.4	95.6	148.3	239.3	76.3	154.9	424.0	489.8	14.5	21.8	10.5	17.7		
Marrakech	21.5	36.6	50.9	83.9	27.8	50.9	100.2	171.4	1.1	5.8	2.6	11.0		

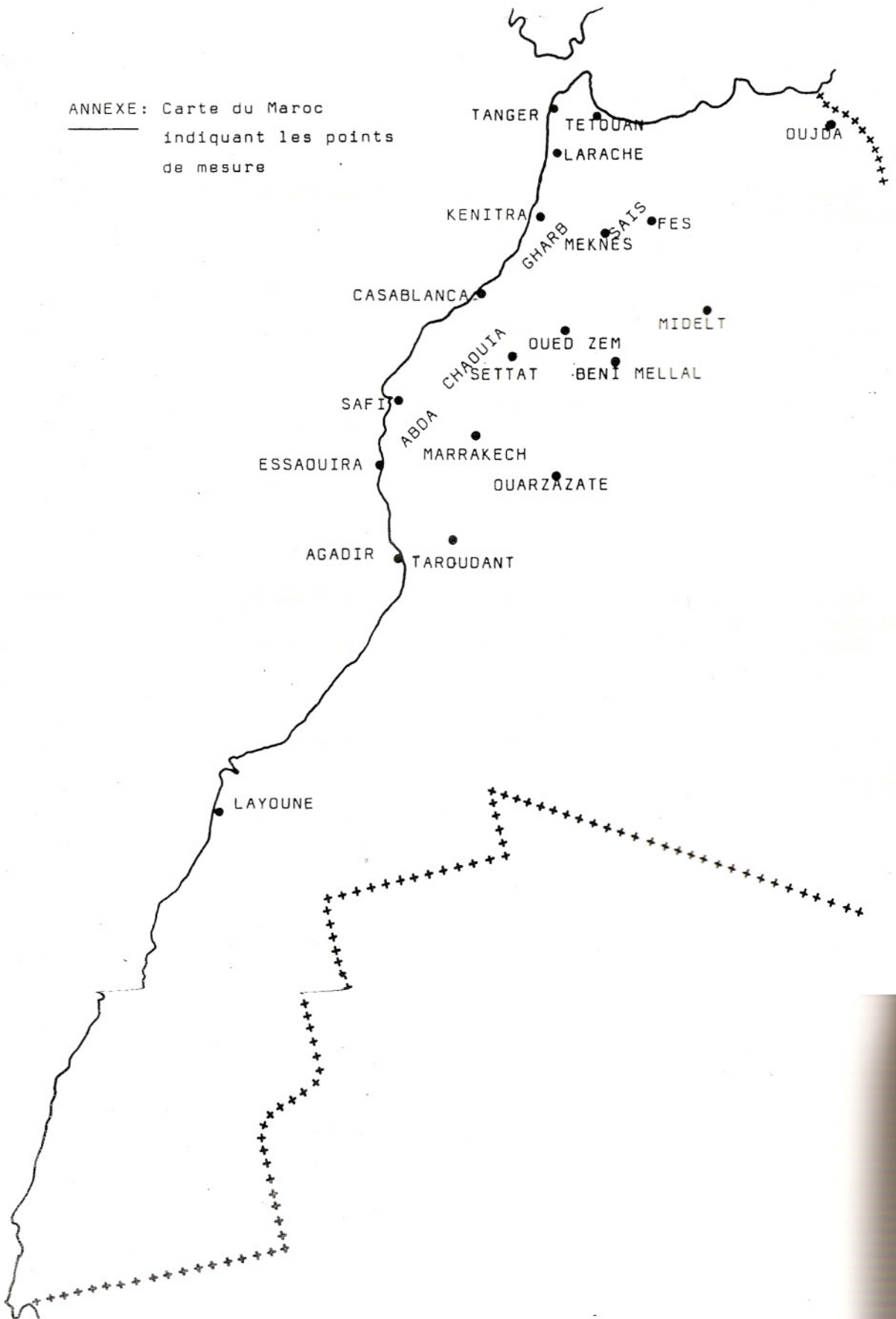
Tableau 6 : Rendements (qx/ha) de différentes variétés de blé en fonction des hauteurs d'eau apportées. Régions de Sous-Massa (Agadir).

Source : The Environmental Research Laboratory of the University of Arizona 1979).

Hauteur d'eau (mm) dont précipitations*	VARIETES						
	Funks	INIA	AIM	Produra	Mexicali	Probred	Nasma
211	12.5	12.0	20.5	18.4	16.4	26.0	18.8
315	11.0	19.1	19.8	16.6	16.7	24.1	21.9
408	22.1	18.2	28.7	22.9	23.5	35.2	24.0

\* Les précipitations représentent 146.2 mm réparties en 5 mois dont 83.6 en Janvier (maximum) et 0.6 mm en Avril (minimum). L'irrigation est par aspersion.

ANNEXE: Carte du Maroc  
indiquant les points  
de mesure



# MAXIMISATION DE L'EFFICIENCE DE L'EAU CAS DU BLE

## WATER EFFICIENCY MAXIMISATION CASE OF WHEAT

Par : BENCHOKROUN I. (\*)  
HANDOUFE A. (\*\*)

### RESUME

Au Maroc, la culture du blé occupe une place de choix par son importance économique, sociale et même culturelle. Sa production est, néanmoins, très variable en fonction des fluctuations du climat, notamment les précipitations. En effet, le pays connaît des sécheresses tant à l'échelle annuelle que pluriannuelle.

Cette communication présente quelques résultats des essais réalisés par le Service des Expérimentations d'Hydraulique Agricole dans la région de Tadla. Le but recherché est l'augmentation de l'efficacité de l'eau, aussi bien pluviale que d'irrigation, dans le cas de la culture du blé.

Concernant le blé réalisé en sec, pour profiter au mieux des eaux de pluie, il faut réaliser le semis le plus tôt possible de façon à faire coïncider les phases « semis-levée » et surtout « gonflement-floraison » avec des périodes où le déficit hydrique est le plus bas possible. De même, l'irrigation d'appoint, quand elle est possible, doit être apportée au début de la phase critique « gonflement-floraison ». S'agissant du blé irrigué, en cas de forte baisse des ressources en eau, il est plus judicieux de limiter le nombre d'irrigation que de réduire la superficie emblavée.

### SUMMARY AND CONCLUSIONS

#### 1. Introduction and water penury view

In Morocco, wheat crop occupies a considerable rank regarding its economical, social and cultural importance. However, wheat production is very variable depending on climatic changes, especially rainfall. In fact, this country is acquainted with annual and plurannual drought periods.

The paper presents some experimental results carried out by the Agriculture & Hydraulic Experimental Service on wheat irrigation in the Tadla area. The main objective of this study was to maximize rain and water irrigation uses for a better wheat production.

(\*) Chef du Service des Expérimentations d'Hydraulique Agricole, 461 Av. Hassan II Akkari — Rabat — MAROC

(\*\*) Ingénieur au même service.

#### 2. Wheat yield response to water

Wheat is one of the crops that are characterized by sensitive growing periods sensitive to water stress. The period of « flowering » (swelling — apparition of stamens) is the most critical one. In return, the « seedling — swelling » period is the less sensitive.

#### 3. Maximising water efficiency

##### 3.1. rainfed wheat

In this case, depending on the sowing date, the different growing stages will coincide with period which may be more or less water deficitary. The critical growing stage is more exposed to drought hazard, which may occur as early as the beginning of spring, when the sowing date is late.

Complementary irrigation yields to a better water use efficiency (yield increase/water volume applied ratio) if applied during critical period.

##### 3.2. Irrigated wheat

The experiments conducted in the Tadla area, showed that wheat requires three irrigations in average climatic conditions. However, the efficiency of each one depends on the growing stage when this irrigation is applied. However, efficiency is maximum during the « flowering » stage.

#### 4. Conclusions and recommendations

For wheat, maximal valorisation of rain or irrigation water has to be related to critical growing water stress period, which is a particular characteristic of some crops such as wheat.

In case of rainfed, the sowing date has to be as early as possible so that the critical growing stage « flowering » will coincide with the rainy period in which the water deficit is less pronounced. Besides, the choice of varieties with low photoperiod demand will allow to situate this growing stage beyond drought hazard that may occur as early as the beginning of spring, under mediterranean semi-arid climate, such as Morocco.

The water irrigation efficiency is maximum when applied during the critical period.

During water penury periods, it is recommended to rather decrease the number of irrigations than the irrigated surface. Therefore, for the same amount of water saved, the crop production of the former is better than the one obtained by decreasing the cultivated area.

## INTRODUCTION

Au Maroc, la production du blé (dur et tendre) joue un rôle éminemment important sur les plans économique, social voire culturel. Cette place de choix s'explique par les facteurs suivants :

— Cette spéculation est emblavée annuellement sur 2 millions d'hectares en moyenne, soit 36 % de la superficie cultivée totale;

— Elle est pratiquée dans la quasi-totalité des exploitations et occupe, avec les autres céréales, 80 % de la population rurale active;

— Sa production contribue fortement à la satisfaction des besoins alimentaires humains et du cheptel.

La superficie ensemencée en blé tendre augmente régulièrement, alors que celle du blé dur accuse une baisse continue, depuis 1976.

Concernant l'alimentation en eau de cette culture, seulement 10 % de sa superficie est irriguée, le reste étant entièrement réalisé en sec. D'où la grande dépendance de la production céréalière de la pluviométrie. Or, au Maroc, dont le climat est méditerranéen semi-aride dans la majorité des régions agricoles, la pluviosité est très irrégulière. Il en résulte que la production du blé varie considérablement d'une année à l'autre, en dépit d'une relative stabilité des superficies emblavées (PAPY; 1978).

Concernant la consommation du blé au Maroc, l'accroissement démographique et le changement des habitudes alimentaires entraînent une forte augmentation des besoins en blé.

Ainsi le pays, qui exportait cette denrée avant 1960, en a importé 3,5 millions de quintaux annuellement, en moyenne durant le quinquennat 1961-65 et 22 millions de quintaux, au cours de la période 1981-85.

Tous ces facteurs montrent l'importance capitale de l'augmentation et de la stabilisation de la production du blé au Maroc. Ceci ne peut être obtenu que par une meilleure valorisation, par cette culture, de l'eau qu'elle soit d'origine pluviale ou d'irrigation. La présente communication résume quelques résultats expérimentaux obtenus dans ce domaine, par le Service des Expérimentations d'Hydraulique Agricole à la station Ouled Gnaou située dans la plaine du Tadla.

### 1. Aspects de la pénurie d'eau

Sous un climat aride à semi-aride, comme celui du Maroc, la pénurie d'eau est assez fréquente et peut avoir deux aspects différents selon son importance :

— Une sécheresse de courte durée caractérisée par un manque de précipitations durant une

période limitée de l'année. La culture de blé la plus touchée dans ce cas est celle qui est menée en sec, puisqu'en irrigué cet effet est facilement atténuable;

— Une sécheresse de longue durée, comme ce fut le cas du Maroc qui a connu ce type d'aléa climatique entre 1980 et 1985. Dans ce cas, les précipitations sont inférieures à la normale; les réserves hydriques de surface (cours d'eau et barrages) et souterraines, se trouvent fortement réduites. Dans de telles conditions, même le blé cultivé en irrigué peut être affecté par le manque d'eau.

Il est donc très important de distinguer deux cas quant au choix des méthodes permettant une meilleure valorisation de l'eau pendant la sécheresse à savoir : le blé réalisé en sec et le blé irrigué.

Avant la présentation et la discussion de quelques unes de ces méthodes, certains résultats relatifs à la réponse du blé à l'eau seront passés en revue.

## 2. REPONSE DU BLE A L'EAU

Le blé est réputé pour être une plante présentant des phases critiques de son développement, vis-à-vis de l'eau, durant lesquelles un déficit hydrique peut entraîner d'une façon irrémédiable une chute importante du rendement. En dehors de ces phases, le blé résiste beaucoup mieux à la sécheresse (SALTER & GOODE; 1967).

Des essais ont été menés durant plusieurs années dans la plaine du Tadla sur la variété la plus cultivée dans cette région : Siété — Cerros (*Triticum aestivum*). Ils ont montré que la phase s'étalant entre le stade « gonflement » (stade D)\* et le stade « floraison » (sortie des étamines) est la phase la plus sensible à l'eau comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau n° 1 : principales « phases critiques » du développement du blé.

---

Phase de développement	Chute du rendement durant laquelle le déficit par rapport au témoin hydrique ** est appliqué	maintenu humide
------------------------	--	-----------------

---

« Gonflement-floraison » 40 à 50 %

« Remplissage du grain » 15 à 25 %

---

\*\* Le déficit hydrique est au moins égal à 60 % de l'évapotranspiration maximale (ETM) du blé.

Le stade « levée » (une feuille) peut être aussi un stade sensible, néanmoins le blé, en général,

n'est pas semé avant qu'une humidité suffisante soit accumulée dans le sol suite aux pluies automnales (voir § 3.1) pour assurer une bonne levée. Par ailleurs, d'une part une faible levée due à un manque d'eau peut être compensée par un fort tallage et d'autre part les besoins en eau du blé sont faibles pendant cette phase.

\* Selon l'échelle de JONARD et al., (1952).

La phase « levée-gonflement » s'est avérée une phase où le blé a le plus grand pouvoir de résistance à la sécheresse : un déficit hydrique croissant allant jusqu'à une valeur de 80 % par rapport à l'E.T.M. n'a eu aucun effet sur le rendement en grain.

Un déficit hydrique appliqué uniquement pendant le remplissage du grain a entraîné une chute de rendement variant entre 15 et 25 %. Cependant, une humidification (pluie ou irrigation) durant cette phase, n'apporte rien si elle succède à un déficit hydrique observé durant la phase « gonflement-floraison ». Cette dernière phase étant une phase de pleine croissance (montaison), la biomasse, en général, et la surface foliaire, en particulier, sont fortement réduites par le déficit hydrique et les besoins en eau de la culture le sont également pendant la phase suivante : remplissage du grain. Par ailleurs, pendant cette phase, il y a un phénomène de compensation par le poids du grain, en tant que réaction d'adaptation de la plante à la sécheresse, survenue pendant la phase « gonflement-floraison » (HANDOUFE; 1988).

### 3. MAXIMISATION DE L'EFFICIENCE DE L'EAU (\*)

#### 3.1. Culture en sec

##### 3.1.1. Choix d'un cycle végétatif favorable du blé

Il s'agit de choisir un cycle végétatif (en jouant sur la date de semis) qui permet une utilisation maximale de l'eau des pluies. Pour cela, il faut satisfaire deux exigences essentielles :

— avoir une humidité suffisante dans le sol au moment du semis;

— placer la phase la plus critique « gonflement-floraison » dans une période pluvieuse ayant le plus faible déficit hydrique possible.

La figure n° 1 montre la hauteur des précipitations. Au lieu des valeurs moyennes, les valeurs médianes, qui peuvent être reçues une année sur deux (5ème décile), dans la région du Tadla, sont

prises en considération, en raison de la grande variabilité interannuelle de la pluviométrie. A ce propos, il faut signaler que si la probabilité d'avoir ces valeurs à l'échelle décadaire est de 50 %, elle est de 80 et 90 % respectivement au niveau mensuel et annuel.

Les valeurs ont été comparées à des valeurs moyennes de l'évapotranspiration maximale du blé mesurée par lysimètre dans la même station sur plusieurs années (6 ans). Un bilan hydrique climatique (où n'intervient ni le sol ni la plante) a été déterminé pour chaque décade. Ce bilan est négatif (déficit hydrique climatique) au début de la campagne agricole. Il devient nul ou légèrement positif entre le 20 novembre et fin décembre. Par la suite, le déficit s'installe d'une façon permanente et augmente progressivement jusqu'à la fin de la campagne. Dans ces conditions, si l'on veut satisfaire les deux exigences mentionnées ci-dessus, il faut semer le blé du 20 novembre à la fin de décembre, dans la région où l'étude a été réalisée, avec une préférence particulière pour la troisième décade de novembre.

En effet, avant cette période, le cumul de la pluviométrie est, une fois sur deux, encore trop faible pour assurer une bonne levée. Du reste, un semis plus précoce (avant le 20 novembre) n'apporte rien quant à l'avancement de la phase critique « gonflement-floraison », même si les exigences hydriques au moment du semis sont satisfaites. Car, en plus de la somme des températures qui contribue à l'apparition des différents stades de développement, la photopériode intervient aussi à partir d'un seuil qui est variable en fonction des variétés. Pour celle qui est étudiée, quelque soit la précocité de la date de semis, l'épiaison ne peut jamais avoir lieu avant le 8 mars, date qui correspond à une durée du jour de 11 h 40 mn dans la région du Tadla.

Il apparaît donc que le choix de variétés moins exigeantes en photopériode, peut être moyen, bien efficace, d'atténuation des effets de lutte contre la sécheresse dans les régions arides et semi-arides.

Quant au semis après la fin de décembre, il place la phase critique « gonflement-floraison » dans des périodes d'autant plus déficitaires qu'il est tardif, comme le montre la figure n° 1, c'est d'ailleurs pour cela, que la troisième décade de novembre est la plus préférable, dans le cas où le cumul de pluviométrie permet de réaliser le semis.

##### 3.1.2. Irrigation d'appoint

Lorsque l'on dispose d'une ressource en eau facilement mobilisable et pouvant être acheminée

(\*) Il s'agit du rapport entre la production en grain et le volume d'eau apporté.

jusqu'aux parcelles moyennant des frais raisonnables, il est vivement recommandé d'apporter au blé une irrigation d'appoint au jusqu'aux parcelles moyennant des frais raisonnables, il est vivement recommandé d'apporter au blé une irrigation d'appoint au début de la phase critique « gonflement-floraison ». En effet, cette irrigation peut parfois, doubler la production. De même, elle peut constituer un facteur de garantie et de stabilisation des rendements du blé.

Ce cas peut se présenter dans les zones traversées par des cours d'eau intermittents dans lesquels les écoulements interviennent en hiver et/ou au printemps, ou qui disposent d'une nappe phréatique peu profonde.

### 3.2. Blé réalisé en irrigué

Les essais réalisés dans la station Ouled Gnaou ont montré que le nombre optimum d'irrigations à apporter au blé est de trois en année normale, dans les conditions climatiques et édaphiques de la plaine du Tadla. Ces irrigations doivent être effectuées au semis et aux débuts des phases « gonflement-floraison » et « remplissage du grain ». En période de longue sécheresse, les réserves hydriques au niveau du barrage sont sensiblement réduites. Pour faire face à cette pénurie d'eau, deux mesures peuvent être envisagées :

- une réduction des superficies cultivées;
- une restriction de la dotation totale en eau pour une culture donnée.

L'efficacité de ces deux mesures est comparée pour la culture du blé.

Dans le cas d'une réduction de la superficie occupée par le blé, la baisse de la production de cette denrée au niveau du périmètre est proportionnelle à la diminution de la surface emblavée. Par contre, lorsqu'il s'agit d'une restriction sur la dotation en eau, la relation entre le volume apporté et la production n'est pas linéaire, puisque l'efficacité de l'eau d'irrigation est variable en fonction des stades de développement. La figure n° 2 montre les différences de production du blé dans les deux cas de réductions de la superficie et de restrictions sur les irrigations.

Cette figure montre que l'efficacité ou la productivité de l'eau, est plus grande dans le cas d'une restriction du volume d'eau apporté au blé que dans celui d'une réduction de la superficie occupée par cette culture. Toutefois, il faut noter que la réduction de la dotation en eau n'est possible qu'en procédant à une diminution du nombre d'arrosages notamment en irrigation gravitaire, où il est très difficile de réduire les doses d'irrigation, car ceci demande le maintien d'un nivellement toujours

parfait, ce qui n'est pas le cas dans la majorité des petites et moyenne car ceci demande le maintien d'un nivellement toujours parfait, ce qui n'est pas le cas dans la majorité des petites et moyennes exploitations.

Ainsi, pour les volumes d'irrigation, on ne peut pratiquement avoir que des diminutions discontinues : 1/3, 2/3 ou 3/3. Par contre, pour la réduction de la superficie, on peut procéder à des restrictions continues.

Il apparaît donc, qu'en cas de forte diminution du niveau des ressources en eau qui impose des restrictions sur les irrigations pour économiser l'eau, il est plus judicieux d'éliminer un ou deux arrosages parmi les trois qui doivent être effectués en situation normale. L'irrigation à apporter au début de la phase critique doit être maintenue, en raison de sa grande efficacité, sauf dans des situations très exceptionnelles.

## 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La valorisation maximale de l'eau de pluie ou de l'irrigation dans le cas du blé doit reposer sur la notion de phase de développement critique vis-à-vis de l'eau qui est une particularité de certaines cultures tel que le blé.

Ainsi, concernant l'eau de pluie, la date de semis doit être la plus précoce possible afin de placer la phase critique « gonflement-floraison » dans une période pluvieuse ayant un déficit hydrique le plus bas possible. De même le choix de variétés peu exigeantes en photopériode permet de mettre cette phase à l'abri de la sécheresse qui peut s'installer dès le début du printemps sous les climats méditerranéens arides à semi-arides, comme celui du Maroc.

Quant à l'eau d'irrigation, son efficacité est maximale lorsqu'elle est apportée pendant la phase critique. En période de pénurie d'eau, où la baisse du niveau des ressources en eau impose des restrictions sur les volumes d'eau pouvant être distribués, il est recommandé de réduire plutôt le nombre des irrigations que la superficie emblavée. En effet, pour une même économie d'eau, la production du blé est plus importante dans le premier cas que dans le second.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HANDOUFE A., 1988 — Réponses à l'eau et à l'azote d'un blé (*triticum aestivum*) sous un climat semi-aride. Thèse doc. ing. Université Toulouse III (France), p. 132.

JONADRD P., KOLLER J. et VINCENT A., 1952  
— Evolution de la tige et de l'épi chez la variété de blé Vilmorin 27 au cours de la période de reproduction. Ann. amél. n° 1 : 31-54.

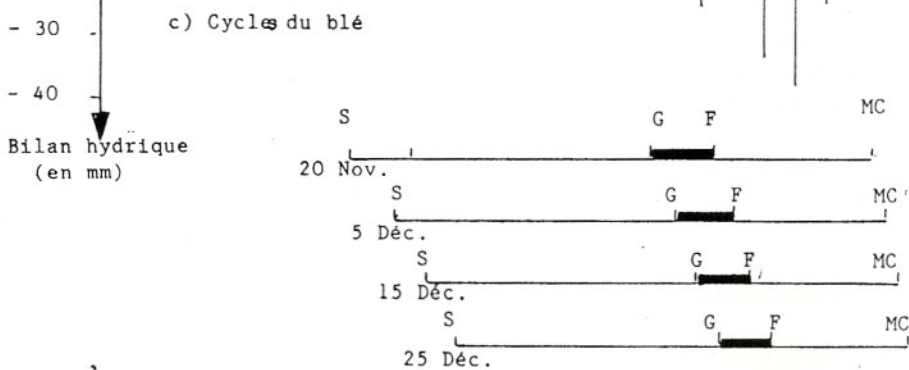
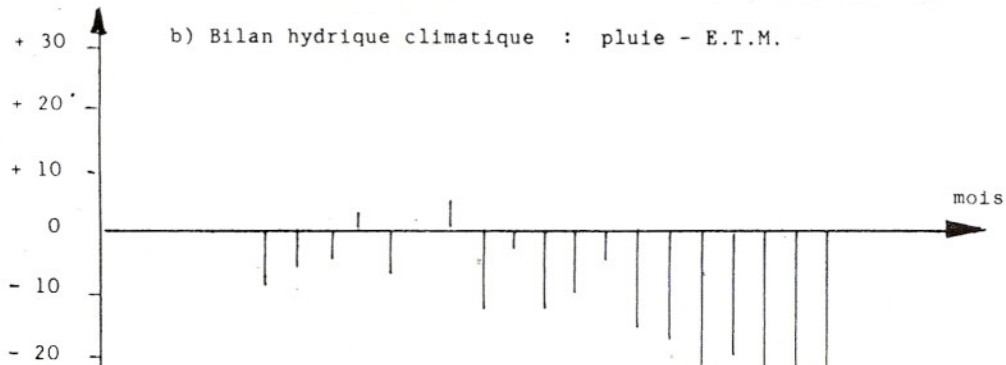
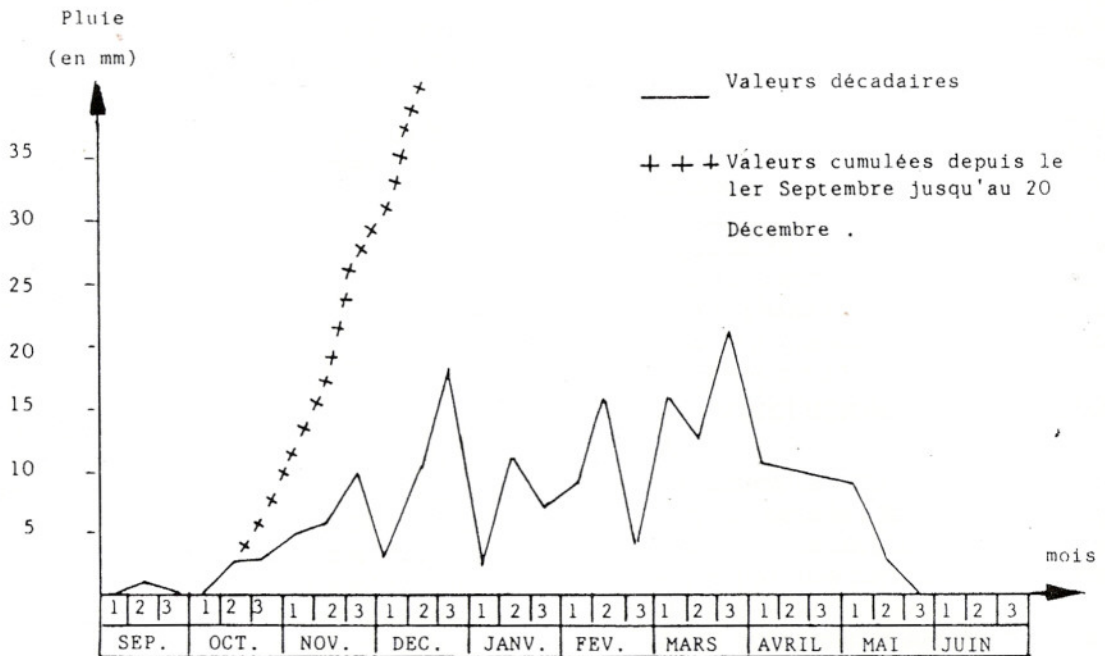
PAPY F., 1978 — Effets des contraintes pluviométriques sur l'élaboration du rendement du blé

dur et de l'orge dans différentes régions du Maroc. Document ronéotypé — Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II — Rabat.

SALTER P. J. et GOODE J. E., 1967 — Crops responses to water at different stages of growth. Research Review 2, ed. Commonw. Agri. Bur.

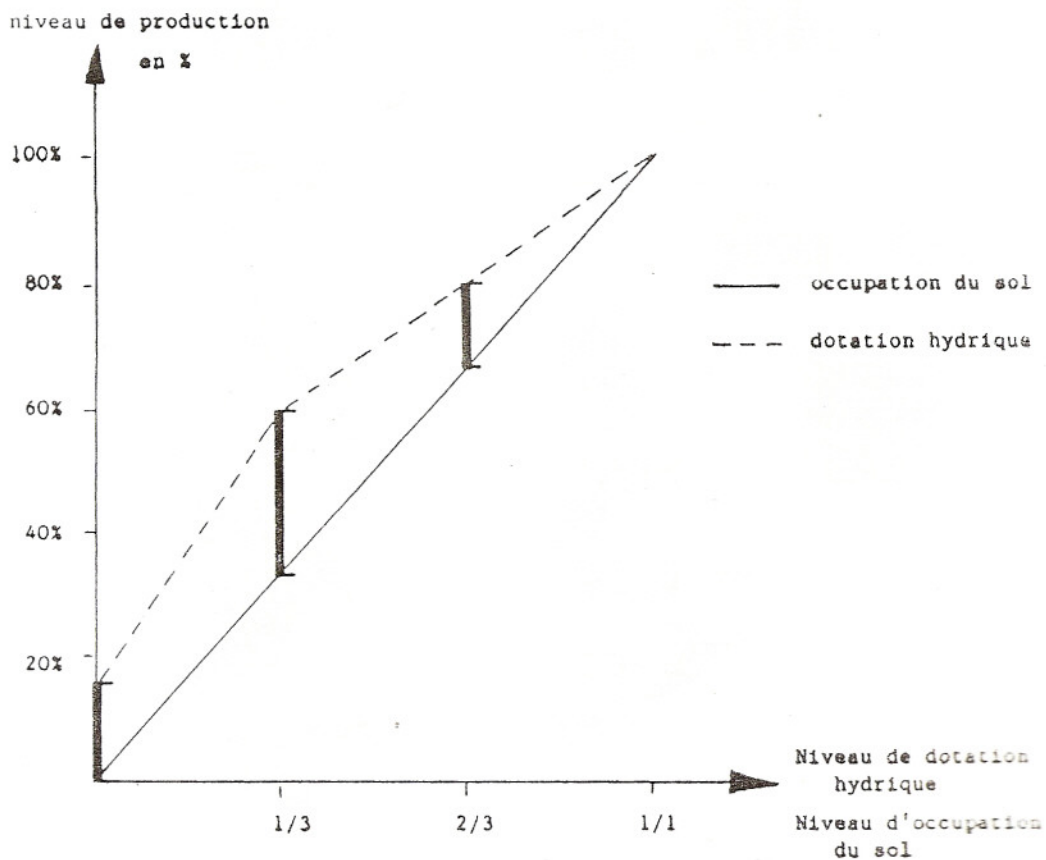
FIGURE 1 : PLUVIOMETRIE, BILAN HYDRIQUE, CLIMATIQUE ET CYCLES DU BLE

a) Pluviométrie (atteinte au moins une année sur 2)



S : semis      G : gonflement      F : floraison      MC : maturité complète

Figure 2 ; relation entre le niveau de production et le niveau d'occupation du sol ou de dotation en eau d'irrigation du blé (en période de secheresse).



# CONSEQUENCES SOCIO - ECONOMIQUES ET TECHNIQUES DE L'IRRIGATION MECANISEE

M. IKAMA.

(Ingénieur à l'O.R.M.V.A. du Tadla)

## I — INTRODUCTION

L'autosuffisance alimentaire constitue le souci et la préoccupation principale de tout pays. Dans ce sens le Maroc déploie des efforts considérables en vue d'exploiter les ressources en eau importantes dont il dispose (eaux superficielles et souterraines). Parallèlement à la construction des grands barrages, la création des lacs collinaires trouve sa place dans les moyens et petits bassins versant, et tout récemment l'introduction des centres pivots comme technique d'irrigation rationnelle permet une large exploitation des eaux souterraines.

L'utilisation pour la première fois des centres pivots, comme système d'irrigation mécanisé, au niveau de la Province de Béni Mellal (1) a eu lieu suite au Don Royal, consistant en la fourniture et l'installation d'un pivot de 63 Ha au sein du domaine de la Coopérative Al Kheir (2).

Les conditions d'implantation de ce pivot sont originales eu égard à ce qui se fait ailleurs. En effet de part le monde, les rampes à pivots sont installées, soit à l'instigation du pouvoir public afin de promouvoir les zones désertiques caractérisées par une faible densité de la population (Libye-Arabie Saoudite), soit dans les pays développés où la taille importante des exploitations milite vers l'expansion de ce système d'irrigation (USA), c'est ainsi que l'utilisation classique de la rampe s'intègre bien dans le cadre de l'agriculture à grande échelle, avec un seul champ et une seule culture sous pivot.

La politique d'introduction, de développement du pivot au niveau national en général, et dans le cas de la coopérative Al Kheir en particulier, s'inscrit dans le cadre de la mise en valeur intensive des terres suivant un esprit de collectivité et de coopération.

Devant l'expérience menée depuis peu de temps au niveau de cette coopérative toute analyse qui permettra de dégager d'une manière objective l'impact agronomique, socio-économique et organisationnel engendré par l'introduction de l'irrigation mécanisé est précaire, mais cependant certaines conséquences peuvent être décelées au niveau principalement de la gestion des pivots, ainsi que l'amélioration des revenus des agriculteurs.

## II — PRESENTATION DE LA COOPERATIVE AL KHEIR

### 2-1 — Situation géographique

La Coopérative Al Kheir se situe au sein de la Province de Béni Mellal, sur la rive gauche de l'Oued Oum Er R'bia. La limite Nord est située à 3,5 km de Kasba Tadla et la limite Sud à 23 km environ de Béni Mellal (Fig 1).

### 2-2 — Aspect institutionnel

Cette coopérative fut créée en 1969 dans le cadre de la réforme agraire (3) opération entreprise par le gouvernement marocain sur les terres récupérées en 1963. Cette opération consiste en l'attribution, à titre de vente et/ou locatif, à des agriculteurs, des terres agricoles ou à vocation agricole faisant partie du domaine privé de l'état.

La superficie totale de la coopérative s'élève à 1442 ha dont 1155 ha de SAU répartis entre 55 attributaires à raison d'un lot de 21 ha par adhérent :

- \* 5 ha sont cédés à titre de vente suivant une échéance étalée sur 18 ans.

- \* 16 ha sont cédés à titre locatif à raison de la valeur courante de 1.5 qx de blé tendre par hectare et par an.

### 2-3 — Aspect organisationnel avant introduction du premier pivot

#### 2-3.1 Règlement intérieur

Les attributaires sont soumis au règlement intérieur de la coopérative à l'instar des autres coopératives du pays.

Périodiquement se tient l'assemblée générale rassemblant tous les adhérents, elle statue sur les grandes décisions relatives à la gestion de la coopérative et désigne un Conseil d'Administration (C.A.) qui se charge de l'exécution du programme de la coopérative, de l'analyse et de la résolution des problèmes qui peuvent surgir au cours de la campagne agricole.

#### 2-3.2 Mise en Valeur

##### 2-3.2.1 — Techniques culturales

Le caractère aléatoire des précipitations (en moyenne 400 mm/an) marqué par des variations inter et intra-annuelles, constitue un blocage à tout investissement adéquat, pour assurer une bonne conduite des cultures, c'est ainsi que les techni-

ques culturales restent à un stade peu avancé, comportant peu de risques. La préparation du lit de semences se limite généralement à un corver cro-page, puis le semis à la volée suivi par le recouvrement au cover crop. Le passage répétitif de cet outil à disque à l'inconvénient de compactar le sol aux environs de 15 cm, ce qui limite l'enracinement et favorise le ruissellement. La main d'oeuvre familiale disponible est utilisée pour le desherbage, le binage l'épandage de semence et d'engrais.

### 2-3 2.2 — Production Végétale

#### a) Assolement

Le choix du plan culturel dépend étroitement des inspirations des adhérents. La coopérative intervient dans les opérations de service (travaux du sol, intrants, traitement...) soit par ces propres moyens mais le plus souvent par la procuration des moyens du privé pour couvrir les besoins en période de pointe et pour combler l'insuffisance de son parc matériel.

L'assolement adopté pratiquement par les agriculteurs est un assolement triennal : blé/petit pois/orge.

Le recours aux céréales (2/3 de la surface) se justifie par la nécessité de subvenir aux besoins d'autoconsommation alimentaire des agriculteurs et de leur cheptel.

#### b) Rendement

L'état sommaire des techniques culturales appliquées aux cultures reflète la tendance des agriculteurs à minimiser les charges de production, et par conséquent alléger les risques inhérents à un climat très aléatoire.

Les rendements moyens enregistrés sont :

— Blé dur :	7 qx/ha
— Blé tendre :	7 qx/ha
— Orge :	8 qx/ha
— Petit pois :	5 qx/ha

### 2-3 2.3 — Production Animale

Le bétail formé de troupeaux d'ovins et de bovins, est caractérisé par la prédominance de la race locale, conduit d'une manière extensive. Les animaux sont conduits le long des grandes pistes qui séparent les lots pendant les périodes creuses, puis transportés au printemps sur les parcours constitués par des terres collectives et retournent sur les chaumes après les récoltes. L'élevage est orienté principalement vers l'embouche, et constitue de ce fait un stock d'argent liquide utilisable en cas de besoin.

### 2-3. 3 Revenus des Agriculteurs

Dans des conditions actuelles de la mise en valeur en sec; les revenus nets par hectare sont

faibles (de l'ordre de 500 à 600 dh) même en année climatique favorable, le rendement potentiel de la zone n'est que de 20 qx de blé par hectare, ce qui laisse une marge nette de 2000 DH/ha.

## III — INTRODUCTION DU PREMIER PIVOT :

### 3-1 Objectif du projet

A l'origine, l'utilisation des centres pivots comme système d'irrigation mécanisée a fait son apparition dans le but de promouvoir une agriculture à grande échelle intéressant les grandes exploitations.

Au Maroc, la structure foncière des exploitations est dominée principalement par la micropropriété, aussi le transfert de cette nouvelle technique d'irrigation sur les terres de la coopérative Al Kheir vise essentiellement l'expérimentation de la mise en commun, en premier lieu, d'un centre pivot — (63 ha) par 5 agriculteurs dont les parcelles sont juxtaposées.

Cette initiative s'intègre dans le cadre d'introduction et d'adaptation des techniques d'irrigation avancées à la réalité du secteur agricole marocain en vue d'une gestion rationnelle des ressources hydriques du pays et de là promouvoir le milieu rural sans pour autant perturber l'originalité structurelle des propriétés.

### 3-2 Gestion du pivot

De part son expérience dans le domaine de l'irrigation mécanisée et de sa situation très rapprochée de la coopérative, la gestion du pivot a été assurée par les Domaines Royaux (domaine Tazaroualt) pendant cinq ans.

Durant cette période les agriculteurs ont pu se familiariser avec ce nouveau système. D'autant plus que la conception fonctionnelle du pivot, grâce à son système hardware/gestion incorporée, facilite considérablement sa manipulation. Les interventions se résument à la détermination de la vitesse de rotation et du moment opportun pour déclencher l'irrigation.

### 3-3 Résultats obtenus par ce premier pivot

En dépit de certaines défaillances techniques qui ont eu des répercussions sur la chute des rendements, on peut affirmer que cette initiative a bien rempli les objectifs qui lui ont été consignés et ce à plusieurs niveaux.

#### \* Performance agronomique

Elle est illustrée par le passage d'une agriculture extensive à une agriculture intensive, sur 63 ha, caractérisée par :

— L'introduction des cultures en dérobé (Maïs d'été) et des cultures industrielles (betterave sucrière). Les rendements moyens obtenus sont les

suivants : (campagne 1983-1984).

- Betterave : 50 t/ha
- Blé tendre : 42 qx/ha
- Maïs d'été : 60 qx/ha

On constate ainsi qu'en plus de l'adoption de nouvelles cultures, le rendement du blé est six fois plus élevé comparativement à celui obtenu en culture pluviale (7 qx/ha).

— Les techniques culturales appropriées sont mieux utilisées et maîtrisées par les agriculteurs.

#### \* Vulgarisation du système d'irrigation mécanisée

Les agriculteurs ont beaucoup mieux apprécié cette nouvelle technique du fait des résultats intéressants obtenus par ce pivot. Ainsi il a été décidé d'étendre l'irrigation mécanisée sur une partie des terres de la coopérative pour toucher l'ensemble des 55 attributaires. Trois nouveaux centres pivots ont été installés ce qui a permis de porter la superficie nette irrigués à 252 ha.

### IV — SITUATION DE LA COOPÉRATIVE APRES EXTENSION DE L'IRRIGATION PAR TROIS NOUVEAU PIVOTS

#### 4-1 Ressource en eau

L'alimentation du premier pivot était assurée par la déviation sur 1500 m des eaux du forage du domaine Royale Tazaroualt situé à proximité de la coopérative Al Kheir.

L'extension de l'irrigation mécanisée a nécessité le creusement d'un nouveau forage profond exécuté dans l'aquifère du turonien à l'intérieur des terres de la coopérative.

Les caractéristiques de ce forage sont comme suit :

- Profondeur totale : 425 m
- Niveau piézométrique/sol : 47,60 m
- Niveau dynamique/sol : 54,60 m
- Débit d'exploitation : 100 l/s
- Qualité chimique de l'eau : pH = 7, CE 1/5 = 0,82 mmhos/cm résidu sec = 423 mg/l

#### 4-2 Assolement adopté

Se basant sur des études agro-pédologiques et socio-économiques, l'assolement suivant a été retenu :

— Blé tendre

— Betterave + Maïs d'été en dérobé avec deux soles en betterage (deux pivots) et deux autres en blé tendre. Le maïs d'été est introduit en dérobé pour assurer le rôle intensificateur des pivots.

### 4-3 Conséquences de l'extension de l'irrigation mécanisée

Plusieurs changements se sont opérés au sein de la coopérative et ce à différents niveaux.

#### 4-3. 1 Niveau organisationnel

Le SAU totale exploitée après réarrangement des dispositions des lots et des pistes est passée de 1155 ha avant extension à 1228 ha répartis comme suit :

- 330 ha dont 252 ha nets irrigués et qui sont exploités en co-propriété par tous les adhérents de la coopérative.

- 898 ha ont fait l'objet d'un partage systématique entre les 55 attributaires à raison de 16 ha/lot dont l'exploitation est restée individuelle sous le régime de fonctionnement de cette coopérative.

Un additif a été ajouté au règlement intérieur de la coopérative pour l'adapter à la situation actuelle imposée par la copropriété des 252 ha irrigués.

#### 4-3. 2 Niveau Gestion

La gestion des pivots est assurée par le président de la Coopérative suivant son statut intérieur assisté par le Conseil d'Administration avec la collaboration et le concours des différents services techniques de la province de Béni Mellal.

La copropriété irriguée bénéficie en priorité de tous les services assurés par la coopérative en matière de : travaux de sol, conduites des cultures et commercialisation des productions. Des crédits de la Caisse Régionale du Crédit Agricole (5) sont alloués pour effectuer toutes les opérations.

La participation des attributaires aux différents travaux programmés pour l'exploitation de la copropriété est obligatoire. Un cahier d'inscription est tenu à cet égard.

La rémunération de chacun est faite sur la base du nombre de journée de travail fourni et non au prorata de la superficie détenue par chacun au sein de la copropriété.

### TABLEAU RECAPITULATIF

Désignation	Situation de la Coopérative	
	Avant Equipement	Après équipement (4 pivots de 63 ha chacun)
Bour S.A.U. irrigué	1155	1128 898 ha 252 ha
Superficie Bour par adhérent Irrigué	21 ha (exploitation individuelle)	16,30 ha (exploitation individuelle) 4,58 ha (exploitation en copropriété)

Gestion de la Coopérative	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assemblée générale</li> <li>• Conseil d'Administration</li> </ul>	— Assemblée générale — Conseil d'Administration
Tâches du Conseil d'Administration	Exécute les décisions prises par l'assemblée générale relative à l'administration et la gestion de la coopérative	même tâche avec la priorité donnée à la copropriété irriguée sous pivot (252 ha)

#### 4-3. 3 Niveau exploitation

L'exploitation par pivots de la copropriété de 252 ha a permis de dépasser la pratique des cultures traditionnelles (blé-orge-petit pois) pour mettre en place des cultures plus rémunératrice (Betterave à sucre) et développer des cultures en dérobé (Maïs d'été).

Le train technique s'est fortement amélioré, c'est ainsi que les travaux du sol sont bien menés, les semences utilisés sont sélectionnées et certifiées, les semis se font mécaniquement et l'apport des engrais et des traitements phytosanitaires sont devenus systématiques.

#### 4-3. 4 Financement du projet

Le pivot, contrairement au mode de production traditionnel connu par la coopérative nécessite d'importantes ressources financières, aussi le recours à un système de crédit approprié est devenu une nécessité impérieuse pour la réussite du projet. Pour cela des fonds nécessaires ont été alloués à la coopérative par la Caisse Régionale de Crédit Agricole.

Ainsi un montant de 5.000.000 DH a été contracté (1987) pour couvrir le coût d'investissement du projet d'extension pour un taux de 14 % et une durée d'emprunt de 12 ans avec une année en différé.

#### 4-3. 5 Performances agronomiques

Le pivot par sa qualité de fonctionnement produit des pluies adéquates suivant les besoins variables des plantes et assure une demande de pointe de la culture pendant les courtes périodes de fortes chaleurs ce qui a permis la mise en valeur intensive des 252 ha caractérisée par un assolement qui intègre des cultures industrielles, ainsi que le développement des cultures en dérobé.

Malgré des anomalies survenues au système au cours de son fonctionnement et en dépit des problèmes de financement connus par la Coopérative et qui ont retardé la campagne agricole 87-88 les rendements suivants ont pu être obtenus.

Campagne	Culture	Superficie ha	Rendement qx/ha	Production en qx
86-87	Maïs d'été	126	48	6.048
87-88	Blé tendre	126	23	2.898
87-88	Betterave	75	360	27.000
87-88	Maïs printemps	50	64	3.200

Ce tableau nous ne permet pas de tirer des conclusions quant à l'expansion de l'irrigation par ce système vu les problèmes connus pendant la campagne agricole 87-88 et les pannes électriques survenues en été 87. Cependant si on se réfère aux résultats obtenus par le premier pivot il y a de bonnes raisons de croire au développement de cette nouvelle technique par le moyen du système associatif et coopératif.

#### 4-5. 6 Incidence de l'irrigation mécanisée sur le revenu des agriculteurs.

L'écoulement des productions auprès des sociétés privées, SONACOS (4) pour le blé tendre, sucrerie pour la betterave et particuliers pour le Maïs a permis de dégager pour la campagne agricole 87-88 une recette intéressante qui a permis :

— Le paiement des redevances en eau qui sont de 669.042,00 DH soit 0.50 DH/m<sup>3</sup>.

— Le paiement de la main d'oeuvre : 257.000 DH.

— Le remboursement des crédits de la C.R.C.A. alloués pour l'année en cours ainsi que ceux accordés aux attributaires depuis 4 ans pour leur parcelles cultivées en sec.

— L'acquisition du petit matériel.

Les dépenses et recettes des cultures pour la campagne 87-88 sont données dans le tableau suivant :

Culture	Dépenses DH	Recettes DH	Revenu net en DH
— Maïs d'été 87	680.196,00	944.450,00	264.254,00
— Blé tendre	389.895,00	658.359,00	268.464,00
— Betterave	572.861,00	638.440,00	65.579,00
— Maïs printemps	361.135,00	540.000,00	178.865,00
<b>TOTAL</b>	<b>2.004.087,00</b>	<b>2.781.249,00</b>	<b>777.092,00</b>

Bien que les niveaux de production n'ont pas atteints les prévisions en raison des problèmes signalés précédemment on constate une nette amélioration des conditions de vie des agriculteurs qui se manifeste par une certaine aisance financière leur permettant l'achat de certains produits de luxe.

## V — CONCLUSION ET RECOMMANDATION

La région de Tadla offre des possibilités d'investissement très importantes dans l'aménagement et l'équipement des terres pour irrigation par centres pivots. En effet, cette région présente d'une part deux nappes souterraines superposées, l'une phréatique et l'autre profonde du turonien qui renferme des gisements importants et d'autre part elle englobe des sols de pédologie favorable qui se trouvent sous différents régimes : terres collectives, les coopératives de la réforme agraire et les terres Melk (privées).

Cependant, le développement des irrigations macanisées par centres pivots nécessite la création d'un environnement technique adéquat capable de répondre aux exigences que requiert ce type de matériel.

Dans le cas de la coopérative Al Kheir cet apanage technique est supporté par plusieurs administrations (DAR de la Province de Béni Mellal, O.R.M.V.A. du Tadla; DPA de Béni Mellal et l'O.N.E.). Toutefois et bien que des mutations profondes se sont opérées dans le concept organisationnel de cette coopérative il faut préparer les bénéficiaires du projet, qui ont pratiqué longtemps l'agriculture en sec à prendre la relève pour la gestion de ce nouveau système d'irrigation par le moyen de la formation et de l'information.

A cet égard, la création d'une main d'oeuvre qualifiée est obligatoire. Elle doit être en mesure d'entretenir et de réparer le système et aussi capable d'identifier les pannes qui peuvent survenir afin d'éviter les pertes partielles ou totales des cultures.

Les centres pivots sont dotés d'appareillages complexes comportant plusieurs systèmes de sécurités et commandes électriques. Par consé-

quent, les sociétés fournisseurs de ce matériel doivent disposer d'un service de dépannage à proximité des lieux d'utilisations capable d'intervenir et de remédier aux pannes dans les plus bref délais.

### 1) Province de Béni Mellal

La province de Béni Mellal appartient à la zone économique du centre du pays, elle couvre une superficie de l'ordre de 6.638 km<sup>2</sup> renfermant une population de 770.000 habitants. Trois ensembles géographiques composent cette province : les montagnes de l'Atlas, la plaine du Tadla et les plateaux des phosphates.

L'agriculture y occupe une place privilégiée autour de laquelle se développe une infrastructure agro-industrielle importante (3 sucreries, 3 usines d'égénage du coton, 8 huilleries modernes, etc.).

Le potentiel des terres cultivables représente 90 % de la superficie de la province.

### 2-3) Coopérative Al Kheir

La Coopérative Al Kheir est une société coopérative régit par un règlement intérieur élaboré par le Conseil d'Administration et approuvé par le ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire.

C'est une coopérative agricole de la réforme agraire formée entre les attributaires des lots domaniaux.

### 4) S.O.N.A.C.O.S.

Société Nationale de la Commercialisation des Semences qui a son siège à RABAT.

### 5) C.R.C.A.

Caisse Régionale de Crédit Agricole fait partie d'un ensemble de banque étatique réparties sur l'ensemble du Royaume dans le but de promouvoir le secteur agricole.

# I — GENERALITES

## 1) Présentation de la province de BENI-MELLAL (1)

La province de Béni-Mellal appartient à la zone économique du centre du pays, elle couvre une superficie de l'ordre de 6.638 km<sup>2</sup> renfermant une population de 770.000 habitants. Trois ensembles géographiques composent cette province : Les montagnes de l'Atlas, la plaine du Tadla et les plateaux des phosphates.

L'agriculture y occupe une place privilégiée autour de laquelle se développe une infrastructure agro-industrielle importante (3 sucreries, 3 usines d'égrenage du coton, 8 huileries modernes, etc.). Le potentiel des terres cultivables représente 90 % de la superficie de la province.

### 2) Climat

Le climat est continental, chaud en été, froid en hiver. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 300 mm et 400 mm, elle est caractérisée par des irrégularités annuelles et interannuelles. Le nombre de jours de pluie ne dépasse guère 55 jours par an. Les températures moyennes annuelles s'étagent entre 26°C et 28°C.

### 3) Ressources en eau

#### + Eau de surface (2)

Le principal cours d'eau qui traverse la région est l'Oum Er-R'bia dont les sources émergent des hauts plateaux calcaires du Moyen Atlas. Le débit moyen de l'Oued est de 38,6 m<sup>3</sup>/s, avec un maximum de 1700 m<sup>3</sup>/s et un minimum de 10 m<sup>3</sup>/s. L'affluent le plus important est l'Oud El Abid véhiculant un débit moyen annuel de 32 m<sup>3</sup>/s.

Il existe aussi d'autres cours d'eau et sources de moindres importances irrigant des périmètres de la PMH.

#### + Eaux Souterraines

La région de Tadla renferme deux nappes, l'une phréatique l'autre profonde du turonien.

##### • Nappe Phréatique

Les terrains mio-plio-quaternaires constituant la dépression de la plaine du Tadla renferment une nappe phréatique qui présente une forte productivité au centre (200 l/s/puits) et diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne des périmètres irrigués (20 à 30 l/s/puits).

##### • Nappe profonde du turonien

Elle s'étend sur une superficie de 10.000 km<sup>2</sup>

et atteint des profondeurs allant de 500 m à 1.000 m. Les réserves des gisements sont estimées à 50 milliards de m<sup>3</sup> dont 180 millions de m<sup>3</sup> comme potentiellement renouvelables.

### 4) Aménagement Hydro-Agricole

La plaine de Tadla renferme deux grands périmètres irrigués situés de part et d'autre de l'Oum Er-R'bia. En Rive Gauche le périmètre des Béni-Moussa avec une superficie de 69.500 ha dominés gravitairement par les eaux du barrage Bin El Ouidane (Barrage réservoir sur l'Oued El Abid). En Rive droite la périmètre des Béni-Amir dont la superficie à irriguer gravitairement serait de 36.000 ha au terme de l'aménagement.

## II — IRRIGATION PAR CENTRES PIVOTS DES TERRES DE LA COOPERATIVE AL KHEIR

### A) INTRODUCTION

L'utilisation, pour la première fois de centres pivots, comme système d'irrigation mécanisée, au niveau de la province de Béni-Mellal a eu lieu suite au Don Royal consistant en la fourniture et l'installation d'un pivot de 63 ha au sein du domaine de la coopérative Al Kheir.

Cette initiative entre dans le cadre de mise en valeur intensive des terres suivant un esprit de collectivité et de co-propriété.

Devant le succès de cette technique aussi bien dans l'amélioration des productions agricoles que du point de vue persuasion de l'intérêt de ce nouveau système, des études de base sur les possibilités d'extension ont été concrétisées par l'installation, en fin 1986, au niveau de la même coopérative de trois autres nouveaux pivots.

La superficie irriguée par ces quatre pivots est de 252 ha (63 ha/pivot) soit 27 % de la superficie globale de la coopérative.

Suivant l'assolement préconisé, deux pivots ont fonctionné en fin de la campagne agricole 1986-87 (Maïs d'été). Pour la campagne 1987-88 les quatre pivots ont été mis en service.

Devant la période de fonctionnement des pivots assez courte une analyse qui permettra de dégager objectivement l'impact agronomique, socio-économique et organisationnel engendré par l'introduction de l'irrigation mécanisée est très difficile par contre certaines conséquences peuvent cependant en être décelées concernant principalement le côté gestion des pivots et l'amélioration des recettes des agriculteurs.

## **B) PRESENTATION DE LA COOPERATIVE AL KHEIR**

### **1 — Situation géographique**

La coopérative Al Kheir se situe dans la plaine du Tadla sur la Rive Gauche de l'Oued Oum Er-R'bia entre Kasba Tadla et Béni-Mellal à l'Oued de la RP 24. La limite Nord est située à 3,5 km de Kasba Tadla et la limite Sud à 23 km environ de Béni-Mellal (Fig. 1).

### **2 — Aspect institutionnel (1)**

Cette coopérative fut créée en 1969 dans le cadre de la réforme agraire (2) opération entreprise par le gouvernement marocain sur les terres récupérées en 1963. Cette opération consiste en l'attribution, à titre de vente et/ou locatif, à des agriculteurs, des terres agricoles ou à vocation agricole faisant partie du domaine privé de l'état.

La superficie totale de la coopérative s'élève à 1442 ha dont 1155 ha de SAU répartis entre 55 attributaires à raison d'un lot de 21 ha par adhérent :

\* 5 ha sont cédés à titre de vente suivant une échéance étalée sur 18 ans.

\* 16 ha sont cédés à titre locatif à raison de la valeur courante de 1.5 qx de blé tendre par hectare et par an.

## **C) ASPECT ORGANISATIONNEL AVANT INTRODUCTION DU PREMIER PIVOT**

### **3-1 Règlement intérieur**

Les attributaires sont soumis au règlement intérieur de la coopérative à l'instar des autres coopératives du pays.

Périodiquement se tient l'assemblée générale rassemblant tous les adhérents.

Elle statue sur les grandes décisions relatives à la gestion de la coopérative et désigne un Conseil d'Administration (C.A.) qui se charge de l'exécution du programme de la coopérative, de l'analyse et de la résolution des problèmes qui peuvent surgir au cours de la campagne agricole.

### **3-2 Production Agricole**

Le choix du plan cultural dépend étroitement des inspirations des adhérents. La coopérative intervient dans les opérations de service (travaux du sol, intrants, traitement...) soit par ces propres moyens mais le plus souvent par la procuration des moyens du privé pour couvrir les besoins en période de pointe et pour combler l'insuffisance du parc matériel.

L'assolement adopté pratiquement par les agriculteurs est un assolement trienal : Blé/petit pois/orge.

Le recours aux céréales (2/3 de la surface) se

justifie par la nécessité de subvenir aux besoins d'autoconsommation alimentaire des agriculteurs et de leur cheptel.

Pendant le caractère aléatoire des précipitations. (En moyen 300 à 400 mm/an) marquées par des variations inter et intra-annuelles, constitue un blocage à tout investissement important pour une bonne conduite des cultures. Il en découle, par conséquent, un ensemble de techniques culturales précaires avec le moins possible de risque.

Les rendements moyens enregistrés sont :

— Blé dur :	7 qx/ha
— Blé tendre :	7 qx/ha
— Orge :	8 qx/ha
— Petit pois :	5 qx/ha

La main d'oeuvre familiale disponible, utilisée pour le desherbage, le binage, le pandage de semence et d'engrais, est excédentaire par rapport aux activités agricoles.

L'élevage pratiqué au niveau de la coopérative est conduit d'une manière extensive (race locale sous-alimentée). Il est orienté principalement vers l'embouche et constitue de ce fait un stock d'argent liquide utilisable en cas de besoins..

## **4 — Introduction du premier pivot**

### **4-1 Objectif de l'installation du pivot**

Partant du fait que l'utilisation de centres pivots s'intègre dans le cadre de l'agriculture à grandes échelles incompatibles avec le statut foncier actuel des exploitations dominées principalement par la micro-propriété, le Don Royal, consistant en la fourniture et l'installation d'un pivot au niveau de la coopérative Al Kheir, vise l'expérimentation de la mise en commun d'un seul pivot par un groupe de cinq agriculteurs dont les parcelles sont juxtaposées.

Le but essentiel de cette initiative s'insère dans le sens de l'adoption des techniques d'irrigation avancées à la réalité du secteur agricole marocain pour une meilleure gestion des ressources hydrique et de-là promouvoir le milieu rural sans pour autant perturber l'originalité structurelle des propriétés.

### **4-2 — Gestion du pivot**

De part son expérience dans le domaine de l'irrigation mécanisée et de sa situation très rapprochée de la coopérative, la gestion du pivot a été assurée par les domaines royaux (domaine Tazaroualt) pendant cinq ans.

Durant cette période, les agriculteurs ont pu se familiariser avec ce nouveau système. D'autant plus la conception fonctionnelle du pivot, grâce à son système hardware/gestion incorporée, facilite considérablement sa manipulation. Les interven-

tions se résument à la détermination de la vitesse de rotation et du moment opportun pour déclencher l'irrigation.

### **4-3 — Impact engendré par l'introduction du premier pivot**

En dépit de certaines anomalies techniques qui ont eu des répercussions négatives sur la rentabilité économique potentielle de l'utilisation du pivot, on peut affirmer que cette initiative a rempli les objectifs qui lui ont été consentis et ce à plusieurs niveaux :

\* Performance agronomique

Elle est illustrée par le passage d'une agriculture extensive à une agriculture intensive caractérisée par :

— L'introduction des cultures en dérobé (Maïs d'été) et des cultures industrielles (betterave sucrière).

— La maîtrise des techniques culturales appropriées

— L'amélioration des rendements. Ils sont six fois plus élevés comparativement à ceux obtenus en bour.

\* Vulgarisation du système d'irrigation mécanisée

Les agriculteurs ont beaucoup apprécié cette technique du fait de leur visualisation directe des résultats prometteuse acquis par pivot.

En conséquence à cette initiative il a été décidé l'extension de l'irrigation mécanisée par l'installation de 3 nouveaux centres pivots.

## **5 — Situation de la coopérative après le projet d'équipement en trois nouveaux centres pivots**

### **5-1 — Ressources en Eau**

L'alimentation du premier pivot était assurée par la déviation sur 1500 m des eaux du forage du domaine royal Tazaroualt.

L'extension de l'irrigation mécanisée a nécessité le creusement d'un nouveau forage profond exécuté dans l'aquifère du turonien (3).

Les caractéristiques du forage sont :

\* Profondeur totale : 425 m

\* Niveau piézométrique/sol : 47,60 m

\* Niveau dynamique/sol : 54,60 m

\* Débit d'exploitation : 100 l/s

\* Qualité chimique : pH = 7, CE

1/5 = 0,82 m mhos/cm, résidu sec = 423 mg/L.

### **5-2 — Assolement**

Se basant sur des études agro-pédologiques et socio-économiques, l'assolement suivant a été retenu :

— Blé tendre

— Betterave + Maïs en dérobé en été avec deux soles (pivots) en betterave et deux autres en blé tendre. Le maïs d'été est introduit en dérobé pour assurer le rôle intensificateur des pivots.

### **5-3 — Conséquences de l'extension de l'irrigation mécanisée**

Plusieurs changements se sont opérés au sein de la coopérative et ce à différents niveaux.

#### **5-3-1 — Niveau organisationnel**

La SAU totale exploitée après réarrangement des dispositions des lots et des pistes est passée de 1155 ha avant extension à 1228 ha répartis ainsi :

\* 330 ha dont 252 ha net irrigués et qui sont exploités en co-propriété par tous les adhérents de la coopérative.

\* 888 ha en bour relotie à raison de 16 ha par adhérent.

Un additif a été ajouté au règlement intérieur de la coopérative pour l'adapter à la situation actuelle imposée par la co-propriété des 252 ha irrigués.

#### **5-3-2 — Niveau Gestion**

La gestion des pivots est assurée par le président de la coopérative assisté par le Conseil d'Administration avec la collaboration et le concours des différents services techniques de la province de Béni-Mellal.

Les parcelles irriguées bénéficient en priorité de tous les services de la coopérative en matière de : travaux de sol, conduites des cultures, commercialisation des productions. Des crédits du CRCA (3) sont alloués pour effectuer toutes ces opérations.

#### **5-3-3 — Niveau d'équipement en facteurs de production**

L'écoulement des productions auprès des Sociétés Privés, SONACOS (4) pour le blé tendre, sucrerie pour la betterave et particuliers pour le maïs a permis de dégager, pour la campagne agricole 87-88, une recette fort importante et qui a permis :

\* Le paiement des redevances en eau estimé à 669.042,00 DH soit 0,50 DH/m<sup>3</sup>.

\* Le paiement de la main d'oeuvre : 257.000 DH

\* Le remboursement du crédit du CRCA alloués pour l'année en cours ainsi que ceux accordés aux attributaires depuis 4 ans pour leurs parcelles bours.

\* L'acquisition de petits matériels.

Tableau : Dépenses et recettes des cultures pour la campagne 87-88.

Cultures HA	Dépenses DH	Recettes DH	Bénéfice DH
— Maïs d'été 87	680.196,00	944.450,00	264.254,00
— Blé tendre	389.895,00	658.359,00	268.464,00
— Betterave	572.861,00	638.440,00	65.579,00
— Maïs de printemps	361.135,00	540.000,00	178.865,00
<b>TOTAL</b>	<b>2.004.087,00</b>	<b>2.781.249,00</b>	<b>77.162,00</b>

Bien que les niveaux de production n'ont pas atteint les prévisions, à cause des pannes des pivots en plein période de floraison pour le maïs d'été 87 ou bien à cause de la conduite des cultures non appropriée (retard dans les travaux du sol, retard dans le semis de la betterave...) on note une nette amélioration des rendements qui s'est répercutée sur l'aisance financière des adhérents.

### III — INSTALLATION DES CENTRES PIVOTS SUR LES TERRES COLLECTIVES DE LA ZONE BOUR DE L'O.R.M.V.A. DU TADLA

#### 1) Situation des terres collectives

Les terres collectives se trouvant dans la zone d'action de l'O.R.M.V.A. du Tadla occupent une superficie de l'ordre de 88.400 ha répartis comme suit :

- Zone irriguée : 13.300 ha
- Zone bour : 60.600 ha
- Parcours et forêt : 14.500 ha

Dans la zone irriguée certaines de ces terres sont loties et gérées dans l'indivision par les ayants-droits, d'autres sont données en location par le ministère de tutelle (ministère de l'Intérieur et de l'Information). Par contre, dans la zone bour elles sont soumises à différents régimes d'exploitation suivant les habitudes ancestrales de chaque tribu.

Dans certains cas, les terres collectives sont partagées entre ayants-droits de façon définitive (partage de fait) dans d'autres cas elles sont laissées en partie ou totalement incultes et constituent par conséquent des parcours pour un élevage extensif.

En outre, la majorité sinon la totalité des ayants-droits se trouvant à la périphérie du périmètre irrigué sont propriétaires de parcelles à l'intérieur des secteurs irrigués. Leurs investissements en temps, en moyens matériels et financiers sont plutôt orientés, concentrés sur ces parcelles,

laissant les terres collectives mal entretenues, sous exploitées, engendrant le plus souvent des rendements en céréales compris entre 0 et 7 qx/ha respectivement en année de sécheresse et en année normale (350 mm).

#### 2) Modalités d'Équipement de ces terres par centres pivots

Conscient de l'exploitation dans laquelle se trouvent les terres collectives en zone bour, l'état par le biais du ministère de l'Intérieur et de l'Information (ministère de tutelle des terres collectives) et en étroite collaboration avec l'O.R.M.V.A. du Tadla a entrepris des efforts permettant de décongestionner ce problème.

Ainsi des études pédologiques et topographiques ont été effectuées sur la base desquelles une identification des terres favorables à l'irrigation a été opérée.

Le choix des terrains destinés à recevoir l'équipement en centres pivots a été mené en tenant compte des zones potentiellement riches en eau souterraine.

La superficie des collectifs retenus se répartit suivant leur aptitude culturale de façon suivants :

- Sols aptes à l'intensification de toutes les cultures : 18.154 ha
- Sols aptes à l'intensification de la céréaliculture : 13.100 ha
- Sols destinés aux activités sylvo-pastorales ou ne permettant que la céréaliculture attelée : 36.937 ha

Ainsi se basant sur ces résultats, le ministère de tutelle a mis ces terres collectives en location à des promoteurs en vue de les équiper en centres pivots.

L'apport de ces promoteurs dans cet aménagement est constitué par l'investissement de 1er établissement et les charges de fonctionnement du projet, tandis que les ayants-droits des collectifs participent uniquement par les lots de terrain leur appartenant.

Le contrat établi entre chaque promoteur et la collectivité concernée à une durée de 18 campagnes agricoles reconduit tacitement.

La superficie à irriguer (conçue jusqu'à présent) par les centres pivots est de l'ordre de 6.000 ha. Elle est répartie sur plusieurs collectifs.

#### IV — CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Parallèlement à la construction des grands barrages nécessaires à la mobilisation des eaux de surface, des efforts ne cessent de se déployer pour l'exploitation des eaux souterraines dont dispose le pays. Dans ce contexte et grâce aux potentialités en sol et en eau que renferme la région du Tadla, la

mise en valeur des terres pour par l'emploi des centres pivots a pu être développée.

Les possibilités d'investissement dans ce type d'aménagement sont très importantes. En effet, la région du Tadla présente d'une part deux nappes souterraines superposées, l'une phréatique et l'autre profonde du turonien; cette dernière offre des gisements dont les réserves sont estimées à 50 milliards de m<sup>3</sup> et d'autre part la région renferme des sols de pédologie favorable qui se trouvent sous différents régimes : terres collectives, coopératives de la réforme agraire et les terres Melk (privées).

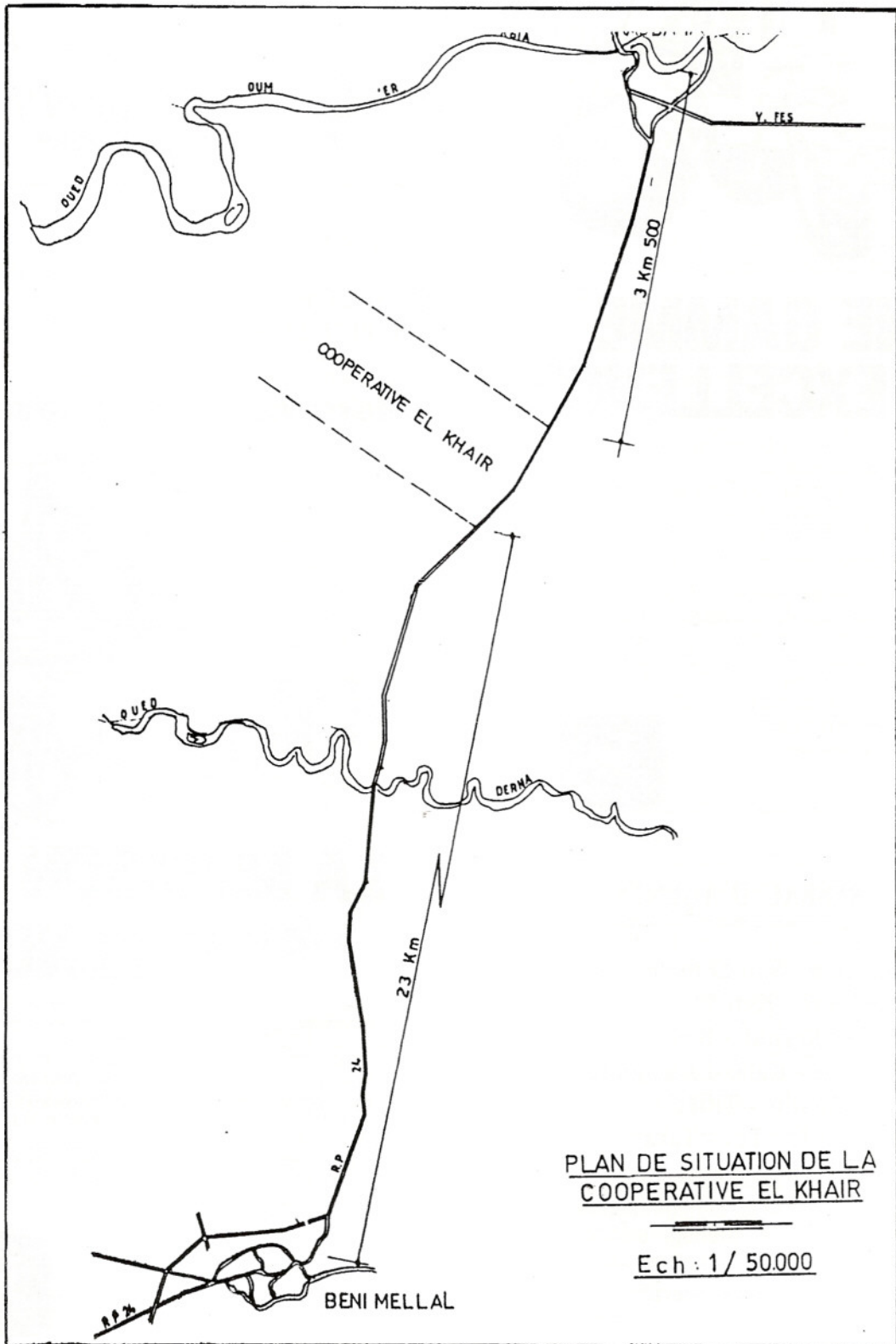
Cependant, le développement des irrigations mécanisées par centre pivot nécessite la création d'un environnement technique adéquat capable de répondre aux exigences que requiert ce type de matériel.

Dans les deux cas décrits précédemment, cet apanage technique est supporté par plusieurs administrations (la province de Béni-Mellal,

O.R.M.V.A. du Tadla, la D.P.A. de Béni-Mellal) en ce qui concerne la coopérative Al Kheir et par les sociétés privées (promoteurs) pour ce qui est des terres collectives. Toutefois, il faut préparer les bénéficiaires de projet, qui ont pratiqué longtemps l'agriculture en sec, à prendre la relève pour la gestion de ce nouveau système d'irrigation par le biais de l'information et de la formation.

A cet égard, la création d'une main d'oeuvre qualifiée est obligatoire. Elle doit être en mesure d'entretenir et de réparer le système et aussi capable d'identifier les pannes qui peuvent survenir afin d'éviter les pertes partielles ou totales des cultures.

Les centres pivots sont dotés d'appareillages complexe comportant plusieurs systèmes de sécurités et commandes électriques. Par conséquent, les sociétés fournisseurs de ce matériel doivent disposer d'un service de dépannage à proximité des lieux d'utilisation capable d'intervenir et de remédier aux pannes dans les plus brefs délais.



PLAN DE SITUATION DE LA  
COOPERATIVE EL KHAIR

Ech : 1 / 50.000

# DESIGN OF LARGE SCALE COLLECTIVE SPRINKLER IRRIGATION PROJECT FOR ON DEMAND OPERATION : A HOLISTIC APPROACH

M. Ait-Kadi, R. Abdellaoui, A. Oulhaj, B. Essafi 1

## SUMMARY

This novel holistic approach to designing and managing on demand operated irrigation systems combines four models :

1 — Demand hydrographs and flow regimes model :

This model generates the demand hydrographs at specified nodes of the irrigation system. The model combines simulation techniques and queuing theory. The system downstream each node considered as a population of fields and a water distribution network whose aggregate behavior with respect to irrigation events and their time of occurrence and duration is to be predicted. The influence on the system behavior of such factors as field acreage, crops grown, soils characteristics, planting dates and irrigation efficiencies is considered. An operation quality index is used to produce various flow regimes in the network.

2 — Pipe network optimization model :

A novel method is used to determine the optimum pumping head and set of specific pipe diameters throughout the whole network that will give the least cost life cycle design taking into account the set of flow regimes generated by the previous model.

3 — Canal design and operation Model :

This model uses the demand hydrographs at the pumping plants to determine the optimum design capacity of the regulated canal. The model proceeds in two steps. In the first step, the optimal canal cross section is determined for a given canal

pool storage capacity. Then, in the second step, a hydraulic simulation model checks for randomly generated water demand hydrographs whether the design canal storage is sufficient or not;

4 — Reservoir model :

This model aggregates the demand hydrographs and uses historical inflows to determine the optimal releases for design, planning and operational purposes.

## RESUME ET CONCLUSIONS

Les projets collectifs d'irrigation par aspersion ont connu un grand développement au Maroc durant cette dernière décennie. Généralement, ces projets comprennent :

- un ouvrage de stockage d'eau,
- un canal régulé,
- de(s) station(s) de mise en pression,
- un ouvrage de régulation, le plus souvent un réservoir surélevé,
- un réseau de conduites enterrées transportant l'eau jusqu'à
- des bornes d'arrosage sur lesquelles se branchent les systèmes d'irrigation à la parcelle.

La conception de ces projets continue à faire l'objet de plusieurs recherches au sein du département de l'équipement et de l'hydraulique de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, qui sur certains aspects ont d'ailleurs atteint un stade avancé. Cette communication présente une nouvelle approche basée sur une prise en compte du système dans sa globalité pour répondre à une demande variable. Cette approche combine 4 modèles :

1 — Génération des hydrographes de demande et des régimes de débit dans le système :

Ce modèle génère les hydrographes de demande d'eau en tout point dominant une certaine superficie irriguée par le système. Le modèle utilise les techniques de simulation et la théorie des files

---

1 Calcul des Projets Collectifs d'Irrigation par Aspersion Fonctionnant à la demande : une Approche Globale.

The authors are all professors at Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, B.P. 6202, Rabat-Instituts, Rabat, Marocco.

d'attente. Le système à l'aval de tout noeud du réseau est considéré comme une population de champs alimentés par un réseau dont le comportement est à prédire eu égard à l'occurrence des demandes et à leurs durées. L'influence sur ce comportement de paramètres tels que la taille des champs, le type de cultures, les caractéristiques des sols, les dates de semis et l'efficience de l'irrigation est considérée. Les différents régimes de débits dans le système sont générés pour une qualité de fonctionnement choisie et sont utilisés par les autres modèles;

#### 2 — Modèle d'optimisation des réseaux :

Ce modèle utilise une extension de la méthode discontinue itérative à l'optimisation des réseaux avec plusieurs régimes de débits.

#### 3 — Modèle de dimensionnement du canal et de gestion des transferts d'eau :

Ce modèle utilise les hydrographes de demande générés au niveau des stations de pompage et des prises principales pour déterminer le dimensionnement optimal du canal en tenant compte du système de régulation adopté. Le calcul s'effectue en 2 étapes : dans une première étape la section transversale optimale du canal est déterminée pour une capacité de bief donnée. Puis, dans une seconde étape un modèle de simulation du fonctionnement hydraulique du canal vérifie pour des demandes aléatoires si la capacité du canal est adéquate;

#### 4 — Modèle de gestion du réservoir :

Ce modèle produit une stratégie de gestion optimale du réservoir (détermination des lâchers) en tenant compte des hydrographes de demande du système et des apports. Cette approche nouvelle est de nature à permettre une conception et une gestion intégrées des systèmes d'irrigation et de chiffrer le coût de la flexibilité accordée aux irrigants.

The holistic approach presented herein combines four models : A Demand Model, a Model for Optimizing Pipe Sizes for a Network With Several Flow Regimes, a Model for Canal Design and Operation and a Reservoir Model.

### 1. DEMAND MODEL

Determining water demand hydrographs and the design capacity of a large irrigation network is one of the most difficult problems facing the manager or the designer of an irrigation system. Numerous variables, randomly distributed in both space and time, must be considered in a time frame of 30 to 40 years or more. Furthermore, these variables are highly interdependent. The difficulty of analysis resides not only in the temporal and spa-

cial variability, but also in the influence of socio-economic factors which are very difficult to predict. More precisely, some of the factors that must be taken into account by the irrigation system designer are :

(1) The cropping pattern.

(2) The efficiency of irrigation.

(3) The time of use of the irrigation system during peak use period.

(4) The type of irrigation scheduling available and the desired operation of the entire system.

Many studies for capacity determination and management of irrigation systems can be found in the literature. However, the majority of the studies are concerned with water demands of individual crops on individual soil types and few of them integrate these individual water demands over a large irrigation area with multiple crops, and natural and socio-economic conditions.

The demand simulation model using the framework of queuing theory was developed to incorporate multiple variables. The model successfully generates irrigation water demand hydrographs at any node of an irrigation system. The uncertainties in many input variables are taken into account through the use of probability distributions rather than deterministic expected values. The output from the model is used to compute measures of performance (called herein quality indices) of the irrigation system for any simulated condition. This in turn allows for the determination of a design capacity value that will result in a satisfactory probability of satisfying the crop water needs in a timely manner.

In the model, the irrigation system is considered as a queuing system where the fields are the customers and the various outlets of the irrigation system are the servers. When a field needs water, the farmer either opens a gate or asks the water distribution agency for a water delivery. The farmer's water order or the opening of the gate corresponds to the arrival of a customer to the service facility. The field may be immediately satisfied if the water is available (i., e., if the server is idle) or it may need to wait for service and therefore a queue starts forming. When the field receives water, service starts and when irrigation is completed, service ends for that particular field and a new field can start irrigating.

To model this physically based queuing system, five main model components are necessary :

(1) A sub-model to generate random field characteristics;

(2) A sub-model to compute actual evapotranspiration as influenced by climate, crops and

their growth stage, and the soil moisture content. Evapotranspiration is the driving force for the arrival process;

(3) A sub-model to compute the soil moisture status and decide when to irrigate (arrival times) and how much water to apply (service times); and

(4) A queuing simulation sub-model to compute the queuing system statistics and measures of effectiveness (quality indices).

To characterize the population of customers, i. e. the fields, in such a way as to allow future prediction of their behavior with respect to irrigation, five variables are used :

(1) The size (The acreage) of the field;

(2) The irrigation efficiency of the field resulting from various random factors;

(3) The average characteristics of the soil type of that field as expressed by the water holding capacity;

(4) The crop grown on the field. (Type of crop, and variety); and

(5) The particular planting date of the crop.

Each of the above five factors are random variables in the sense that each variable can be represented by some probability density function. The five field characteristics are computer generated from specified probability distributions. The necessary data to be collected may be kept to a minimum by conducting sensitivity analysis with the model. More data for a variable is necessary only if the model proves to be sensitive to this variable.

The simulation process is conducted daily from the earliest planting date until the last harvest date, with the running inventory of the soil moisture content being made for each field, depending on the waiting times in the queuing system.

At the end of each simulation run, water demand hydrographs as constrained by system capacity or available water from the reservoir are generated and two performance indices are computed. The first one is a waiting time quality index defined as the probability of an irrigation event to be delayed less than a maximum admissible time. The higher this performance index, the more the capacity of the system is adapted to on demand operation. The second index is an average evapotranspiration ratio, defined as the average ratio of maximum to actual evapotranspiration for all fields in the command area. This index is more adapted to those designers or managers interested in the final output of the system, i. e. in yields, rather than in the « on demand » quality of the system.

Running the model at a given node of the system under a fixed set of conditions for one irrigation season, will provide daily water demands for

the season at that node as constrained by the capacity of the system and expected water releases from the reservoir; while running the model at a given node  $n$  times, makes  $n$  replications of a treatment. Values  $Q1, Q2, \dots, Qn$  of the performance index at this node are obtained. This sample will have an estimated mean EEQ and an estimated variance EVQ, and the design capacity required for some performance level can thus be obtained.

## 2. MODEL FOR OPTIMIZING PIPE SIZES FOR A NETWORK WITH SEVERAL FLOW REGIMES

### 2. 1. Problem statement

A collective irrigation network is typically a branched system. Thus, the flows are chosen independently of the pipe diameters because there is only one path from the water supply to the delivery point. Irrigation discharges are generally designed to meet the peak demand of the crops. Once the crops water requirements are given, the flow in each section of the branching network can be computed. For irrigation systems operating « on demand », Clement foot note 2 has put forward a formula which gives the flow  $Q_r$  in a section supplying  $R$  offtakes as :

$$Q_R = \sum_{i=1}^R p_i q_i + U \sqrt{\sum_{i=1}^R p_i (1-p_i) q_i^2}$$

Where :

—  $Q_r$  is the flow required to serve the system;

—  $P_i$  is the probability of operation associated with the offtake  $i$  and defined as the ratio of the operating time of the offtake to the operating time of the network;

—  $q_i$  is the discharge of the offtake;

—  $U$  is the standardized Normal variable given by normal probability tables for a chosen « operational quality » of the network which is defined as the probability that the total discharge from all offtakes operating simultaneously does not exceed the design capacity of the network.

Although widely used, Clement's formula has been derived under the assumption of total independence of the offtakes which hardly holds in a realistic situation.

For an irrigation system with fixed configuration, the design optimization problem is one of finding a system of pipes that meets certain specific

2 Clement, R., 1966 « Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant à la demande », **La Houille Blanche** N.5, p. 553-575.

cations. These specifications relate to the pressure requirements at the offtakes for the given network layout and flow requirements in each section, and require that no alternative system capable of meeting the same hydraulic specifications has a lower life cycle cost. This problem has attracted the attention of a number of researchers and designers. Many optimization procedures based on a variational calculus approach, linear programming techniques and dynamic programming principles are available.<sup>3</sup> All these methods consider only a single peak flow distribution in the network. With this kind of approach, there is no assurance that the system selected is the least costly and compatible with the performance requirements. Indeed, in an on demand operated system, serving irrigated areas each with different cropping patterns and different peak water demand periods, the distribution of the flows in each section may vary from one period to the other. In the following, this will be referred to as a network with several flow regimes. Thus, the question arises how to determine the optimum pipe sizes that satisfies the pressure requirements at the offtakes for all flow regimes that may occur in the network.

## 2. 2. The optimization procedure (Model Mak 3)

The demand model as described in the previous section is used to generate a set of design flow regimes in the network for different periods,  $P_r$ ,  $r = 1$  to  $N$ , and an given operational quality. Denoting by  $R$  the flow regime in the network during period  $P_r$  and by  $R'$  the set of flows ( $Q_r$ ) the new approach for optimizing pipe sizes for a network with several flow regimes, called Mak 3, involves two stages :

1. In the first stage an initial solution is constructed. One procedure for determining this initial solution immediately suggests itself, viz., to set the diameter for each section  $k$  of the pipe network equal to the minimum allowable diameter,  $D_{kmin}$  according to a maximum velocity limit, when the section carries the largest flowrate for all flow regimes in the network.  $D_{kmin}$  is the nearest commercially available pipe diameter to  $(D_{min})_k$  given by :

$$(D_{min})_k = L_4 Q_r / M V_{may}^{1/2}$$

3 Ait Kadi, M. 1986 « Optimization of Pipe Network Layout and Design », unpublished Ph. D. dissertation, USU, Logan, Utah.

Where :

$$Q^*k = \max (Q1k, Q2k, \dots, QNK)$$

$V_{may}$  = the maximum allowable flow velocity in a pipe. This limit is usually set for a better control of problems of transients and to avoid erosion or scouring of the pipe interior.

Obviously this initial solution produces the minimum cost of the pipe network. To complete the definition of the initial solution, the initial head ( $Z^0$ ) at the upstream end of the network should be computed for each  $R'$ . This can readily be done since the pipe diameters and flows are known and :

$$(Z^0_p)^r = \max \{ (Z_{pmin})^r + \sum_{O \rightarrow M_p} (H)^r \} \quad [3]$$

Where :

- $(Z^0_p)^r$  is the minimum head required at a point  $M_p$  of the network for flow regime  $R'$ .
- $(H)^r$  is the sum of all the friction losses on the Pathway connecting the upstream end of the network,  $O$ , to  $M_q$ .
- $\max$  is the maximum value obtained considering every  $M_q$  of the network for which a minimum head  $(Z^0_p)^r$  is required for  $R'$ . Note that  $Z^0_p$

might be the same for all flow regimes.

By the same token, the initial head ( $Z_{p0}$ ) for  $R'$  at any point  $M_q$  of the network is equal to :

$$(Z^0_p)^r = (Z^0_o)^r - \sum_{O \rightarrow M_p} (H)^r \geq (Z_{pmin})^r \quad [4]$$

2. In the second stage, consider the subset,  $S^*$ , of flow regimes  $R'$  such that  $(Z^0_o)^r$  is greater than the head  $Z_o$  available at the upstream end of the network. The optimum solution is then carried out through an iterative process which is an adaptation of Labye's Iterative Discontinuous Method, LIDM (2) by taking sequentially, but in any order the flow regimes of  $S^*$ . Let us start by a flow regime  $R^m$  of  $S^*$ .  $(Z^0_o)^m$  is the head at the upstream end of the network for the initial solution as computed by eq. (3). The optimum solution for  $R^m$  is obtained by iteratively decreasing the upstream head, then for each iteration selecting the sections for which a change of diameter produces the minimum increase of the cost. The selection process at each iteration is carried out as described in the following :

At any iteration  $i$ , the pipe diameters (at most two diameters (2))  $D_{s+1}$  and  $D_s$  ( $D_{s+1} > D_s$ ) for each section are known. Let  $B_s$  equal to :

$$B_s = (p_{s+1} - p_s) / (j_s - j_{s+1})$$

Where :

- $P_s$  and  $j_s$  are respectively the cost and friction loss per unit length of pipe diameter  $D_s$ .

- $P_{s+1}$  and  $j_{s+1}$  are respectively the cost and friction loss per unit length of pipe diameter  $D_{s+1}$ .

The minimum cost variation,  $dP$ , of the assembly (SN)\* of any sub-network, SN, and a section, k, in series with SN, for any given variation,  $dZ'$ , of the head  $Z'$ , at the upstream end of (SN)\* is obtained by solving the following « local » linear program, LLP :

$$\text{Minimie } dP = - B dZ - B_k dH_k \quad (6)$$

Subject to :

$$dZ + dH_k = dZ.$$

$dZ$  and  $dH_k$  are respectively the variation of the head at the upstream end of SN and the variation of the friction loss in section k.

The optimum solution of the LLP (eq.6) is :

$$dZ = dZ' \text{ and } dH = 0 \text{ if } \beta < \beta_k \quad [7]$$

$$dZ = 0 \text{ and } dH = dZ' \text{ if } \beta > \beta_k \quad [8]$$

Therefore, the minimum cost variation,  $dP$ , of (SN)\* can be written as :

$$dP = - \beta^* dZ' \quad [9]$$

$$\beta^* = \text{minimum} \{ \beta, \beta_k \} \quad [10]$$

Hence, proceeding from any terminal section of the pipe network, eq. 10 can be used to determine the section which will vary with each iteration. Note that in this process, B is determined as follows :

- B(1 + 2) of the assembly of two sections in derivation is equal to :

$$\beta_{(1+2)} = \beta_{(1)} + \beta_{(2)} \quad [11]$$

Where (1) and (2) are determined by eq. (5) given the pipe diameters of sections (1) and (2).

- B(1 + 2) of two sections in series is given by eq. (10) as :

$$\beta_{(1+2)} = \text{minimum} \{ \beta_{(1)}, \beta_{(2)} \}$$

Obviously these determinations of B are generalized to sub-networks as one progresses from the terminal section towards the upstream end of the network. It should be mentioned that in the

case of a terminal section with a head in excess at its downstream end, i.e.,  $(Z_{pi})_m$   $(Z_{pmin})$ , the value of B to be used in the process is equal to zero as long as the excess head prevails.

The iteration step, i.e., the magnitude of  $(dZ_{oi})^m$  for iteration i, is determined as :

$$(dZ_{oi})^m = \text{minimum} \{ \alpha^i, \theta^i, \gamma^i \} [12]$$

With :

- $\alpha^i$  = minimum value of the excess head prevailing in all the nodes where the head will change.

- $\theta^i$  = minimum value of  $(H_{k1} - H^*)$  for those sections which will change diameters, with  $H_{k1}$  being the value of the friction loss in the section at iteration i and  $H^*$  is for this section the value of the friction loss corresponding to the largest diameter over its entire length if the section has two diameters or the next greater diameter if the section has only one diameter. Note that for those terminal sections with head in excess,  $\theta^i$  is equal to the value of this excess.

- $\gamma^i = Z_o - (Z_{oi})$  with  $Z_o$  being the head available at the upstream of the network and  $(Z_{oi})$  the head at this location at iteration i.

For this flow regime, R, the iterative process is continued until  $Z_o$  is reached. Now the optimal solution obtained for R should be considered as an initial solution and the iterative process carried out for another flow regime belonging to  $S^*$ . Note that the element of  $S^*$  may change since the diameters can only increase or remain constant which means that fewer flow regimes are used in the optimization process to determine the optimal solution that satisfies the hydraulic requirements of all flow regimes.

### 3. MODEL FOR CANAL DESIGN AND OPERATION

Canals are widely used as conveyance systems and most of them are operated under rigid schedules. However, some newly built or modernized canal systems are operated under more flexible scheduling policies, but still require that users issue prior water requests. The disability of the system to satisfy farmers' water needs at the right time in the right amount, can be traced to the system's design, management and operation. For a long time the design of canal conveyance systems has been considered only as a classical hydraulic engineering problem. Canal systems have been designed with little, or no consideration, to their functional requirements. Nowadays, the need is recognized for more functional design that integrates flexible scheme of operation into the design of physical structures. A two step method is proposed to design a « users-oriented » conveyance