

# EXPERIMENTATIONS SUR L'IRRIGATION D'APPOINT ET TECHNIQUE DE GESTION DE LA CONTRAINTE HYDRIQUE

OUATTAR Said<sup>(1)</sup>, LAHLOU Ouïam<sup>(1)</sup>,  
AMEZIANE Tayeb<sup>(1)</sup> & EL MOURID Mohamed<sup>(2)</sup>

## PREAMBULE

La présente étude a fait l'objet d'un projet global de recherche-développement mené pour le compte de la DPV dans le cadre du projet 'Intensification de la production céréalière'. Des études techniques et expérimentales ont eu lieu et nous ont permis d'élaborer des références pouvant être utilisées comme des outils de décision par le planificateur, l'agronome et le technicien chargés de la mise en valeur. Les différentes études réalisées ont fait l'objet de 5 volumes :

Le volume 1 est relatif à l'étude climatique dans les régions du Saïss et de la Chaouïa: Quantification des risques climatiques subis par les céréales dans le Saïss et la Chaouïa.

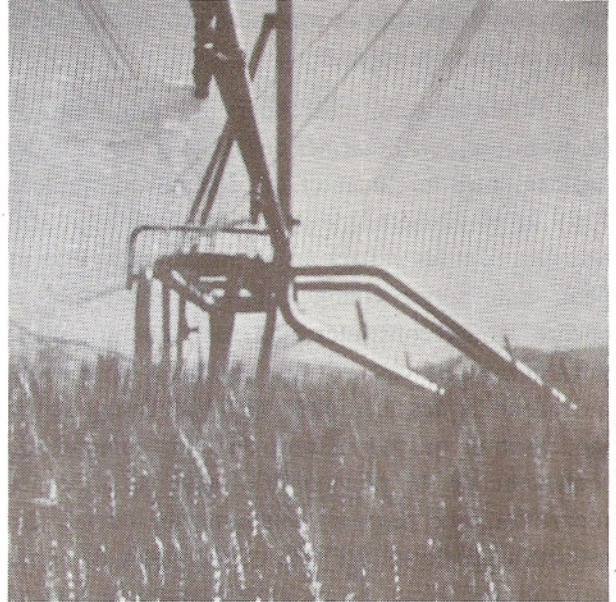
Le volume 2 fait l'objet d'une élaboration d'un logiciel de conseil technique en matière d'intensification céréalière. Il permet de quantifier d'une façon précise les différents indices relatifs à l'alimentation hydrique des céréales: Logiciel Agroclimatique MARAPLUS.

Le volume 3 porte sur les résultats d'expérimentations conduites en station expérimentales et chez les agriculteurs: Etude expérimentale de l'irrigation d'appoint.

Le volume 4 utilise le logiciel MARAPLUS et les résultats des essais au champs pour établir les relations déficit hydrique-rendement et pour étudier la faisabilité économique de l'irrigation d'appoint: Gestion de la contrainte hydrique et rentabilité économique de l'irrigation d'appoint.

Le volume 5 étudie un système d'irrigation adapté aux apports limités d'eau: Etude expérimentale et performances technico-économiques du système rampe-enrouleur.

Le volume 6 est une synthèse des principaux résultats.



## PREFACE

Les chercheurs qui ont réalisé ces études tiennent à adresser leurs remerciements chaleureux à Messieurs:

Abdellatif RAMI YAHYAOUÏ, Hassan BELHADFA et Mohamed ANCHOUM, de la Direction de la production végétale, pour leurs encouragements et pour leur aide effective au cours de la réalisation de ce travail.

Dr M'hammed SEDRATI, Directeur de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, a porté un intérêt particulier à cette étude. Qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude pour son soutien continu.

Nos remerciements vont également à Mr Moh. MARGHI et à ses collaborateurs, DPA de Fès, pour leurs aides lors de la réalisation de certaines expérimentations.

(1) Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

(2) Institut National de la Recherche Agronomique.

# PREMIERE PARTIE

## LOGICIEL AGROCLIMATIQUE MARAPLUS

### OUTIL DE QUANTIFICATION DE LA CONTRAINTE HYDRIQUE

#### I. PROBLEMATIQUE

L'étude du climat en Agriculture revêt un intérêt considérable étant donné ses effets multiples sur l'activité agricole et son incidence déterminante sur la production végétale.

Planificateurs, chercheurs et praticiens se trouvent toujours désarmés devant la complexité des liaisons entre le climat et la productivité agricole. Ainsi, la pluviométrie ne peut à elle seule expliquer les niveaux et les variations des rendements. Elle ne peut donc servir comme outil de diagnostic et encore moins constituer une base opérationnelle pour la mise en valeur. C'est pourquoi, nous avons eu recours à des méthodes d'analyse basées sur la modélisation qui permettent de tenir compte non seulement de la pluviométrie mais aussi de sa répartition, du pouvoir évaporant du climat, des capacités hydriques des sols et des dates de semis des cultures. Nous avons alors élaboré le logiciel MARAPLUS.

#### II. CONCEPTION ET PRESENTATION DU LOGICIEL MARAPLUS

La quantification et le pilotage de la contrainte hydrique nécessite la mise au point d'outils de calcul et de simulation performants. Dans ce but nous avons élaboré un logiciel de gestion et de management de la contrainte hydrique appelé MARAPLUS. Il est programmé en fortran 77 sous forme de modules qui sont indépendants en terme de programmation. Il permet de simuler à partir de données du climat, de la culture et du sol l'évapotranspiration de référence, l'évapotranspiration de la culture et le déficit hydrique. Il permet de déterminer aussi les besoins en eau d'irrigation. Le modèle est composé de trois modules qui doivent être exécutés dans l'ordre (Figure 1.1) :

1. ETREF : calcule l'évapotranspiration potentielle ou de référence (ET0).
2. ETCER : calcule l'évapotranspiration de la culture (ETCER).
3. DEFICIT : calcule le déficit en eau de la culture ou le besoin en irrigation (DH).

#### Les entrées du modèle sont:

- 1- Les données climatiques ;
- 2- Les caractéristiques propres à la culture ;
- 3- Les caractéristiques édaphiques.

Les données climatiques doivent être préalablement préparées dans un fichier dont le format est spécifié sur le tableau 1.1. Les autres données sont introduites par clavier au cours de l'exécution des trois modules.

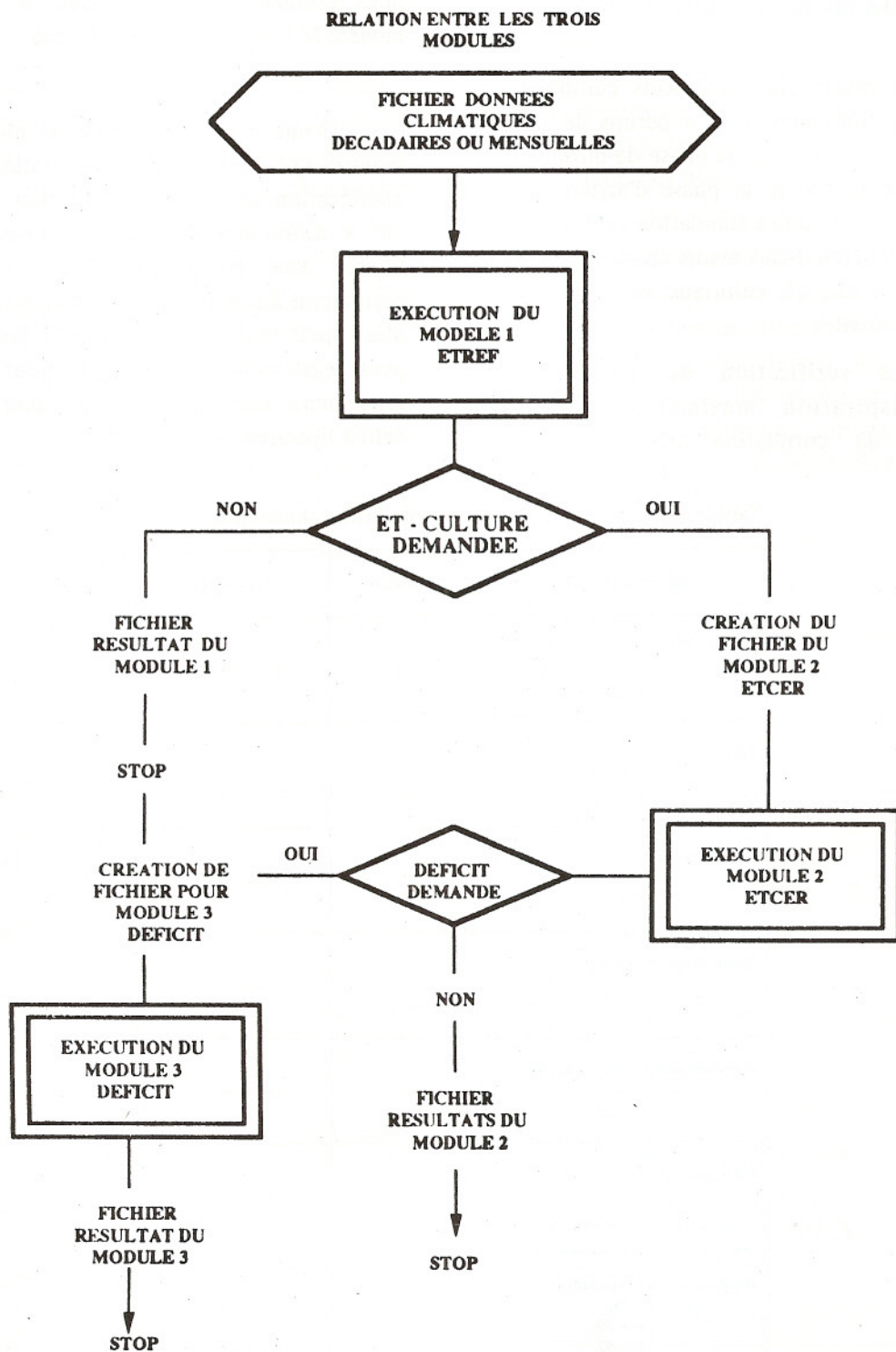
#### Les sorties du modèle sont:

- 1- L'évapotranspiration de surface de référence (en mm) ;
- 2- L'eau stockée dans le sol (en mm) ;
- 3- La profondeur d'enracinement ;
- 4- Les coefficients culturaux (KC) ;
- 5- L'évapotranspiration de la culture (en mm) ;
- 6- le déficit hydrique (en mm) ;
- 7- L'indice de déficit hydrique (en pourcentage) ;
- 8- Le taux de satisfaction des besoins en eau (en pourcentage).

L'estimation des coefficients culturaux est basée sur la méthode de Doorenbos et Pruitt (1977) qui subdivise le cycle de la culture en 4 phases: Phase initiale, phase de développement, phase de

Figure 1 : Organisation du logiciel MARAPLUS

# LOGICIEL MARAPLUS



mi-saison, phase d'arrière saison. Les coefficients culturaux pour le 3ème et le 4ème stade doivent être spécifiés.

### III. VALIDATION DU MODELE :

1. Le calage des coefficients culturaux sur trois années différentes nous a permis de trouver une moyenne de 1.33 pour la phase de mi-saison, et de 1.01 pour la fin de la phase d'arrière saison, valeurs utiles pour toute simulation intéressant les cultures céréalières. Nous avons aussi déterminé la courbe des coefficients culturaux sur tout le cycle cultural des céréales.

2. La vérification du modèle pour l'évapotranspiration maximale, révèle des coefficients de corrélation très hautement

significatifs (Figure 1.2). L'évolution dans le temps des ETM simulées et observées au cours des années 78-79 et 85-86, prouve l'exactitude de la prédiction réalisée (Figure 1.3 et Figure 1.4). Ceci nous permet de conclure que la validation du modèle MARAPLUS est confirmée.

D'une manière générale, le modèle validé a montré qu'il est un outil opérationnel pour la planification des apports d'eau. Son application se fait à différentes échelles. Il présente un grand intérêt dans la gestion d'une exploitation en permettant à son gestionnaire d'apporter la quantité d'eau qu'il faut au moment qu'il faut. Le modèle peut également être utilisé pour prédire les rendements céréalières en appliquant les relations déficit hydrique-rendement.

Tableau 1.1: Spécification du format du fichier climatique.

Colonnes de l'écran	Format	Exemples
<i>Année (19..)</i> 1 2 - 5	1X 14	1 colonne vide 1980
<i>Mois (1 à 12)</i> 6 7 - 8	1X 12	1 colonne vide 11
<i>Décade (1 à 3)*</i> 9 10 - 11	1X 12	1 colonne vide 1
<i>Température moyenne (°C)</i> 12 - 18 19 - 23	7X F4.1	7 colonnes vides 30.2
<i>Humidité relative moyenne (%)</i> 24 25 - 29	1X F4.1	1 colonne vide 100.2
<i>Vitesse du vent (m/s)</i> 30 31 - 34	1X F4.1	1 colonne vide 20.2
<i>Durée d'insolation (heures)</i> 35 36 - 39 40 - 52	1X F4.1 13X	1 colonne vide 40.2 13 colonnes vides
<i>Précipitations (mm)</i> 53 - 61 62 - 66	9X F6.1	9 colonnes vides 100.20

\* Si le pas du temps choisi est le mois, la colonne 10 et 11 doivent être laissées vides.

#### IV. INTERETS DU MODELE

Le modèle qui a été élaboré est un outil de planification agricole, de gestion des contraintes climatiques et de conseil technique en matière d'intensification céréalière.

Concernant la planification, le modèle permet de quantifier d'une façon précise les différents indices relatifs à l'alimentation hydrique des céréales. Ces indices sont l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'évapotranspiration maximale (ETM), l'évapotranspiration réelle (ETR), le déficit climatique (P-ETP), le déficit hydrique (DH), l'indice de déficit hydrique (IDH) et le taux de satisfaction des besoins en eau (TS).

Sur la base de ces indices, des études comparatives inter-régionales, régionales, annuelles et interannuelles peuvent être menées. On peut

ainsi faire ressortir les sols où les niveaux de sécheresse dépassent les seuils critiques pour la céréaliculture et identifier les sols où les marges de progrès sont plus importants.

Un autre intérêt important du modèle est d'identifier les dates optimales de semis des céréales. Pour ce faire, plusieurs dates de semis sont introduites dans le modèle. Les dates de semis qui assurent les plus faibles déficits et le plus fort taux de satisfaction des besoins en eau sont déterminées pour diverses zones d'une région.

Le modèle est aussi un outil de décision et de conseil technique pour les agriculteurs ayant la possibilité d'effectuer des irrigations d'appoint. Pour cela, les données climatiques décennales sont introduites dans le modèle au fur et à mesure du déroulement de la campagne agricole. Le modèle génère les déficits hydriques éventuels à combler par l'irrigation.

Fig 1.2: Confrontation de l'ETM observée et de l'ETM simulée

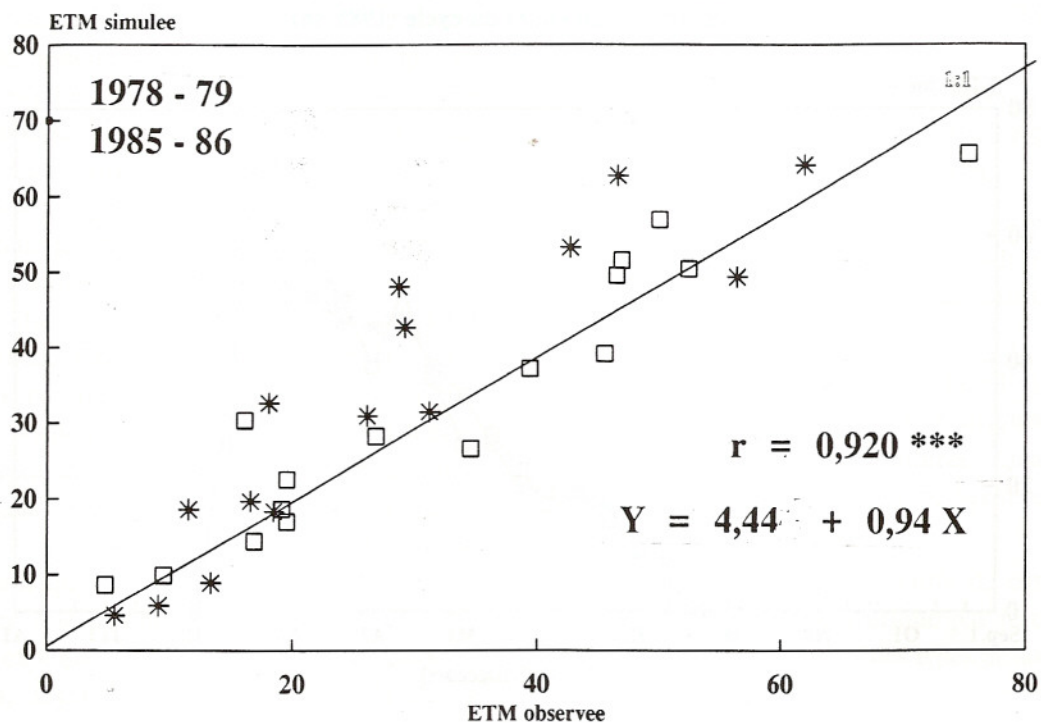


Fig 1.3: Evolution de l'ETM observée et simulée au cours du cycle (1978-79)

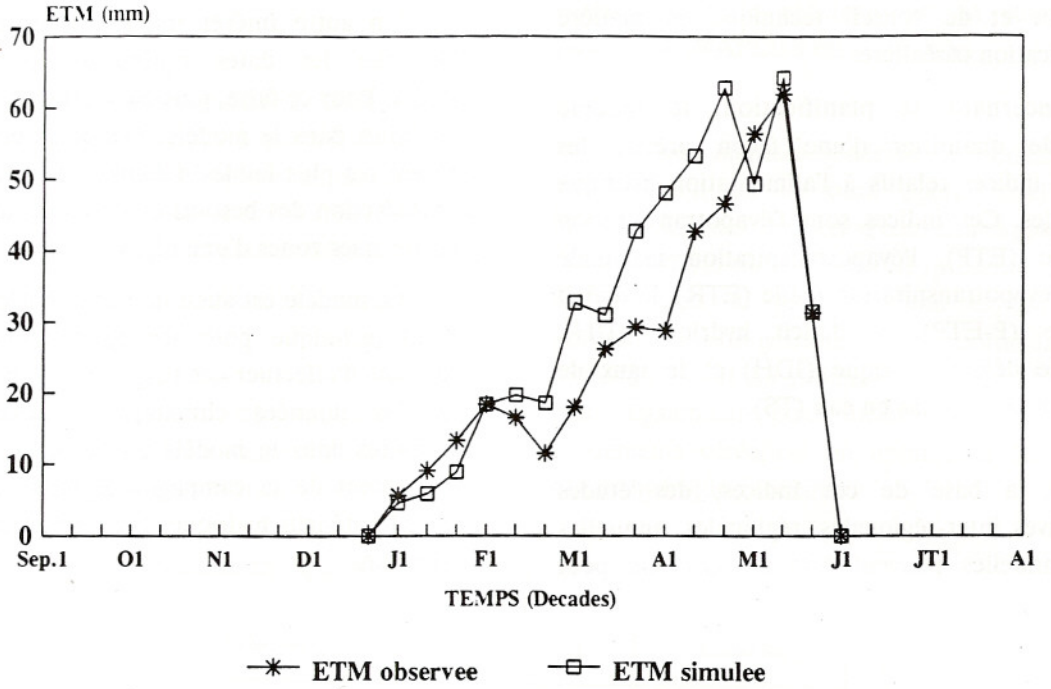
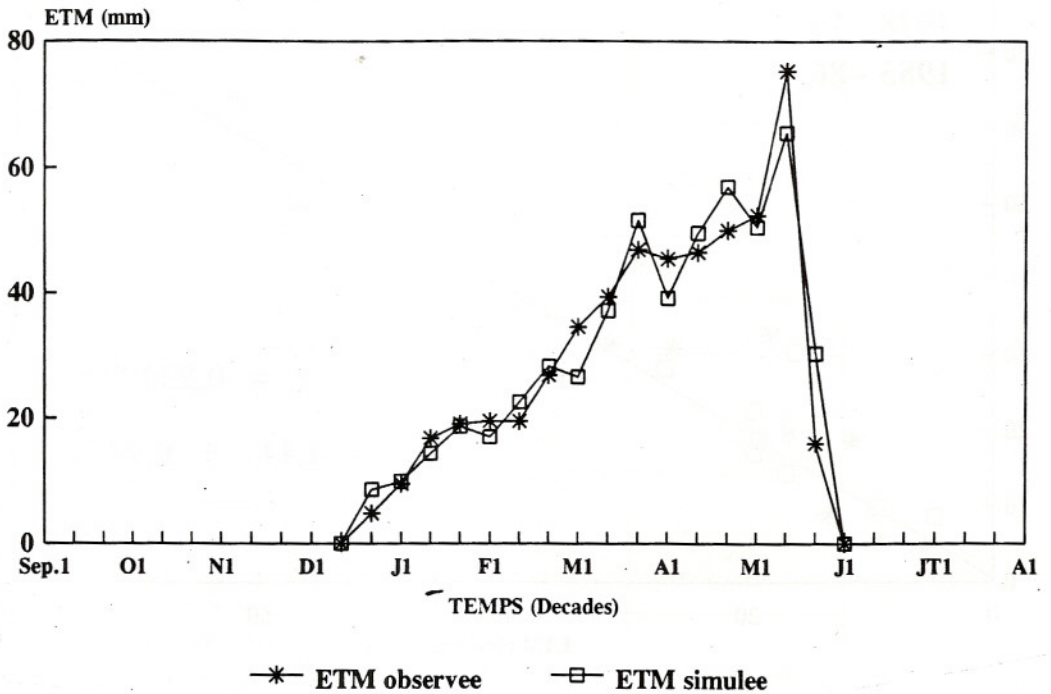


Fig 1.4: Evolution de l'ETM observée et simulée au cours du cycle (1985-86)



## DEUXIEME PARTIE

# GESTION DE LA CONTRAINTE HYDRIQUE SUBIE PAR LES CEREALES DANS LE SAISS ET LA CHAOUIA

### I. PROBLEMATIQUE :

C'est sur la production agricole que repose une partie importante de l'économie nationale, et plus particulièrement la production céréalière puisqu'elle participe pour le tiers du produit intérieur brut agricole. La céréaliculture couvre une superficie de plus de 5 millions d'hectares, soit plus de 80% du total des superficies emblavées. Désormais, les résultats de la recherche montrent que le potentiel de production représente plus que le double de la production moyenne actuelle (DPV, 1984, 1987, Ouattar, S. et Ameziane, T. 1989).

Extension en superficie d'un côté et faiblesse de production de l'autre, tel est le paradoxe qui caractérise la céréaliculture et qui place le développement du secteur céréalier au centre des préoccupations actuelles. Sans pour autant insister sur le rôle de tous les facteurs qui conditionnent cette production, le climat par son double effet, direct sur le végétal et indirect par l'intermédiaire des techniques culturales, joue un rôle déterminant. En effet, de nombreux auteurs ont montré que les composantes climatiques au Maroc connaissent une variation intense, aussi bien au niveau interannuel qu'au niveau intra-annuel. Ces variations climatiques conjuguées aux conditions édaphiques et aux techniques culturales expliquent la faiblesse et les fluctuations des rendements céréaliers d'une année à l'autre. Les études menées dans plusieurs régions (Abda, Rhamna, Haouz, Chaouia, Saiss, Tadla), ont montré qu'il existe effectivement une corrélation positive entre les rendements des blés et la pluviométrie dans le semi-aride. Cette corrélation s'atténue dans les zones du nord plus arrosé. Là, la pluviométrie imprime son effet beaucoup plus par sa répartition que par les quantités totales reçues. Ceci montre que la pluviométrie totale ne peut à elle seule expliquer les variations des niveaux de rendements. C'est ici que paraît l'intérêt de la

modélisation qui permet de tenir compte non seulement de la pluviométrie totale, mais, aussi de sa répartition, du pouvoir évaporant du climat local, des capacités hydriques des sols et des conditions de conduite des cultures. Gérer les contraintes climatiques imposées aux céréales repose sur une connaissance objective et une étude précise qui permettent de caractériser l'importance et la variabilité des déficits climatiques.

### II. PRESENTATION DES ETUDES

L'objectif global de cette partie d'étude est de quantifier les effets du climat sur les niveaux de production, de mettre au point des stratégies qui permettent le pilotage de la contrainte hydrique et de préciser les normes de conduite des céréales surtout quand les possibilités d'irrigation d'appoint existent. Cette étude peut intéresser l'ensemble du Maroc. Mais, pour maîtriser le problème, nous avons choisi deux zones céréalières importantes mais contrastées, le Saiss et La Chaouia. Les objectifs spécifiques sont :

1. Etude du régime des précipitations (P), de la demande climatique (ETP) et du déficit climatique (P-ETP).
2. Quantification de la variabilité interannuelle du déficit hydrique, de son intensité et du taux de satisfaction des besoins en eau.
3. Caractérisation de l'évolution intra-annuelle des déficits hydriques au cours des cycles des cultures. Quantification des seuils critiques de sécheresses et de leurs fréquences.
4. Analyse des possibilités de correction de la contrainte hydrique par le choix de la date de semis et des types de sol.

### III. RESULTATS ET DISCUSSION :

A travers ces études, les principales conclusions qui peuvent être dégagées se résument comme suit :

Les résultats des études climatiques ont permis de caractériser l'environnement physique régional du Saiss et de la Chaouia de manière quantitative. Les études agroclimatiques ont permis d'identifier les périodes de sécheresse tout au long du cycle cultural, de quantifier les niveaux de stress subis par les cultures et d'évaluer les seuils critiques de déficit et leurs fréquences.

#### A. LE SAISS

1. Le Saiss reçoit en moyenne 530 mm de pluie par an, avec un coefficient de variation important, qui est de 24 %. La demande climatique annuelle totalise 1593 mm et présente un faible coefficient de variation de 6.8 %. Le déficit climatique régional atteint 1063 mm et accuse une forte variabilité interannuelle. En moyenne, les précipitations dépassent l'évapotranspiration de Novembre à Février. Cette période sans déficit s'étend jusqu'à début Avril une année sur quatre. En dehors de ces périodes, les déficits décennaux sont importants et peuvent dépasser 60 mm.

2. Le risque d'avoir un déficit hydrique dans la région du Saiss ne dépasse jamais 60% (Figure 2.1). Pour les semis précoces et de saison, on satisfait tous les ans plus de 60% des besoins. Lorsque le semis est retardé, on arrive à satisfaire juste un peu plus que la moitié des besoins, soit 54 %. Le déficit hydrique total s'élève à 88 mm avec le semis précoce. Il atteint 180 mm pour le semis de saison et 247 mm pour le semis tardif (Figure 2.2). Il est intéressant de noter que le choix de la place du cycle de la culture dans l'année permet d'atténuer les déficits climatiques décennaux (Figure 2.3).

3. Semées en Octobre, les céréales subissent des seuils critiques de sécheresse une année sur quatre. Avec le semis tardif, ces seuils sont dépassés une année sur deux durant la période 20 Mars-20 Mai. Le semis de saison permet de réduire cette

période de sécheresse à un mois (10 Mars-10 Avril). Des doses de 40 mm peuvent être bien valorisées. Dans cette région, le semis précoce se traduit par l'instauration de déficits hydriques dès le début du cycle. Dans ces conditions, il est opportun d'irriguer dès le 20 Octobre.

4. Un sol à forte réserve hydrique permet d'assurer 77 % des besoins en eau des céréales. Le taux de satisfaction baisse à 64 % pour un sol moyen et à 42 % pour un sol peu profond. Le sol à faible réserve hydrique est exposé à des indices de déficit hydrique supérieurs à 40% une année sur deux. Pour une réserve moyenne, dépasser le seuil critique du déficit hydrique (40%) est un cas très rare et n'arrive pas plus d'une fois toutes les vingt années (Figure 2.4).

5. Dans les sols à faible réserve, le déficit hydrique se manifeste dès Janvier. L'amélioration de la réserve du sol permet de retarder l'instauration de ce déficit à Février pour les sols moyens et à début Mars pour les sols profonds. Les déficits annuels à satisfaire sont de 117 mm en sol profond, 180 mm en sol moyen et atteignent 289 mm en sol peu profond (Figure 2.5).

6. Les seuils critiques de déficit hydrique décennaux sont dépassés sur tout le cycle de la culture une année sur deux pour les sols peu profonds. Cette période se réduit à trois décades (20 Mars-20 Avril) pour les sols moyens et à deux décades (30 Mars-20 Avril) pour les sols profonds. Des irrigations pendant ces périodes sont bénéfiques. L'amélioration de la réserve hydrique des sols permet de réduire considérablement les déficits hydriques cumulés (Figure 2.6).

#### B. LA CHAOUIA :

1. La chaouia reçoit en moyenne 387 mm de pluie par an, avec un fort coefficient de variation qui est de 33 %. L'évapotranspiration potentielle ou demande climatique est de 1726 mm. Contrairement à la pluviométrie, l'évapotranspiration potentielle est peu variable et son coefficient de variation est de 3.6 %. La région subit une sécheresse quasi-permanente avec un déficit climatique annuel de 1339 mm. Elle n'échappe au déficit qu'une année

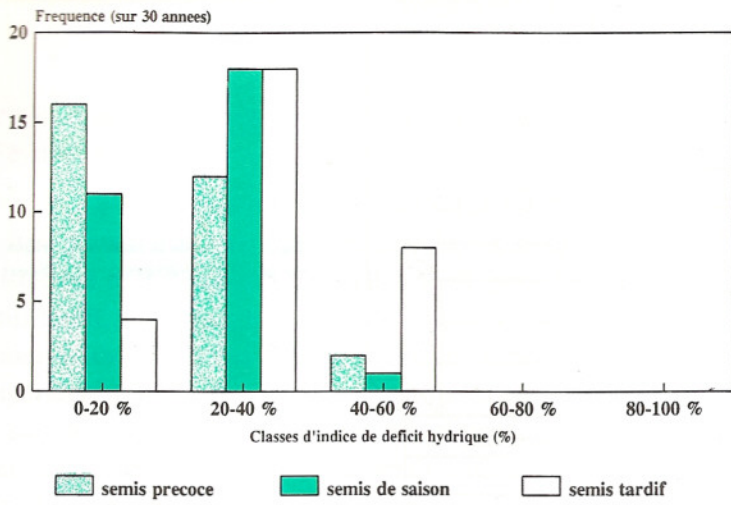


Fig 2.1: Effet de la date de semis sur les fréquences de déficit hydrique(Saiss)

Fig 2.2: Effet de la date de semis sur le déficit hydrique cumulé sur le cycle (SAISS)

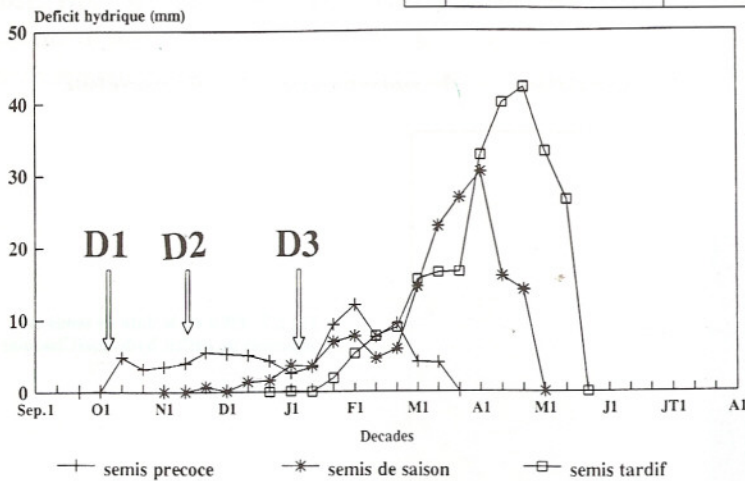
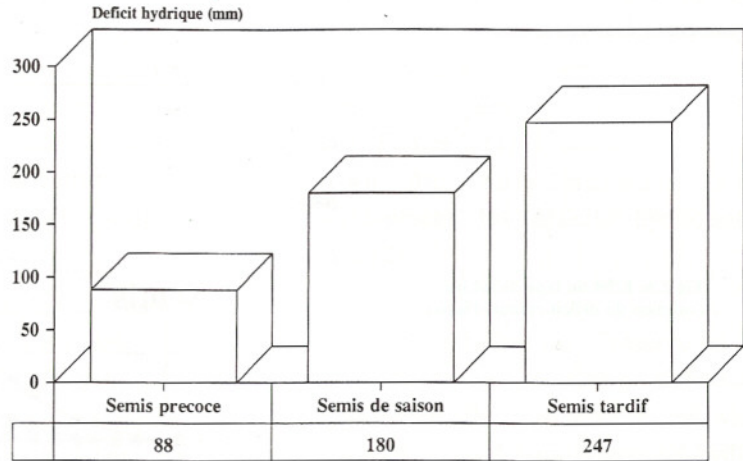
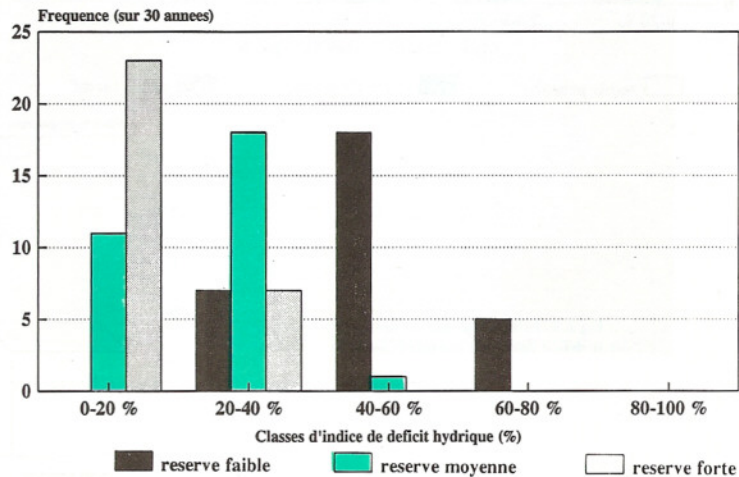


Fig 2.3: Effet de la date de semis sur l'évolution du déficit hydrique (Saiss)

Fig 2.4: Effet de la reserve hydrique sur les fréquences de déficit (Saiss)



Analyse faite pour un semis de saison

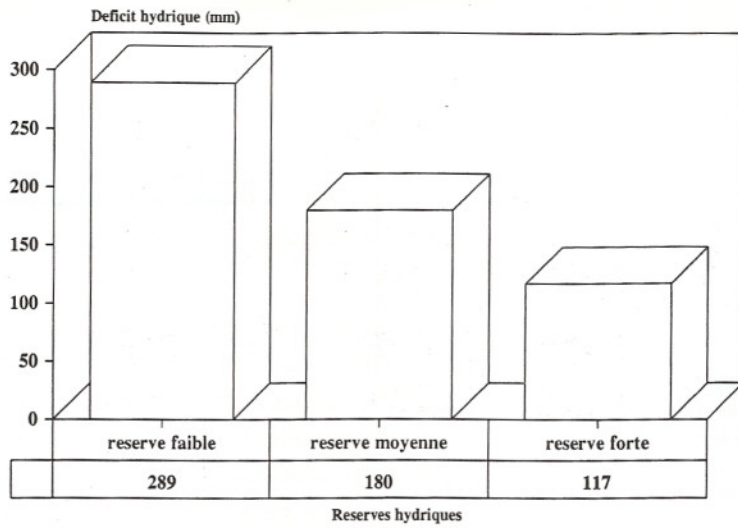


Fig 2.5: Effet de la reserve hydrique sur le deficit hydrique cumulé (Saiss)

Analyse faite pour un semis de saison

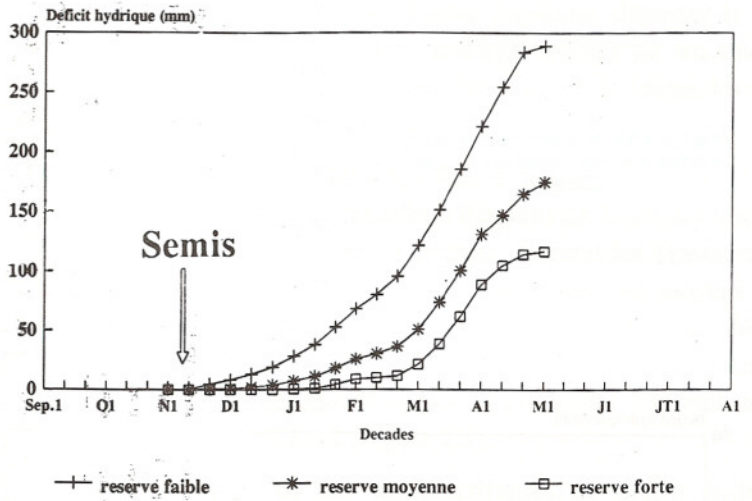


Fig 2.6: Effet du type de sol sur l'évolution du deficit cumulé (Saiss)

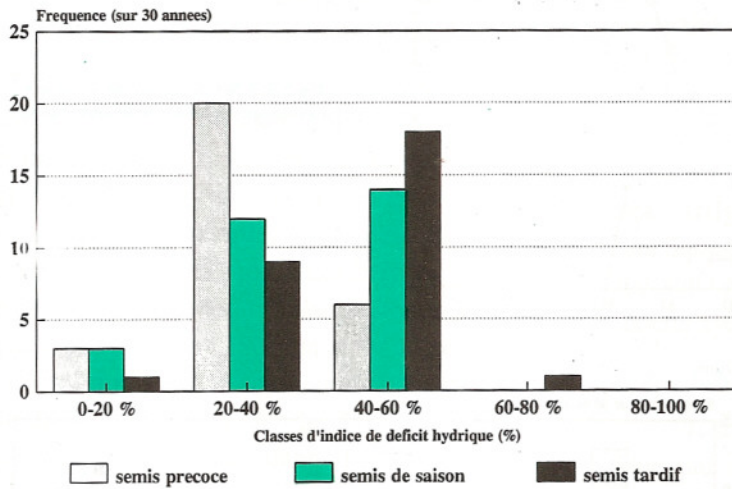
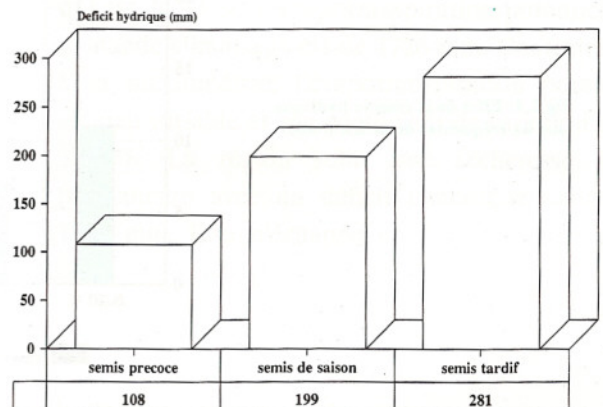


Fig 2.7: Effet de la date de semis sur fréquences de deficit hydrique (Chaouia)

Fig 2.8: Effet de la-date de semis sur le deficit hydrique cumulé (Chaouia)



sur quatre et seulement sur la période de Novembre à Février.

2. Le semis précoce permet de satisfaire 72 % des besoins en eau des céréales. Le taux de satisfaction chute considérablement à 46 % pour le semis tardif. En termes de fréquence, le semis tardif expose la culture à des déficits hydriques néfastes (Supérieurs à 40%) deux années sur trois. Le semis de saison reste soumis à ces mêmes risques une année sur deux. L'avancement des semis atténue ces risques et ramène leur probabilité à une année sur cinq (Figure 2.7). Globalement, le déficit hydrique total atteint 108 mm en semis précoce il double en semis de saison (199 mm) et triple en semis tardif (281 mm) (Figure 2.8). Il est intéressant de noter que le choix de la place du cycle de la culture dans l'année permet d'atténuer les déficits climatiques décennaux (Figure 2.9).

3. Les céréales semées en Octobre subissent un déficit hydrique continu dès le début du cycle. Le semis de saison reste sujet à des déficits critiques durant la deuxième décennie de Novembre une année sur deux et en Mars trois années sur quatre. Des doses de 10 mm par décennie en début de cycle et de 30 à 40 mm au mois de mars sont nécessaires.

4. Dans les mêmes conditions climatiques, la réserve en eau du sol conditionne la sévérité de la sécheresse subie par les céréales. Un sol à forte réserve permet de satisfaire 71 % des besoins de la culture contre 36 % pour un sol peu profond. Contrairement aux idées courantes, la variabilité du déficit est plus forte sur les sols profonds.

5. Les seuils critiques de déficit hydrique décennaire sont dépassés sur tout le cycle de la culture trois années sur quatre pour les sols à faible réserve (Figure 2.10). Dans ces conditions, le déficit annuel est de 304 mm et ne peut être satisfait par une seule irrigation. Le déficit baisse à 199 mm pour les sols moyens et à 138 mm pour les sols profonds (Figure 2.11). L'amélioration de la réserve hydrique des sols permet de réduire considérablement les déficits hydriques cumulés (Figure 2.12).

6. L'amélioration de la réserve en eau du sol permet de réduire les périodes de déficit sévère à la deuxième décennie de Novembre et en Mars. Ainsi, même pour des sols à bonne capacité hydrique pour la région, une complémentarité par l'irrigation est nécessaire pendant ces deux phases.



Installation de l'essai sur l'irrigation d'appoint à Kariat-Tissa.

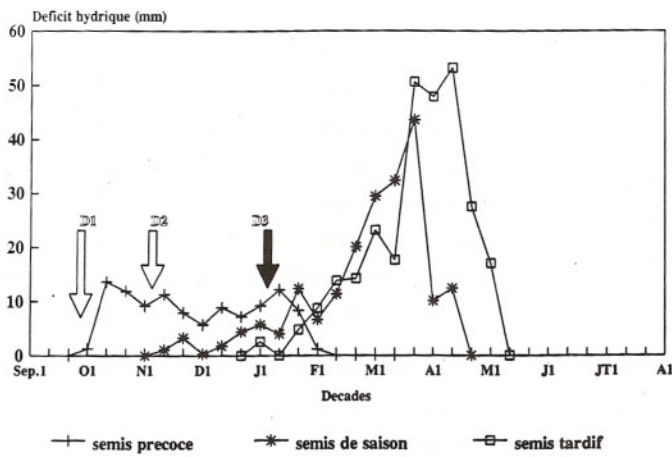


Fig 2.9: Effet de la date de semis sur l'évolution du déficit hydrique (Chaouia)

Fig 2.10: Effet de réserve hydrique sur les fréquences de déficit (Chaouia)

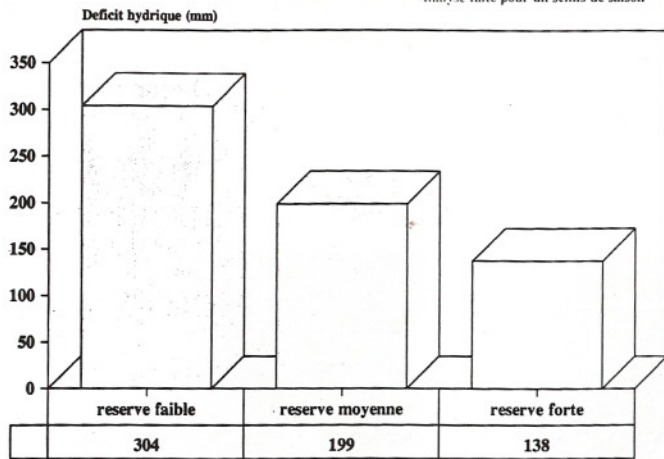
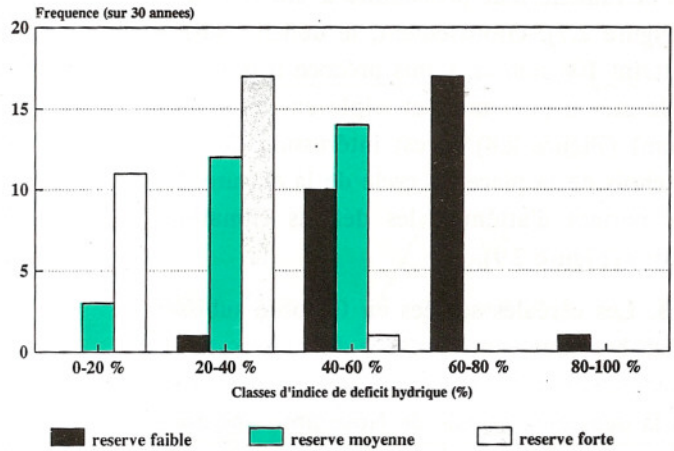
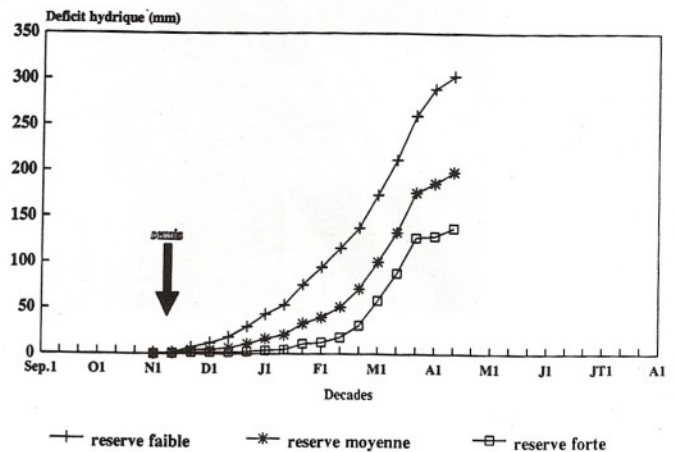


Fig 2.11: Effet de la réserve hydrique sur le déficit hydrique cumulé (Chaouia)

Analyse faite pour un semis de saison

Fig 2.12: Effet du type de sol sur l'évolution du déficit hydrique cumulé



# TROISIEME PARTIE

## ETUDE EXPERIMENTALE DE L'IRRIGATION D'APPOINT

### I. INTRODUCTION

L'agriculture moderne est une agriculture des efficients et les ressources disponibles doivent être utilisées d'une façon rationnelle. Parmi celles-ci, l'eau constitue le facteur essentiel d'amélioration et de stabilisation des rendements et en même temps une ressource de plus en plus rare.

Cette contrainte hydrique est posée actuellement avec acuité et oriente ainsi les techniques d'irrigation vers la voie d'économie. Il est donc devenu impératif de connaître et de faire connaître les principales techniques qui optimisent l'utilisation de l'eau.

Le pilotage de l'irrigation doit donc concilier entre les faibles disponibilités hydriques et le besoin d'une production relativement élevée. Des irrigations d'appoint aux précipitations sont à envisager. Le souci d'atténuer la contrainte hydrique a fait naître et développer le concept de l'irrigation d'appoint. Cependant, les potentialités et les limites de cette technique ne sont pas connues et nécessitent des expérimentations.

Les marges de progrès et les potentialités réelles d'amélioration ne peuvent être envisagées sans le recours à des expérimentations au champ pour les techniques et les modalités de l'irrigation d'appoint.

Dans quelles mesures donc, et par quelles pratiques, une quantité limitée d'eau peut elle améliorer le rendement des céréales et augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau ?

### II. OBJECTIFS

L'objectif global dans cette étude est, comme nous venons de l'esquisser en introduction, de mettre au point des stratégies permettant

d'optimiser la gestion de l'eau et augmenter ainsi l'efficacité de son utilisation. Nous avons essayé de répondre aux questions suivantes :

1. Peut-on améliorer le rendement avec un minimum de ressources en eau ?
2. Quand faut-il irriguer ?
3. Peut-on dégager des références et des normes pour guider les praticiens ?

### III. EXPERIMENTATIONS

L'étude que nous présentons ici fait l'objet de quatre expérimentations menées durant 1988-89 1989-90. Pour chaque essai, les traitements ont été choisis pour évaluer à quel stade, l'efficacité de l'irrigation d'appoint est la plus grande.

Nous nous plaçons dans la situation où la ressource eau est limitante ou chère et donc on doit la valoriser au maximum. Nous supposons alors qu'une seule irrigation est possible, maximum deux. Il faut donc cibler l'apport hydrique sur les phases qui répondent le mieux à l'irrigation. Nous avons alors apporté l'eau en trois phases bien précises :

- Tallage, début de cycle.
- Epiaison, milieu de cycle.
- Grossissement du grain, fin de cycle.

Les essais I et II se sont déroulés dans la région de la Chaouia, à la station expérimentale de Sidi El Aydi (INRA, Settât), située sur la route principale à 12 Km de Settât. C'est une région à climat semi-aride. La moyenne des précipitations calculée sur une période de 67 ans est de 388 mm (Ouattar et al, 1986,1989; El Mourid et Watts, 1987). Quatre régimes d'irrigation et deux variétés ont été étudiées.

Les essais III et IV se sont déroulés dans la région du Saiss, chez les agriculteurs de la

coopérative de la réforme agraire "ESSALAM" à Tissa. Les essais I, II et III étudient les régimes à une seule irrigation, soit au tallage (I100), soit à l'épiaison (I010), soit au grossissement du grain (I001). La comparaison se fait avec deux témoins, le premier non irrigué (I000), le second irrigué pendant les trois phases sus-dites et est considéré comme régime potentiel (I111). L'essai IV étudie les régimes irrigués deux à deux, au tallage et à l'épiaison (I110), au tallage et au grossissement (I101), à l'épiaison et au grossissement (I011). Les variétés testées sont la Potam, la Tegey et Merchouch.

#### IV. RESULTATS ET RECOMMANDATIONS

Les essais et études que nous avons menés nous ont permis de mesurer l'effet de l'irrigation d'appoint sur la productivité en biomasse (grain plus en paille) et en grain :

##### A. EFFET SUR LA PRODUCTION DE BIOMASSE (GRAIN ET PAILLE)

1. L'irrigation d'appoint s'est avérée une technique très prometteuse pour la réduction de la vulnérabilité des cultures à la contrainte climatique et pour l'intensification de la production céréalière.

2. L'irrigation d'appoint améliore systématiquement la biomasse (Paille plus grain). L'amélioration est d'autant plus importante que l'irrigation est précoce.

3. Les gains de biomasse dus à une seule irrigation avoisinent 40 Qx/Ha si l'irrigation est apportée au tallage et 11 Qx/Ha si l'irrigation est apportée pendant la phase de grossissement du grain (Figure 3.1).

4. La meilleure irrigation est celle du tallage, elle engendre des augmentations de biomasse de l'ordre de 40% . Elle est suivie de l'irrigation à l'épiaison avec des augmentations de 35 %.

5. L'irrigation tardive au grossissement du grain est moins intéressante et n'améliore la biomasse que de 15%.

6. Contrairement aux irrigations du début et du milieu de cycle, celle de fin de cycle est très liée à la variété utilisée. Un apport tardif ne peut pas augmenter la biomasse de certaines variétés.

7. Au sein du groupe à deux irrigations, la différence de rendement biomasse entre les traitements est très peu significative (Figure 3.2).

##### B. EFFET SUR LE RENDEMENT GRAIN

1. L'effet de l'irrigation d'appoint est également incontestable quant à l'amélioration du rendement grain.

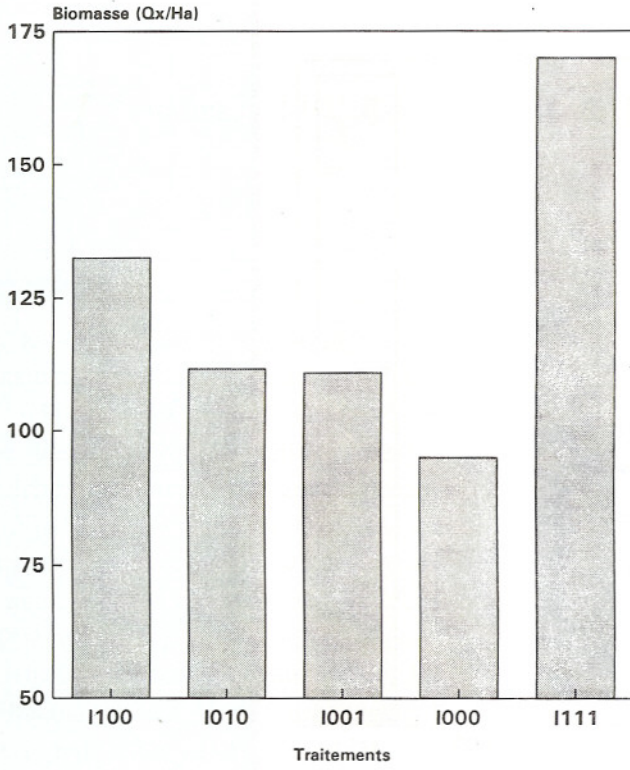
2. Tous les régimes hydriques testés améliorent le rendement grain. Le niveau d'amélioration dépend du stade d'appoint d'eau et du type de variété utilisée.

3. Un seul apport d'eau augmente le rendement grain de plus de 20 Qx/Ha s'il est appliqué au tallage et de moins de 10 s'il est appliqué pendant la phase de grossissement de grain. L'appoint au milieu du cycle (épiaison), présente une situation intermédiaire (Figure 3.3).

4. Globalement, une même dose d'irrigation engendre des augmentations du rendement grain de 55 % si elle est appliquée en début de cycle et de 45 % si elle est appliquée en milieu de cycle.

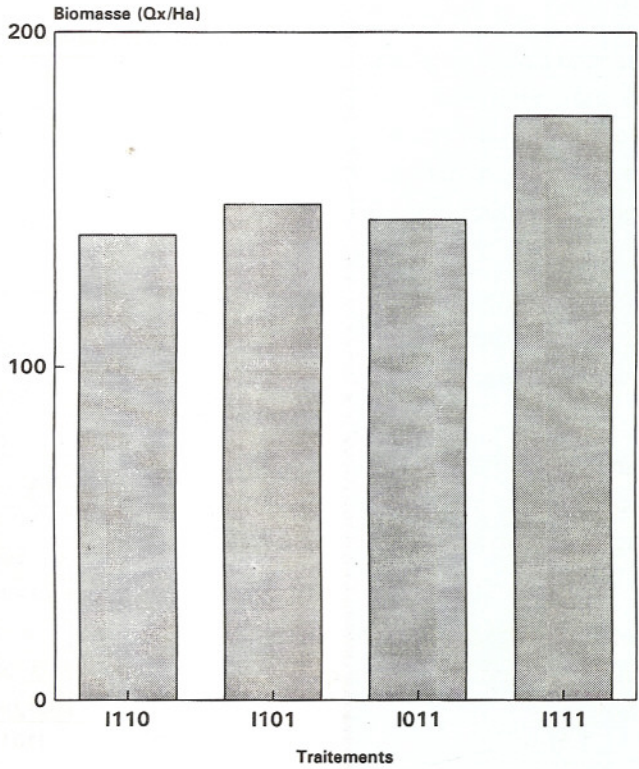
5. L'effet de l'irrigation tardive au grossissement du grain est variable selon les variétés et ne dépasse guère 30% . Ceci s'explique par le fait que l'appoint d'eau au grossissement du grain intervient à une date où l'appareil photosynthétique et les principales composantes de rendement sont déjà altérés. La compensation partielle est possible chez les variétés de type Potam et pas chez les variétés de type Tegey.

Fig 3.1 : Effet de la date d'irrigation sur la biomasse aérienne totale



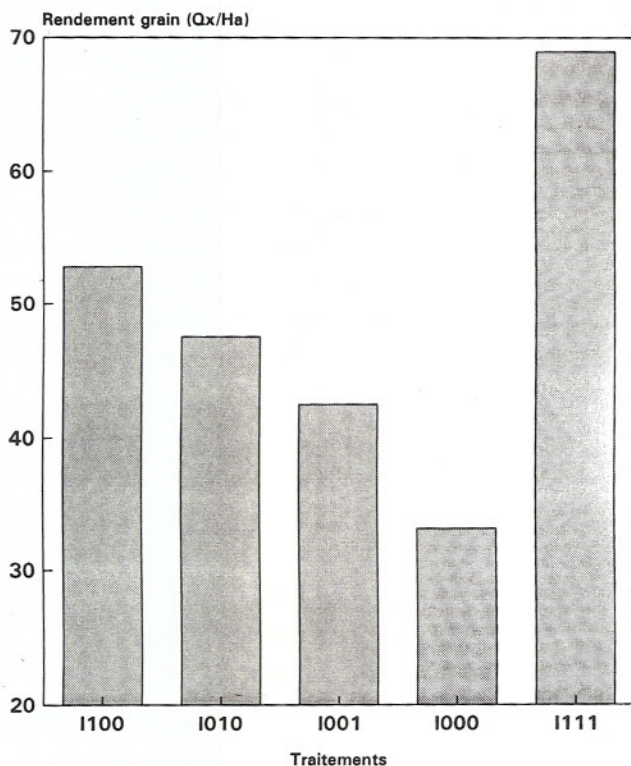
Moyenne des essais

Fig 3.2 : Effet de la date d'irrigation sur la biomasse totale aérienne



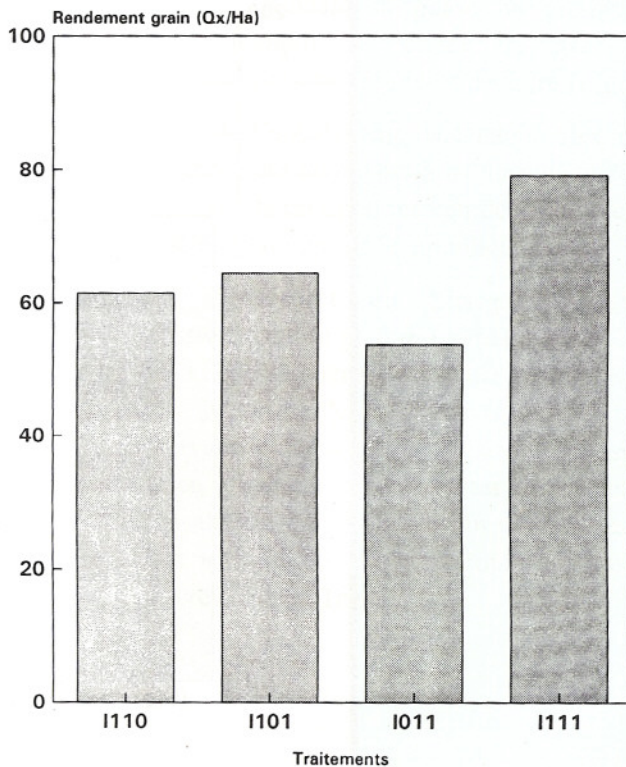
Groupe à deux irrigations

Fig 3.3: Effet de la date d'irrigation sur le rendement grain



Moyenne des essais

Fig 3.4: Effet de la date d'irrigation sur le rendement grain



Groupe à deux irrigations

# RISQUES CLIMATIQUES ET IRRIGATION D'APPOINT

Boutfirass M ; ElMourid M & Moussaoui M\*

## INTRODUCTION

Dans les zones semi-arides marocaines, l'eau est le facteur majeur limitant la production végétale. En effet, la faiblesse des pluies et la forte irrégularité de leur distribution intra et inter-annuelle caractérisent le climat de ces zones. A ceci, s'ajoutent les faibles profondeurs des sols et les hautes températures qui démarrent à partir du mois de mars (bien que les fortes températures au début du cycle ne soient pas rares), faisant de ces régions un environnement hétérogène et à haut risque. La faiblesse et la fluctuation des productions dans ces zones justifient, par ailleurs, la recherche de techniques adéquates pour l'amélioration et la stabilisation des rendements sous cet environnement.

Les solutions qui peuvent être envisagées dans l'immédiat sont soit 1. l'irrigation systématique là où les ressources en eau ne sont pas limitantes, 2. l'irrigation d'appoint là où les ressources en eau sont limitantes et rares. Pour le long terme le développement de techniques d'aridoculture constitue une voie potentielle pour le redressement des productions et l'atténuation de leurs fluctuations.

Il est à noter, cependant, que l'irrigation systématique (périmètres irrigués et pivots) ne peut que devenir de plus en plus coûteuse, étant donné l'augmentation du coût de l'énergie.

D'autre part les ressources en eau deviennent de plus en plus limitées eu égard aux demandes concurrentes de l'agriculture, de l'industrie et de l'urbanisme. Cela fait qu'une gestion économique et efficace de l'eau s'impose. Dans le cas de l'irrigation d'appoint il s'agit surtout d'une gestion conjoncturelle du déficit hydrique pour pallier aux

chutes de rendement qui peuvent s'ensuivre et peuvent aller des fois jusqu'à l'échec total de la culture.

Par conséquent, et pour les deux scénarios, on se trouve devant la nécessité de chercher une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau tout en combinant l'irrigation à d'autres techniques notamment la variété.

Ainsi, la préoccupation actuelle concerne la quantité d'eau à apporter, la date (phase de développement) d'apport et le type de variété à utiliser. Ceci tout en tenant compte des capacités de stockage de différents sols.

Pour répondre à cette préoccupation l'approche choisie est basée sur une technologie à deux composantes :

1. la variété (composante biologique): trois types sont considérés; précoce, semi-précoce et tardive,
2. le régime hydrique (composante physique) avec cinq situations: sec (pluvial), une irrigation au tallage, une irrigation à l'épiaison, une irrigation au remplissage du grain et enfin un régime irrigué combinant les trois apports.

L'approche a été réalisée selon deux voies: une expérimentale et l'autre de simulation par un modèle de croissance complétée par une analyse économique de risque.

Ce rapport présente une première synthèse des travaux conduits au Centre Aridoculture de l'INRA à Settat, et comporte trois parties :

1. irrigation d'appoint des blés,
2. simulation de l'effet de l'irrigation d'appoint sur le rendement du blé,

\* INRA, CRRA Settat

3. l'efficience risque de l'irrigation d'appoint: une évaluation économique.

### 1. Irrigation d'appoint des blés

Dans le but de tester l'effet de l'irrigation d'appoint sur le rendement des blés (durs et tendres) et sur l'efficience d'utilisation de l'eau en zones semi-arides, selon les stades d'apport d'eau et la variété, une étude expérimentale (Boutfirass,

1992) a été conduite au domaine expérimental de Sidi El Aydi (INRA, Settat). Quatre régimes hydriques sont testés sur quatre variétés de blé tendre et quatre variétés de blé dur.

Les principaux résultats obtenus ont montré que l'irrigation d'appoint a amélioré les rendements grain quelle que soit la date d'apport d'eau (Tableau 1), alors que pour la biomasse totale l'augmentation n'a été significative que pour le régime tallage (Tableau 2).

**Tableau 1 : Effet du régime hydrique et de la variété sur le rendement grain (Kg/Ha)**

Variétés	Régime				Moyenne
	000 Sec	I00 Tallage	0I0 Epiaison	00I Grossissement	
Karim	3095	6003	4138	4765	4628 abc
Sebou	4063	5306	4857	4749	4806 a
Oum Rbia	3355	5487	4435	4696	4324 bcd
Marzak	3541	5825	4444	3351	4358 abcd
Marchouch 8	3398	5132	4218	3885	4227 cd
Saba	2744	4945	3614	4321	3906 d
Achtar	3626	5570	5155	4608	4749 ab
El Khair	3416	5184	4478	4256	4334 bdc
Moyenne	3382 c	5421 a	4417 b	4204 b	

CV = 11.5  
LSD régime = 546.08  
LSD variété = 453.74

**Tableau 2 : Effet du régime hydrique et de la variété sur la biomasse totale produite (Kg/HA)**

Variétés	Régime				Moyenne
	000 Sec	I00 Tallage	0I0 Epiaison	00I Grossissement	
Karim	8472	12790	8933	10175	10093 c
Sebou	10399	14254	12291	10118	11765 a
Oum Rbia	8833	14461	10266	9583	10786 bc
Marzak	9781	13685	9777	7990	10308 c
Marchouch 8	9403	13221	9555	9229	10352 c
Saba	8352	13437	9622	10332	10436 c
Achtar	9279	13585	12208	10971	11579 ab
El Khair	9675	14625	10969	10048	11329 ab
Moyenne	9274 b	13791 a	10452 b	9806 b	10831

CV = 9.85  
LSD régime = 1558 . 5  
LSD variété = 872 . 77

En effet, les augmentations observées, par rapport au sec, pour le rendement grain sont respectivement de 60%, 31% et 24% pour les régimes Tallage, Epiaison et Grossissement du grain. Tandis que pour la biomasse les augmentations respectives sont de 50%, 15% et 6%

La différence entre les variétés n'est pas aussi nette que pour les régimes hydriques, bien que la variété de blé dur Karim a donné le meilleur rendement (60 Qx/ha) avec une augmentation de 94% par rapport au témoin sec. Alors que la variété de blé tendre a donné le rendement grain moyen le plus faible.

Les composantes de rendement les plus déterminantes sont le nombre de grain par épi et le nombre de grain par m<sup>2</sup>.

L'irrigation d'appoint au tallage a permis d'obtenir des indices foliaires optimum ainsi que le maintien d'une durée d'action des feuilles assez élevée permettant ainsi une production importante de matière sèche à la floraison.

Les efficacités d'utilisation de l'eau réalisées sont également significativement affectées par le régime hydrique avec une supériorité du régime Tallage pour le grain et la biomasse totale produite (Tableau 3,4). Ces différences entre les régimes d'irrigation d'appoint proviennent essentiellement des niveaux de production atteints du faite que les consommations hydriques (ETR) étaient les mêmes.

**Tableau 3 : Efficacité d'utilisation d'eau pour la biomasse totale**

Variétés	Régime				
	000 Sec	I00 Tallage	O10 Epiaison	00I Grossissement	Moyenne
Karim	30.29	35.75	26.65	30.53	30.80 c
Sebou	37.89	39.87	31.75	29.94	34.86 a
Oum Rbia	30.03	39.59	31.71	28.13	32.36 abc
Marzak	34.27	39.72	28.80	23.37	31.54 bc
Marchouch 8	33.31	38.26	29.06	27.57	32.05 bc
Saba	28.55	37.77	28.83	28.49	30.91 c
Achtar	33.98	38.16	35.25	32.20	34.90 ab
El Khair	33.56	40.22	30.85	30.62	33.81 ab
Moyenne	31.74 b	38.67 a	30.36 b	28.86 b	32.66

CV = 9.71  
LSD régime = 6.18  
LSD variété = 2.59

**Tableau 4 : Efficacité d'utilisation de l'eau pour le grain**

Variétés	Régime				
	000 Sec	I00 Tallage	O10 Epiaison	00I Grossissement	Moyenne
Karim	11.07	16.80	12.21	14.26	13.59 a
Sebou	14.86	14.87	12.64	14.07	14.11 a
Oum Rbia	12.07	15.04	13.69	10.86	14.11 a
Marzak	9.97	16.92	13.11	9.80	12.45 ab
Marchouch 8	12.10	14.85	12.82	11.58	12.84 ab
Saba	9.38	13.92	10.78	11.89	11.49 b
Achtar	13.24	15.35	14.94	13.54	14.27 a
El Khair	11.86	14.23	12.59	12.10	12.70 ab
Moyenne	11.82 b	15.25 a	12.85 b	12.26 b	13.10

CV = 13.52  
LSD régime = 2.12  
LSD variété = 1.45

## 2. Simulation de l'effet de l'irrigation d'appoint sur les rendements de blé (cas de Khouribga)

L'utilisation de la modélisation en agriculture a connu un essor important durant ces dernières années. En effet les modèles mathématiques constituent un outil précieux d'aide à la prise de décision et de gain de temps et de moyens.

Le modèle SIMTAG (ElMourid, 1988, Lamine, 1991) a été utilisé pour simuler l'effet de l'irrigation d'appoint sur le blé tendre dans la zone des plateaux phosphatiers de Khouribga sur une période de 21 années.

Les figures 1 et 2 présentent la probabilité cumulée des rendements simulés sous les différents régimes hydriques pour une variété semi-précoce (Type Nasma) sur deux sols à différentes capacités hydriques. Les mêmes simulations ont été faites pour une variété précoce (type Potam) et variété tardive (type Tegey 32).

Il ressort des résultats des simulations que l'irrigation permet en général une augmentation substantielle des rendements par rapport au non irrigué. Cette augmentation est modulée par le type de sol et la variété. En effet, sur sol profond les augmentations sont plus importantes et l'appoint le plus avantageux est celui qui s'étale entre le tallage et l'épiaison. Sur sol peu profond, c'est surtout à l'épiaison que l'appoint est plus bénéfique. L'apport au grossissement du grain engendre une augmentation plus faible dans tous les cas de figure. En ce qui concerne les variétés, le génotype semi-précoce est le plus avantageux suivi du génotype précoce et permettent une meilleure valorisation des disponibilités hydriques. La variété tardive n'a pas de place dans ces zones même sous irrigation complète.

Fig 1

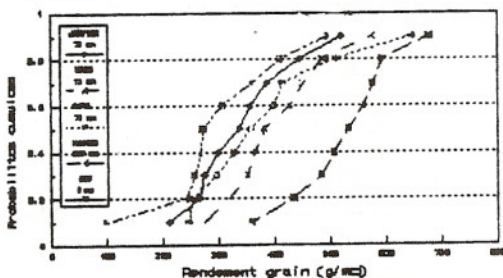


Fig. 2 : Fréquences de rendements de la variété Nasma sous différents régimes hydriques à Khouribga sur sol peu profond

Fig 2

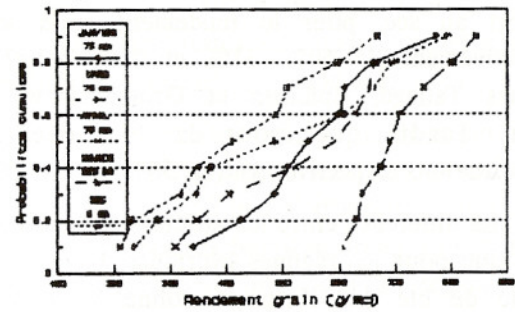


Fig.1: Fréquences de rendements de la variété Nasma sous différents régimes hydriques à Khouribga sur sol profond

Ces résultats montrent l'intérêt d'utilisation des ressources hydriques précocement pendant la phase végétative ou la demande climatique est faible dans les zones semi-arides. Le développement vigoureux et précoce des plantes permet le recouvrement du sol, ce qui diminue les pertes d'eau par évaporation et favorise la transpiration, source de production de matière sèche. Les apports durant le grossissement du grain se font en période de forte demande climatique qui entraîne des pertes d'eau importantes par évaporation combinées avec des pertes de matière sèche par respiration. Il en résulte des efficacités d'utilisation de l'eau qui sont faibles.

## 3. L'efficacité risque de l'irrigation d'appoint : une évaluation économique

La combinaison cultivar-régime d'irrigation constitue une stratégie de lutte contre le stress hydrique. L'évaluation d'une telle stratégie est habituellement basée sur la moyenne des rendements obtenus par expérimentations au champs ou par des simulations. Cette procédure peut s'avérer insuffisante sinon trompeuse, puisque l'utilisation de moyennes physiques ou même de revenus nets ne permet pas de capturer la dimension risque qui, en l'occurrence, caractérise les processus de production de l'agriculture aléatoire.

C'est pour remédier à cette situation que nous proposons une analyse mettant en valeur, simultanément, et le caractère stochastique de la distribution des résultats et les préférences des

agriculteurs vis à vis du risque. Cette analyse, appelée Dominance Stochastique Généralisée (GSD) a été appliquée, à titre expérimental, à la sélection de stratégies efficaces pour différents intervalles de préférence/aversion au risque, sur deux types de sol dans la région de Khouribga (21 années de données climatiques).

L'analyse a porté sur les revenus nets par hectare calculés à partir de rendements simulés par le modèle SIMTAG-PC (El Mourid 1988) et de coûts d'irrigation par pompage. Deux variétés (Potam: précoce; Nesma: semi-précoce) et cinq régimes hydriques ont été concernés (Tableau 5)

■ **Caractéristiques générales des distributions des revenus nets :**

Les caractéristiques statistiques générales des distributions sont présentées dans les tableaux 6a et 6b. Dans la plupart des cas, ces contributions sont déportées soit à droite soit à gauche. Il s'en suit que la contribution des moments plus élevés que la moyenne et la variance est tout à fait appropriée.

Sur sols profonds le classement des revenus nets par cultivar et par régime d'irrigation est exactement le même. Dans les deux cas le régime humide (3 irrigations) domine, suivi de EL, ML, LL et D. Pour le même régime hydrique la variété Nesma domine Potam.

Sur sols peu profonds le même scénario se répète, mais les résultats diffèrent considérablement de ceux sur sol profonds. Ici, les revenus moyens

sont les plus élevés pour le régime humide, suivi de ML, LL, EL et D.

Les écart-types des revenus sont presque toujours plus, élevés sur sol profonds que sur sol peu profonds pour les mêmes combinaisons cultivar-régime d'irrigation; l'exception concerne le régime humide (W). Quand on considère les coefficients de variation les résultats sont plus mitigés. Il est à noter, cependant, que les minima des revenus nets enregistrés sur sol profonds sont systématiquement plus élevés que celles sur sols peu profonds.

Une illustration graphique des résultats est donnée dans les figures 3 à 6.

■ **L'efficience - risque des différentes alternatives :**

le tableau 7 présente les résultats de l'analyse Dominance Stochastique par rapport à une fonction (SDWRF ; ou dominance stochastique généralisée). Considérant les quasi-dominances stochastiques du premier et du second degré, il apparaît que les stratégies de gestion dont Nesma est l'une des deux composantes, dominant. S'agissant de la dominance au premier degré, il ressort que les alternatives D et EL sont dominées sur sols peu profonds, alors que les alternatives LL et D le sont sur sols profonds. Ces résultats concordent avec les niveaux de capacités de rétention caractéristique de chaque type de sol. L'alternative NW domine stochastiquement au second degré.

**Tableau 5 : Stratégie de gestion du stress hydrique dans la région de Khouribga (résumé)**

Type de sol	Cultivar	Régime d'irrigation	Date	Qté d'eau mm	Stratégie de gestion
(Profond ou Peu profond)	Nesma : N ou (Potam : P)	Sec (D)	--	--	ND(PD)
		1- précoce (EL)	6 Janv.	75	NEL (PEL)
		1- saison (ML)	10 Mars	75	MNL (PML)
		1- tardive (LL)	2 Avril	75	MLL (PLL)
		3- humide (W)	Toutes	3x75	NW (PW)

**Tableau 6a. Caractéristiques statistiques des distributions des revenus nets sur sols profonds**

Mngt. Strategy	Mean	SD	Highest	Lowest	CV	Skwness
1 : NW	12,969.19	2,071.96	17,947.00	8,561.00	.159	.38
2 : NEL	10,960.90	3,323.35	19,008.00	5,164.00	.303	.35
3 : NML	10,808.00	3,793.44	19,0436.00	4,857.00	.351	.08
4 : NLL	9,698.14	4,713.45	19,070.00	3,614.00	.486	.22
5 : ND	8,484.57	4,149.17	17,143.00	994.00	.489	.19
6 : PW	9,832.67	1,823.47	14,286.00	6,761.00	.674	.35
7 : PEL	9,011.38	2,803.38	14,733.00	4,478.00	.311	.15
8 : PML	8,629.24	3,493.30	15,489.00	3,509.00	.405	.13
9 : PLL	7,809.33	3,919.17	15,501.00	2,177.00	.502	.19
10 : PD	7,204.43	3,691.46	13,967.00	1,172.00	.512	.09

**Tableau 6b. Caractéristiques statistiques des distributions des revenus nets sur sols peu profonds**

Mngt. Strategy	Mean	SD	Highest	Lowest	CV	Skwness
1 : NW	9,023.81	2,258.30	13,161.00	4,794.00	.250	-.24
2 : NEL	6,054.52	2,569.15	11,231.00	332.00	.424	.10
3 : NML	7,685.24	2,507.76	14,191.00	3,413.00	.326	.69
4 : NLL	6,961.81	3,312.04	14,158.00	433.00	.476	.49
5 : ND	5,744.24	2,842.38	11,854.00	627.00	.495	.24
6 : PW	7,407.71	2,281.99	11,390.00	3,760.00	.308	-.07
7 : PEL	5,329.19	2,058.01	9,082.00	461.00	.694	-.16
8 : PML	6,637.38	2,163.59	12,351.00	2,908.00	.325	.73
9 : PLL	5,851.29	3,011.91	12,277.00	103.00	.515	.36
10 : PD	5,097.71	2,396.97	9,704.00	460.00	.470	-.16

**Tableau 7. Efficience-risque des strategies**

Option	Intervalle d'aversion au risque <sup>(1)</sup>		Ensemble efficient	
	r1	r2	Sol Profond	Sol peu profond
QFSD				
Deep Soil	-0.00524	+0.00524	NW, NEL, NML	-
Shal. Soil	-0.007047	+0.007047	-	NW, NML, NLL
QSSD				
Deep Soil	0	+0.00524	NW	-
Shal. Soil	0	+0.007047	-	NW
SDWRF				
Risk High	-0.01	-0.001	NLL	NML, NLL
Seeking Med.	-0.001	-0.005	NW, NLL	NW, NLL
Low	-0.0005	-0.0001	NW	NW
Risk Neutral	-0.0001	+0.0001	NW	NW
Risk Low	+0.0001	+1	NW	NW
Averse Med.	+1	+2	NW, PW	NW, PW
High	+1	+3	NW, NEL, NML PW, PEL	NW, PW

Les préférences vis a vis du risque des agriculteurs ont été simulées pour sept (7) intervalles d'aversion au risque. Les résultats sont rapportés dans le tableau 7 sous le titre SDWRF. Il est à noter, plus particulièrement, que pour les agriculteurs les plus aventureux et les plus conservateurs la solution NW ne constitue guère la stratégie dominante comme cela est le cas des agriculteurs moins aventureux à moins conservateurs. D'autre part, alors que d'autres alternatives, moins coûteuses et plus économes en eau que NW et PW, sont efficaces sur sols profonds pour les cas d'agriculteurs hautement conservateurs, aucune d'entre elles n'est présente sur sol peu profonds pour lesquels les seules stratégies à recommander sont NW et PW.

L'application de l'analyse GSD a résulté dans l'identification de différentes stratégies efficaces vis a vis du risque pour la gestion du stress hydrique sur les sol profonds et peu profonds. Dans la plupart des intervalles de risque préférence/aversion la combinaison NW (variété semi-précocose sous 3 irrigations) apparaît comme la stratégie dominante sur les deux sol. Cependant, cela change énormément quand il s'agit de comportement hautement aventureux ou hautement conservateur. Même alors, aucune des stratégies à une seule irrigation n'est sélectionnée sur sols peu profonds par les agriculteurs conservateurs; PW et NW sont les deux seules stratégies à conseiller dans cette situation.

(1) r1 et r2 sont spécifiés à l'avance.

Cette étude a, en outre, montré le pouvoir discriminatoire de l'analyse GSD entre différentes stratégies de gestion du stress hydrique. Les différents ensembles de stratégies efficaces sont reliés aux attitudes simulées des agriculteurs vis à vis du risque. Il est, donc, impératif d'en tenir compte chaque fois que la diffusion de nouvelles technologies telles que celles relatives à la gestion du stress hydrique est considérée. Cela souligne le rôle de GSD comme outil dans la politique agricole et la conception des recherches. Dans le cas présent, la dominance stochastique généralisée, faisant usage des résultats simulés d'un modèle de croissance, s'est révélé être un moyen judicieux pour une évaluation économique ex-ante des différentes stratégies de gestion de stress hydrique, pour blé tendre, dans une région semi-aride du Maroc.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### Boutfirass M, 1992

Irrigation d'appoint des variétés de blé en zones semi-arides. Mémoire de titularisation. INRA, CRRA Settat.

### ElMourid M., 1988

Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in semi-arid region. PhD dissertation, Iowa state university, Ames. Iowa, USA.

### ElMourid M , et Lamine M , 1992.

Simulation de l'effet de l'irrigation d'appoint sur la productivité du blé tendre dans les zones semi-arides du Maroc. International conference on supplementary irrigation and drought management. Bari, Italy. September 27-October 2, 1992. (in press).

Fig 3. Probabilités cumulatives des revenus nets sur sols profonds pour BT-Potam avec 5 régimes d'irrigation (région de Khouribga)

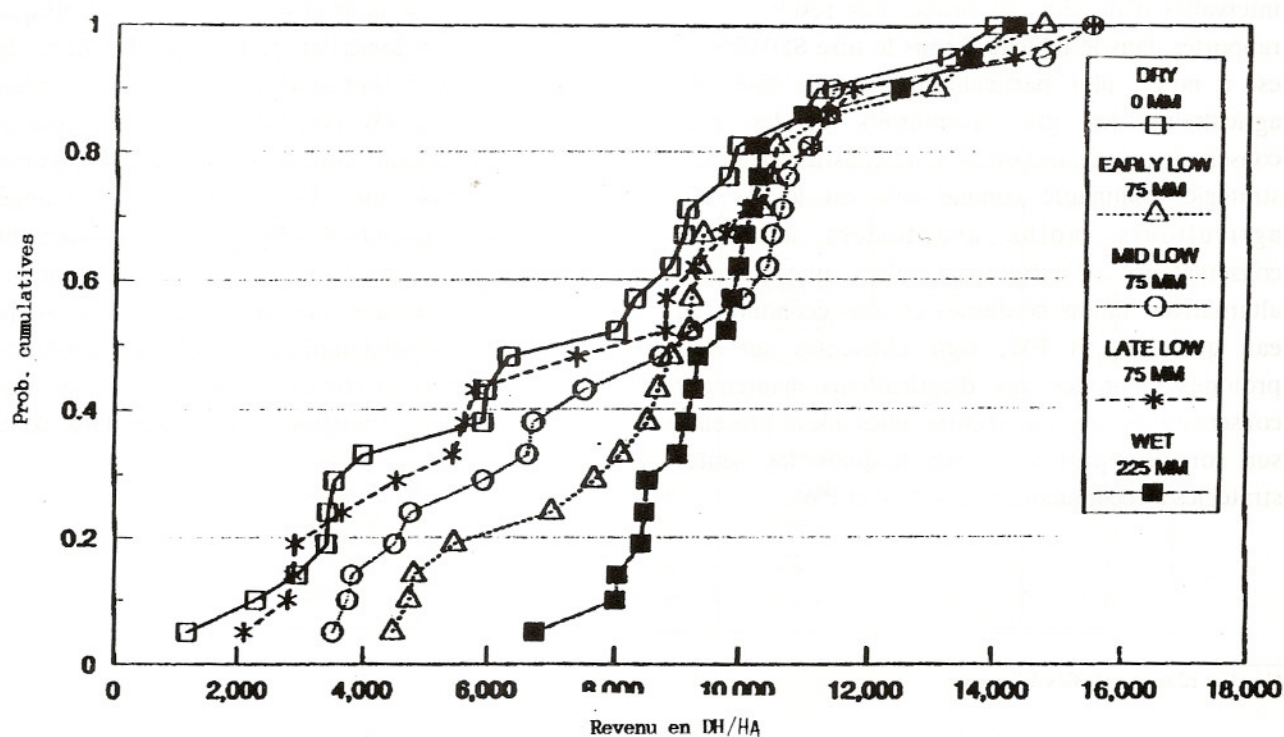


Fig 4. Probabilités cumulatives des revenus nets sur sols peu profonds pour BT-Neema avec 5 régimes d'irrigation (région de Khouribga)

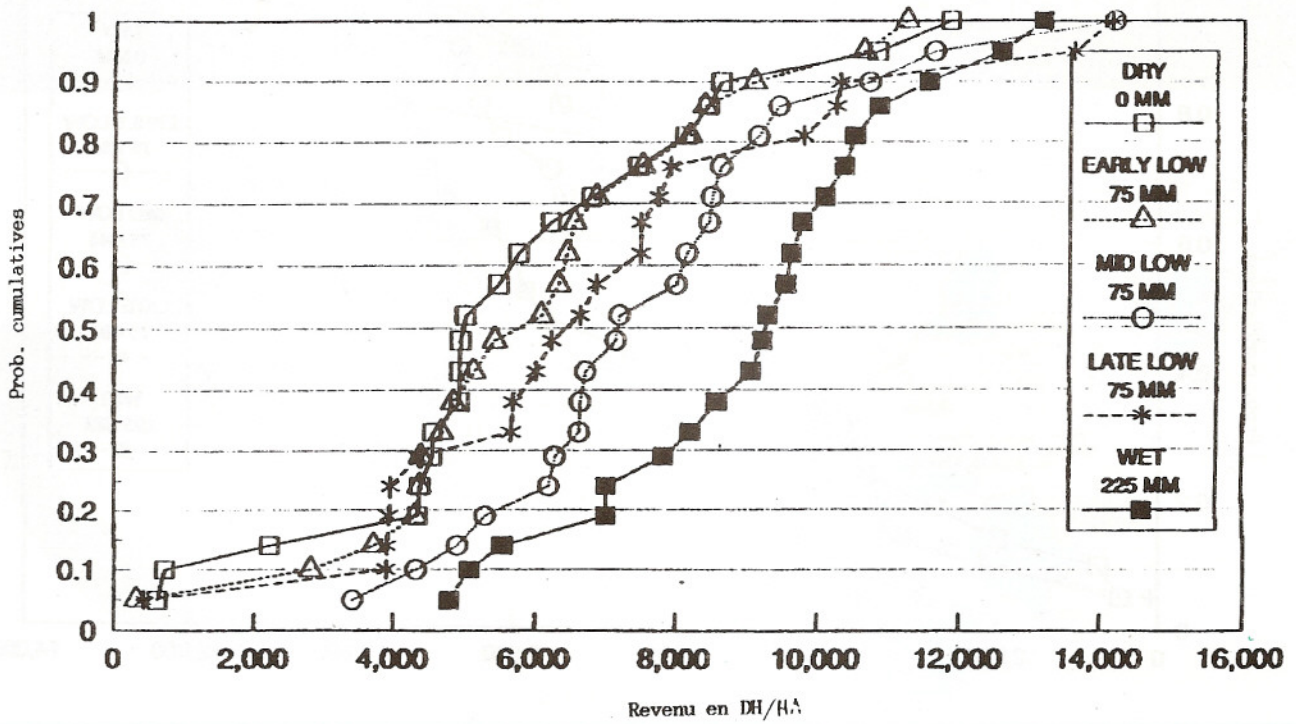


Fig 5. Probabilités cumulatives des revenus nets sur sols profonds pour BT-Neema avec 5 régimes d'irrigation (région de Khouribga)

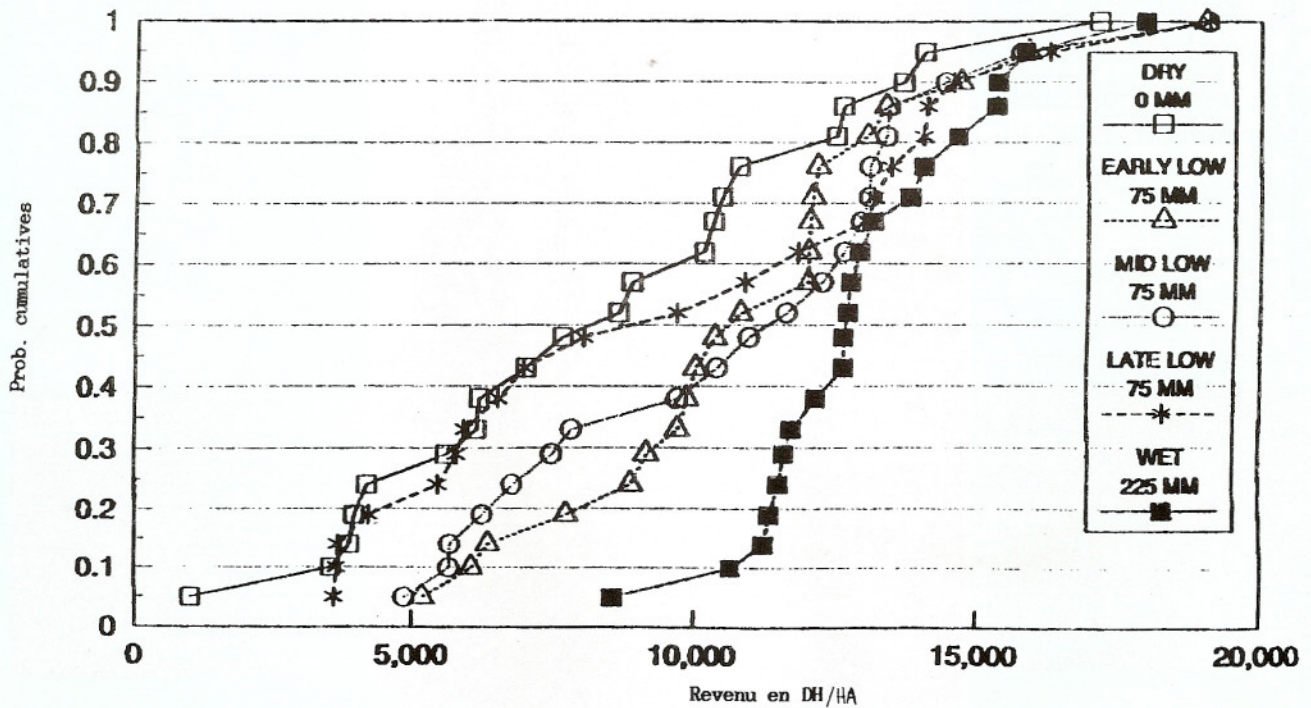
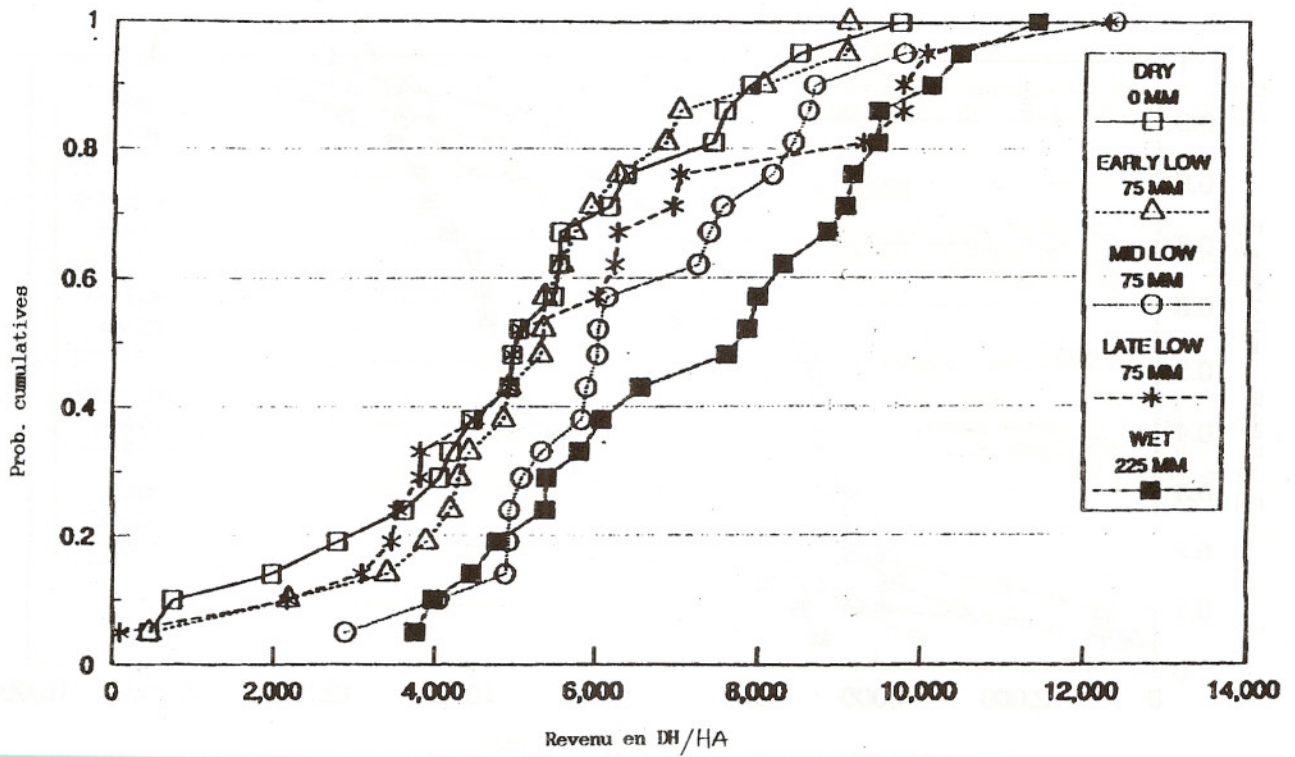


Fig. 6. Probabilités cumulatives des revenus nets sur sols peu profonds pour BT-Potam avec 5 régimes d'irrigation (région de Kouribga)



# LES TECHNIQUES ET LA RENTABILITE DE L'IRRIGATION D'APPOINT

LAMRANI Hassan<sup>(1)</sup>, TOUZANI Mohamed<sup>(2)</sup> & AZOUGAR Mohamed<sup>(3)</sup>

## INTRODUCTION

La notion d'irrigation d'appoint a commencé à intéresser les techniciens marocains depuis la sécheresse qu'a connu le Maroc entre les années 1980 et 1985. Depuis, plusieurs travaux ont été menés à divers niveaux pour affiner cette notion et voir dans quelle mesure elle peut contribuer à atténuer les aléas que connaît notre production céréalière.

Voilà que la campagne 1991-92 caractérisée par une sécheresse très sévère est intervenue pour nous rappeler l'importance de cette question et nous interpeller afin d'approfondir la réflexion sur l'irrigation d'appoint. C'est dans ce contexte que se tient donc le présent séminaire organisé par l'ANAPPAV que nous tenons à féliciter pour cette initiative très louable.

Etant donnée la dimension nationale de la problématique de la sécheresse et de sa répercussion sur la production céréalière, la faisabilité de l'irrigation d'appoint doit être étudiée en premier lieu à l'échelle nationale avant d'être analysée au niveau des exploitations agricoles.

Analyser la faisabilité de l'irrigation d'appoint à l'échelle nationale revient à se poser la question de savoir si les principales zones cérésières du Maroc disposent de ressources en eau suffisantes pour garantir une irrigation pendant un laps de temps déterminé ( 10 à 20j) de toute la superficie touchée par un déficit pluviométrique. Pour donner un ordre de grandeur l'apport d'une dose de 30 mm en 10 jours correspond à un débit fictif continu de 0,35 l/s/ha soit un débit de 35 m<sup>3</sup>/s (et un volume de 30 millions de m<sup>3</sup>) pour irriguer une zone de 100.000 ha.

En plus de la quantité de la ressource en eau pour l'irrigation d'appoint, analysée à une grande échelle, une deuxième contrainte à prendre en

compte est la proximité de cette ressource de son lieu d'utilisation pour éviter de grandes distances de transport impliquant des infrastructures collectives coûteuses difficiles à rentabiliser par l'irrigation d'appoint. Autrement dit, pour l'irrigation d'appoint à grande échelle, nous écartons à priori le schéma "grand périmètre irrigué à partir d'un barrage et d'un réseau de canaux ou conduites".

Ceci nous amène à dire que le schéma de mobilisation le plus adapté à l'irrigation d'appoint (à grande échelle) correspond à l'exploitation des eaux souterraines par des pompes privés installés dans l'exploitation.

Il s'agit donc pour analyser les possibilités de généralisation de l'irrigation d'appoint d'évaluer avec le maximum de précision les quantités d'eau souterraines (en débit et en volume) exploitables au niveau des grandes zones cérésières du Maroc.

Nous avons insisté sur la notion de "grande échelle" car cela correspond au cadre de notre réflexion qui se rapporte à l'évaluation des possibilités d'atténuation des effets de la sécheresse à l'échelle nationale. Cependant on peut envisager l'irrigation d'appoint dans un contexte plus restreint et là, on peut avoir recours aux ressources en eau superficielles mobilisées au fil de l'eau ou par petits barrages collinaires.

Parallèlement à la réflexion sur la faisabilité de l'irrigation d'appoint à l'échelle des grandes zones cérésières du Maroc, il y a lieu d'analyser la faisabilité technique et économique de l'irrigation d'appoint à l'échelle de l'exploitation agricole pour analyser quelles sont les techniques d'irrigation les plus adaptées et évaluer leur rentabilité financière pour l'agriculteur.

Ce sera l'objet de notre communication qui s'attachera dans une première partie à décrire et comparer les différentes techniques d'irrigation

(1) SCET Maroc

(2) D.E.R

(3) I.A.V. Hassan II

adaptées à l'irrigation d'appoint des céréales et dans une deuxième partie à approcher l'évaluation de la rentabilité de l'irrigation d'appoint.

## 1. LES TECHNIQUES ADAPTEES A L'IRRIGATION D'APPOINT

L'irrigation d'appoint est une irrigation comme les autres et a priori les techniques à utiliser ne diffèrent pas de celles utilisées pour l'irrigation pérenne.

Cependant si on tient compte de la nécessité d'économie de l'eau imposée par la faiblesse très probable des ressources en eau dans les zones céréalières et de la topographie souvent irrégulière de ces zones, on est amené à écarter l'irrigation gravitaire des techniques envisageables pour l'irrigation d'appoint, sauf cas particulier bien sûr.

D'autre part afin d'assurer la rentabilité de l'irrigation d'appoint la technique à utiliser doit avoir un coût peu élevé. Nous avons déjà écarté pour cette raison le schéma avec réseau collectif sur une grande superficie. Pour la même raison on est amené à écarter l'irrigation localisée qui est plus adaptée aux cultures en ligne ayant une forte valeur ajoutée.

Il ne reste alors à notre avis que l'irrigation par aspersion pour laquelle existe une large gamme de techniques plus ou moins sophistiquées depuis les rampes d'asperseur déplacées manuellement à la rampe pivotante automotrice et autres machines d'arrosage que nous vous présentons sommairement dans ce qui suit.

### 1.1 Irrigation par aspersion non mécanisée

Les systèmes d'irrigation par aspersion non mécanisés sont ceux dont le déplacement est réalisé manuellement. Il comportent toujours des organes d'arrosage appelés asperseurs montés sur des tuyauteries qui, elles mêmes, sont alimentées par d'autres conduites branchées sur la station de pompage ou sur la borne délivrant l'eau d'un réseau d'irrigation sous pression.

L'équipement peut être suivant les cas, partiellement ou complètement mobile entre les postes d'arrosage.

Pour que le déplacement soit facile, les tuyauteries mobiles sont légères (aluminium, polyéthylène...) et munies de pièces de raccordement que l'on manipule rapidement.

Les principales techniques de mise en oeuvre des équipements d'irrigation non mécanisés sont celles indiquées ci-après:

- Tout l'équipement est utilisé sur plusieurs positions pendant la campagne d'arrosage, les rampes portant les asperseurs l'étant sur un plus grand nombre de positions que les conduites d'adduction (schéma n°1).
- Les rampes porte-asperseurs et les asperseurs sont utilisés en plusieurs positions pendant la campagne d'arrosage, les conduites d'adduction jusqu'aux rampes restant fixes (cf. Schéma n°2).
- Dans le cas particulier où les asperseurs sont montés sur tuyaux souples, toutes les conduites d'adduction sont fixes, les asperseurs sont déplacés par un homme qui tire sur le tuyau souple (Cf. Schéma n°3).

L'aspersion non mécanisée peut être utilisée pour l'irrigation de petites et moyennes exploitations (2 à 10 ha) avec un faible débit (2 à 5 l/s). Son inconvénient est qu'elle exige une main d'oeuvre importante, notamment pour le déplacement des rampes porte-asperseurs.

### 1.2 Irrigation par rampe frontale à positions fixes

Le déplacement manuel des rampes d'arrosage non mécanisées d'une position à l'autre en les démontant, les transportant et les remontant sur une ligne parallèle à la précédente, est un travail

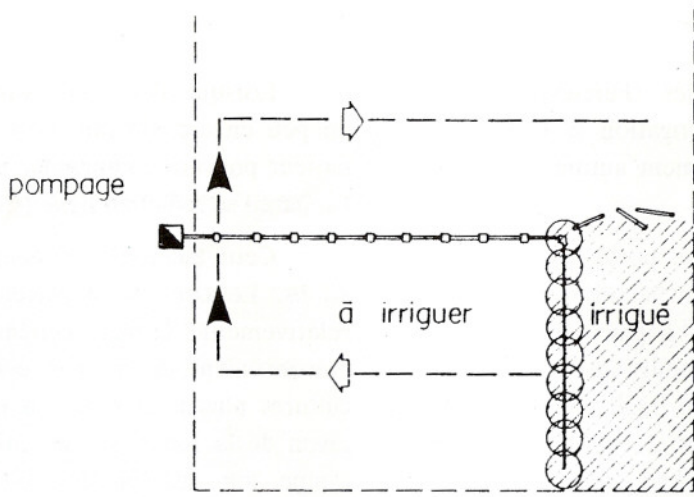
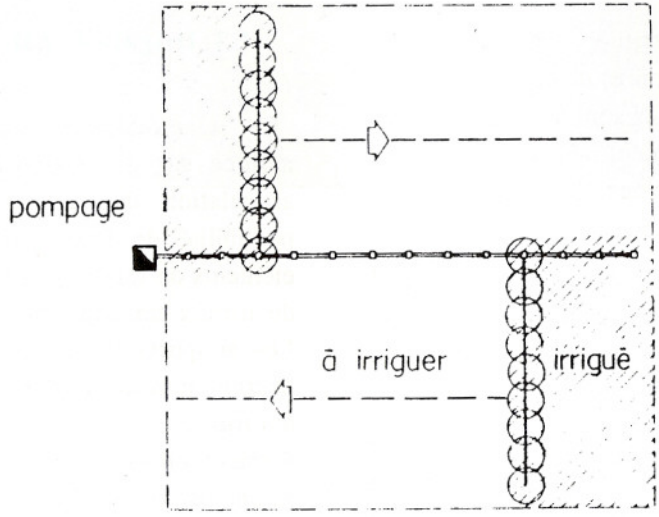
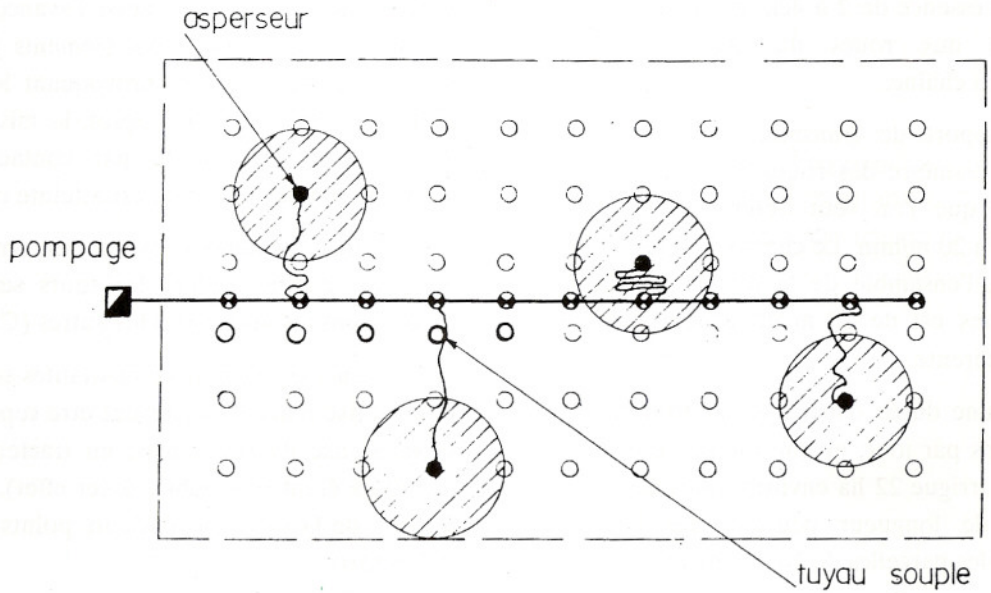


Fig 1 : Schéma d'un réseau entièrement mobile



2 : Schéma d'un réseau dans lequel la partie mobile correspond aux rampes porte-asperseurs



3 : Schéma d'un réseau avec asperseurs montés sur tuyaux souples

pénible, ce qui a amené les chercheurs et les fabricants d'équipement d'irrigation à mettre au point un système de déplacement automoteur pour le changement de position.

Grâce à un petit moteur porté par la rampe, qui est équipée de roues ayant le tuyau pour arbre d'entraînement, l'opérateur déplace celle-ci en mettant le moteur en marche puis en l'arrêtant une fois que la rampe a terminé le trajet prévu. Il existe plusieurs modèles d'appareils de ce type appelés "rampe à avancement frontal" ou "rampes montées sur roues", (Cf. Fig n°4 et 5).

La rampe est constituée par des tuyaux d'aluminium de 4" et 5" (pouce) de diamètre et de 9 ou 16 m de longueur; ceux-ci sont accouplés par un système de raccords rapidement mis en oeuvre, mais conçus de telle façon que deux éléments assemblés ne peuvent pas tourner l'un par rapport à l'autre.

Les roues sont conçues très légères mais aussi très solides: ce sont des roues à rayon, à jante cannelée avec des crampons pour bien adhérer au sol. Ces roues ont un diamètre de 1,5 à 2 mètres.

Au milieu de la rampe se trouve fixé le chariot d'entraînement, celui-ci est formé par un châssis métallique très simple supporté par deux couples de roues (ou deux roues).

Le moteur d'entraînement lié au châssis est un moteur à essence de 2 à 4ch. Le mouvement est communiqué aux roues du chariot par une transmission à chaîne.

Le rapport de transmission est choisi en fonction du diamètre des roues et de la vitesse de déplacement que l'on veut obtenir. Celle-ci peut aller de 0,30 à 20 m/min. Le châssis à roues entraîne en avançant, l'ensemble de la rampe. La distance entre positions est de 18 m en général mais elle peut être différente.

Pour une durée d'arrosage de 10 jours, avec trois positions par jour, et une rampe de 400 m de longueur on irrigue 22 ha environ. Mais des rampes de 200 m de longueur peuvent très bien être utilisées sur des parcelles de 10 ha environ.

Lorsque l'appareil avance, la rampe se met un peu en arc; on fait alors reculer le chariot, le moteur pouvant commander une marche arrière, et l'appareil se remet en ligne (Cf.Fig n°7).

Cette technique est adaptée aux débits de 3 à 10 l/s. Le coût de déplacement du matériel est relativement faible, cependant, elle présente l'inconvénient de ne pas permettre d'arroser des cultures plus hautes que la rampe (c'est à dire le rayon de la roue), si toutefois le frottement de la rampe sur les plantes est susceptible de les endommager.

### 1.3 Irrigation par rampe pivotante

Une rampe porte asperseur ou porte buse est montée sur des supports équipés de roues, une articulation de la rampe avec joints ou une possibilité de flexion de celle-ci permet à deux éléments de rampe en prolongement l'un de l'autre, de former un angle au niveau de chaque support. Les supports ou tours sont équipés de moteurs hydrauliques ou électriques qui, par un mécanisme approprié, démarrent quand deux travées voisines forment un angle déterminé. Une extrémité de la rampe est alimentée par un tuyau vertical ou pivot, autour duquel elle tourne. L'arrivée d'eau sous pression par le pivot assure le fonctionnement des asperseurs; et si les moteurs équipant les tours sont hydrauliques, elle réalise aussi l'avancement de ces dernières, quand l'angle des éléments jointifs de la rampe dépasse la valeur provoquant le démarrage. Si les moteurs sont électriques, la mise en marche des moteurs est assurée par contact électrique, quand la condition d'angle est atteinte ou dépassée.

Ainsi, les rampes pivotent en arrosant autour du point d'alimentation, les tours se mettant en mouvement les unes après les autres (Cf.Fig.9).

Souvent, les rampes pivotantes sont installées à poste fixe mais elles peuvent être cependant tirées suivant l'axe du tuyau avec un tracteur (les roues des tours étant orientables à cet effet). On peut les utiliser, de la sorte en plusieurs points de pompage (Cf.Fig.10).



Fig : 4 \_ Rampe à roue à avancement frontal

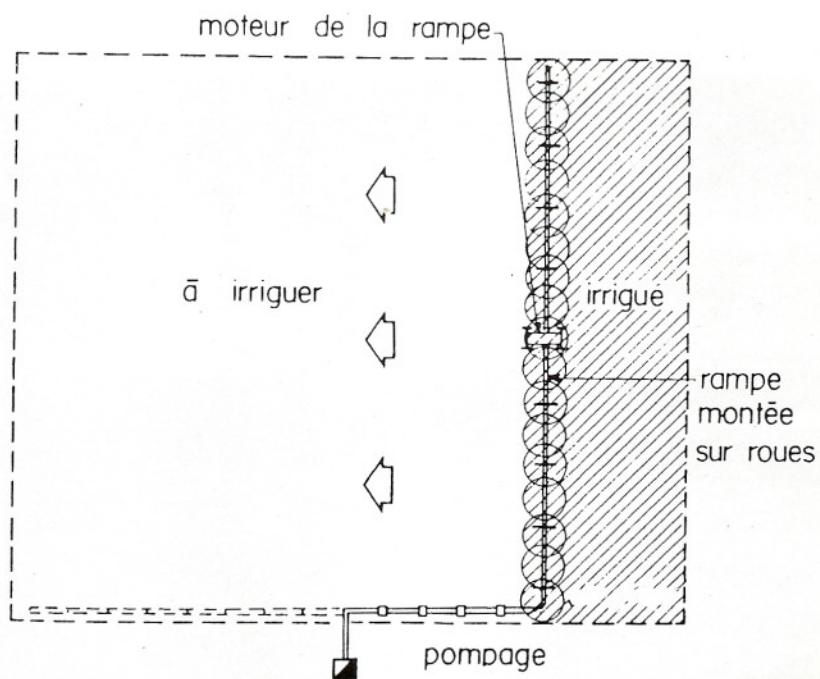


Fig : 5 \_ Schéma d'une rampe montée sur roues

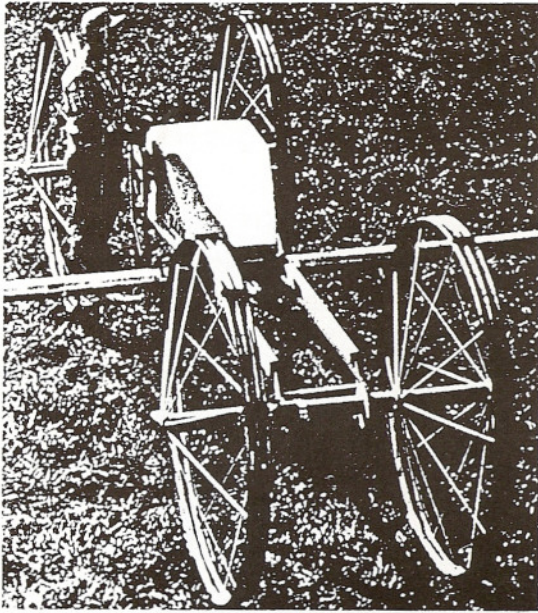


Fig: 6 - Moteur d'entraînement pour une transmission à chaîne.

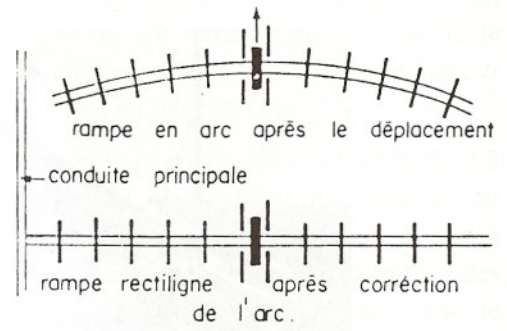


Fig: 7 - Schéma de remise en ligne de la rampe.

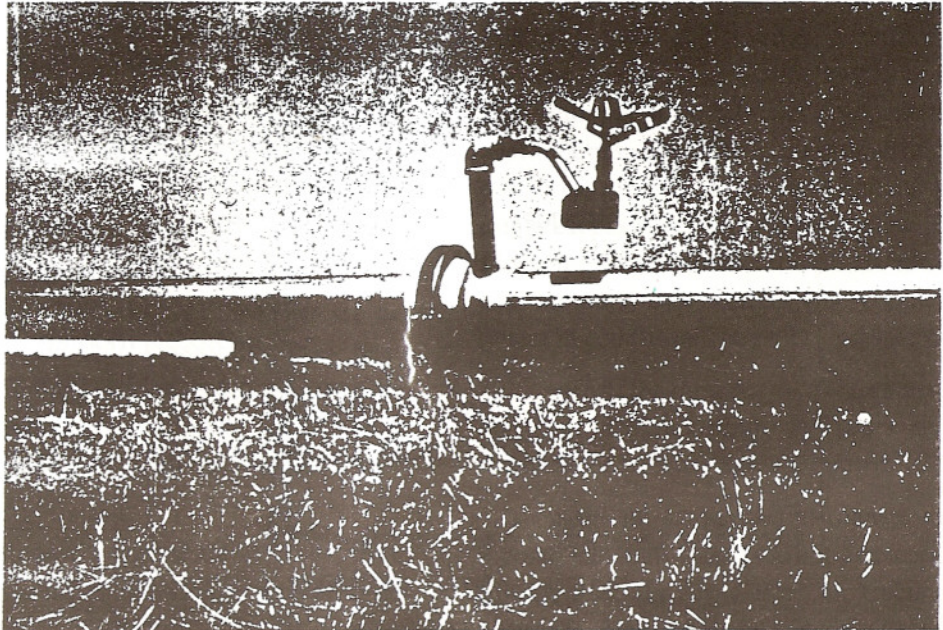


Fig. 8 - Dispositif permettant à l'asperseur de rester vertical

La conduite d'eau est supportée par des bâtis à roues appelés tours, distantes les unes des autres de 30 à 70m suivant les gammes. Les conduites ont un diamètre de 4,5" à 8,0" (pouce).

La solution la plus courante, actuellement, pour mouvoir une rampe pivotante, est la propulsion par moteurs électriques de 0,5 à 2,0ch, la vitesse d'avancement des tours d'extrémité est de 0,3 à 1,0 m/min .

Le rayon des rampes pivotantes peut aller de 200 à 700 m et plus, avec un débit de 10 à 110 l/s (12 à 150 ha).

La technique de rampes pivotantes n'est accessible qu'aux agriculteurs disposant de moyens financiers et techniques importants. Le principal avantage de cette technique est son autonomie de fonctionnement.

#### 1.4 Irrigation par rampe frontale à déplacement continu

La rampe à avancement frontal continu est constituée par un ensemble de travées similaires à celles des rampes pivotantes. Elle est alimentée en eau à partir d'un canal (Cf.fig n°9) et une station de pompage mobile et peut être formée soit de deux ailes de part et d'autre du canal, soit d'une seule aile d'un seul côté du canal. Elle peut également être alimentée par un tuyau souple que l'on branche sur une bouche (Cf. fig n°10).

La rampe est composée de travées de 52 ou 56m utilisées en combinaison pour obtenir la longueur désirée; les travées les plus longues doivent être du côté du canal ou de la bouche d'alimentation en eau. La rampe a un diamètre de 6" (pouce) et une longueur de 200 à 523m avec un débit de 10 à 75 l/s et plus (14 à 90 ha).

Les rampes à avancement frontal continu sont, en général, équipées de buses fonctionnant à faible pression, de 1,0 à 2,0 bars et un espacement de 2,6 à 6,0m.

Il convient de remarquer que l'on n'a pas, avec les appareils de ce genre, le même problème

d'équipement en asperseurs que sur les rampes pivotantes, car le débit doit être le même tout le long de la rampe et non pas croissant de l'origine à l'extrémité.

La rampe frontale présente les mêmes avantages et inconvénients que la rampe pivotante. En outre, elle exige un terrain relativement plat, en particulier pour la rampe alimentée à partir du canal à ciel ouvert.

#### 1.5 Les enrouleurs

Les enrouleurs sont des machines automotrices d'irrigation, ils sont actuellement classés parmi les systèmes d'irrigation les plus récents. La simplicité de leur utilisation a favorisé leur extension dans un grand nombre de pays. Ces machines sont disponibles en différentes dimensions; la longueur et le diamètre du tuyau flexible peuvent varier respectivement de 100 à 600 m et de 50 à 140 mm. Le débit peut atteindre 50 m<sup>3</sup>/h.

L'enrouleur est composé par les éléments essentiels suivants: la bobine, le flexible en polyéthylène, le mécanisme d'entraînement, l'asperseur avec son chariot, un dispositif d'arrêt en fin de course et le châssis. Une description sommaire de chacun de ces éléments est donnée ci-après :

La bobine ainsi que le châssis doivent supporter des grandes charges car le tuyau n'est généralement pas drainé entre chaque opération. Les grandes unités peuvent renfermer aux environs de trois tonnes d'eau à l'intérieur du flexible. Le diamètre intérieur de la bobine correspond à 14 fois le diamètre du flexible afin d'éviter la rupture de celui-ci.

Le flexible, non renforcé, est fabriqué par une résine spéciale de polyéthylène afin de combiner à la fois la rigidité et la flexibilité désirées. Le flexible construit dans les années 70 a subi fréquemment des cas de rupture où la réparation par des joints métalliques rendait l'enroulement du flexible sur la bobine difficile et irrégulier. Le développement récent dans la construction du flexible en

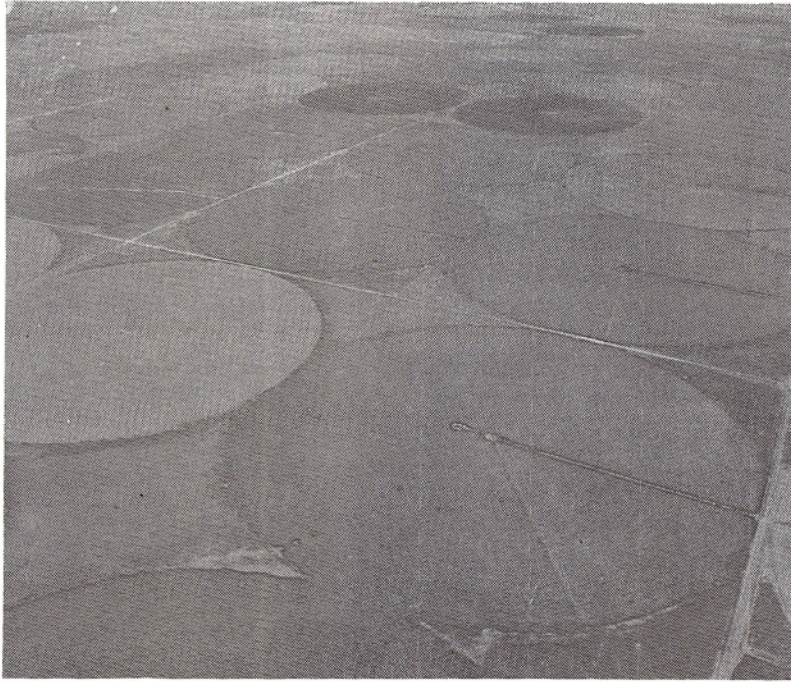


Fig. 9 - Vue aérienne d'un périmètre irrigué par rampes pivotantes

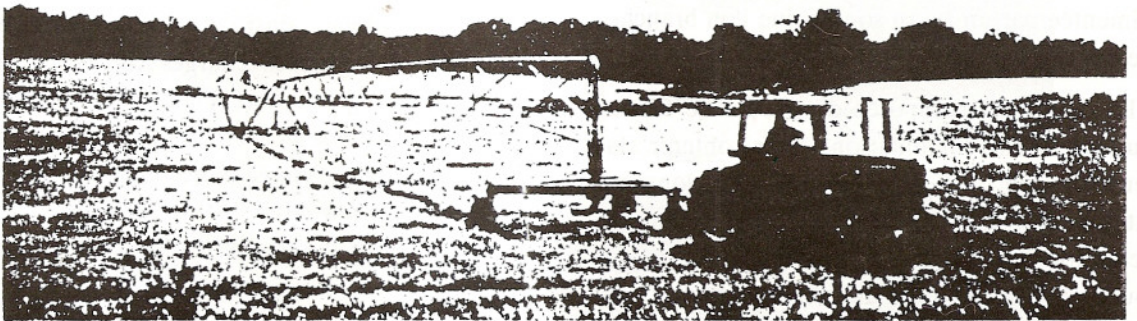


Fig. 10 - Exemples de rampes pivotantes tractées pour le déplacement d'un poste d'alimentation à l'autre

polyéthylène a diminué la fréquence de la rupture, encore plus le flexible est soudable.

L'entraînement de la bobine peut être effectué par un des systèmes suivants : turbine hydraulique, soufflet ou piston-cylindre. Tous ces systèmes d'entraînement puisent leur énergie de fonctionnement à partir de l'alimentation de l'enrouleur. Ceci a pour effet de rendre la pression à l'entrée de la machine élevée. Cependant, un quatrième système vient de modifier cette situation onéreuse; c'est le cas d'un petit moteur diesel dont la consommation journalière n'excède guère 3 à 4 l/jour. Ainsi; dans le cas d'un moteur diesel la pression à l'entrée de l'enrouleur est calculée selon le fonctionnement de l'asperseur à grande portée augmentée par les pertes de charges.

Il y a lieu de signaler les remarques suivantes sur chacun de ces systèmes d'entraînement :

1. Le système piston-cylindre est abandonné de nos jours à cause de son oxydation par l'eau d'irrigation.

2. Le système soufflet fonctionne avec beaucoup de vibrations. Vu le mode d'entraînement de ce système, l'inertie de la bobine n'est pas exploitée. La quantité d'eau utilisée pour son fonctionnement est déchargée à proximité de l'emplacement de la machine.

3. Le système turbine a un fonctionnement calme, mais la vitesse d'avancement du chariot porte asperseur augmente rapidement. Un système de régulation de la vitesse d'avancement est nécessaire.

L'asperseur est placé soit sur un chariot soit sur un traîneau. Dans les deux cas leur conception est faite de manière à limiter les dommages des cultures. Ils sont réglables suivant l'espacement entre lignes de plants et alourdis en cas de besoin pour garder une meilleure stabilité par des poids supplémentaires. Les asperseurs à grande portée peuvent opérer à des pressions situées entre 2 et 14 bars .

Les asperseurs grande portée sont très sensibles aux vents et ne s'adaptent pas aux cultures hautes. Ils peuvent être remplacés par une rampe

sur laquelle on peut placer soit des asperseurs faible pression soit des buses. Dans le cas de la rampe, la pression à l'entrée de l'enrouleur est réduite.

En fin d'irrigation d'une bande, un dispositif d'arrêt de fin de course est actionné par le chariot porte asperseur; cette caractéristique est importante car elle dispense l'irriguant d'une présence continue au moment où le chariot atteint la bobine.

La bobine est fixé sur un châssis à un ou deux axes suivant le poids de l'ensemble de la machine. Des constructeurs offrent des machines où la bobine peut pivoter de 360°. Cette option réduit le temps de travail car elle permet d'irriguer deux fois la surface correspondant à la longueur du flexible sans déplacer l'ensemble de la machine. Après l'irrigation d'une première bande, l'irriguant pivote la bobine de 180° pour arroser une 2<sup>ème</sup>. Le châssis est équipé de deux pattes réglables pour stabiliser la machine pendant la conduite de l'irrigation et offrir une opposition à la force de traction appliquée sur le flexible.

La conduite de l'irrigation est simple; il suffit de dérouler le flexible sur la totalité de la bande à irriguer à l'aide d'un véhicule, alimenter en eau sous pression et amorcer le système d'avance automatique du chariot porte asperseur. Le choix de la vitesse d'avancement correspond à la dose d'application désirée. Certaines machines sont équipées d'un P.T.O pour pouvoir enrouler le flexible mécaniquement quand l'irrigation est arrêtée volontairement ou tout simplement en cas de pluie.

## 2. LA RENTABILITE DE L'IRRIGATION D'APPOINT

### 2.1 Approche méthodologique et hypothèses

Nous avons tenté d'évaluer la rentabilité financière de l'irrigation d'appoint à travers des études de cas ou ce que l'on appelle généralement l'analyse de "modèles de ferme".

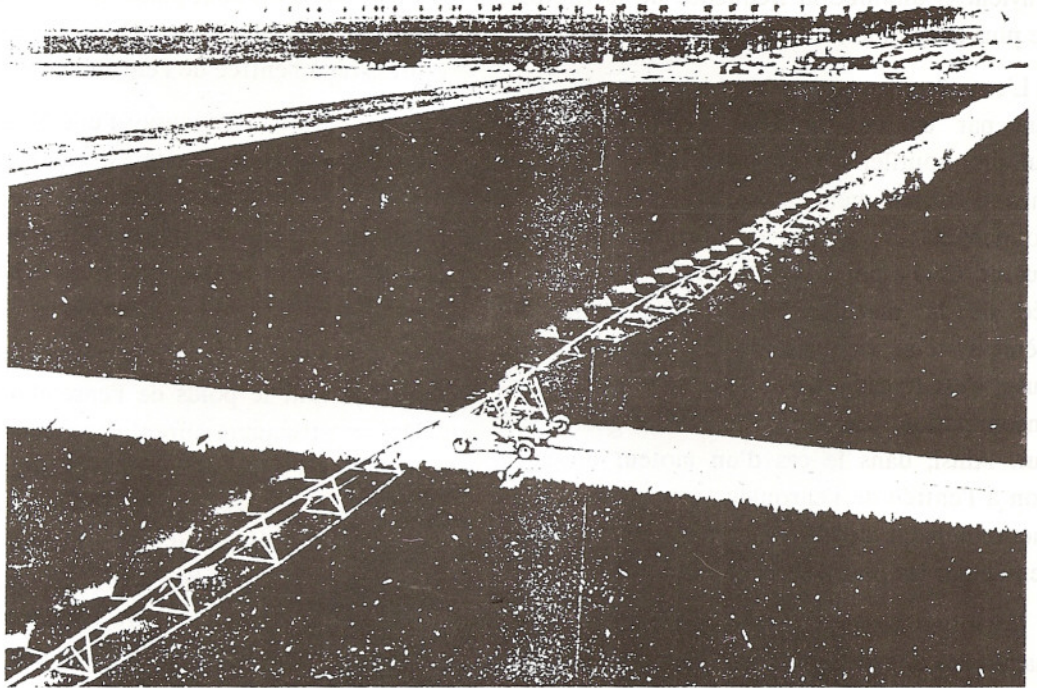
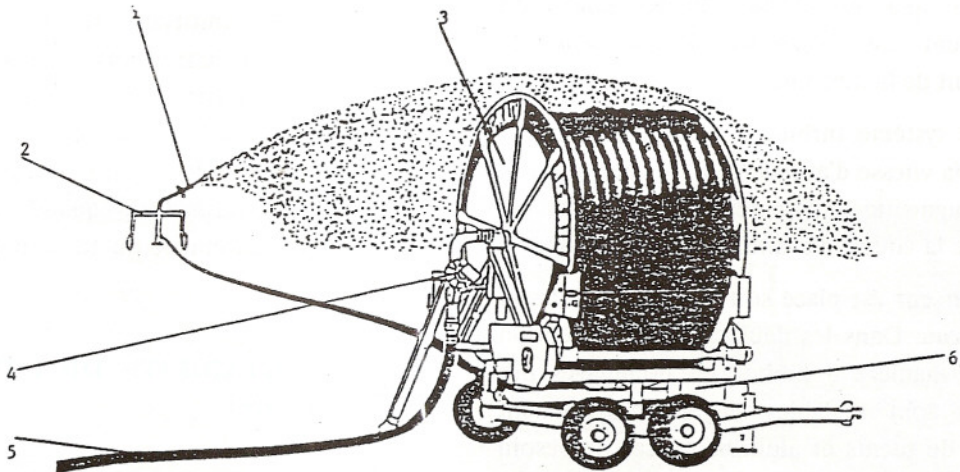


Fig 11 : La rampe d'aspersion à avancement linéaire continu arrosant de part et d'autre du point d'alimentation en eau



Fig,12 : Enrouleur

- |              |            |            |
|--------------|------------|------------|
| 1) Asperseur | 2) Chariot | 3) Bobine  |
| 4) Turbine   | 5) Hydrant | 6) Châssis |

Nous avons considéré 3 exploitations-types de superficies respectives 5, 30 et 50 ha; la première étant équipée en matériel d'aspersion classique, la seconde en rampe automotrice à position fixe et la troisième en pivot.

Pour chaque exploitation-type nous avons simulé sur une série de 30 années les gains de rendement dus à l'irrigation d'appoint en utilisant un modèle de calcul des déficits hydriques décennaires mis au point par SCET-MAROC et les données pluviométriques et pédologiques de la région de Taza.

Nous avons considéré que les agriculteurs équipés en matériel d'irrigation apportent à la céréale une dose de 30 mm à chaque décennie où un déficit hydrique significatif apparaît de telle façon à combler tout le déficit hydrique observé pendant le cycle de la culture.

Selon les années, le nombre d'irrigations varie de 0 à 5 soit une dose totale de 0 à 1500 m<sup>3</sup>/ha/an avec une moyenne de 2 irrigations par an soit 600 m<sup>3</sup>/ha.

L'indice de déficit hydrique simulé sans irrigation varie selon les années de 3% à 43% avec une moyenne interannuelle de 22%.

En première analyse nous avons considéré que pour chaque année simulée le gain de rendement en pourcentage est égal à l'indice de déficit hydrique qui a été compensé par l'irrigation d'appoint.

En adoptant un rendement de 60 qx/ha avec irrigation d'appoint nous avons calculé les gains de rendement en quintaux obtenus chaque année et de là la valeur ajoutée additionnelle, en supposant que tous les coûts en dehors de ceux liés à l'irrigation n'ont pas changé (même conduite des cultures)

Nous avons évalué d'autre part et pour chaque cas les coûts d'investissement (en tenant compte des subventions accordées par l'Etat), de renouvellement, d'entretien et de fonctionnement, pour les 30 années de simulation.

A partir des séries de valeurs ajoutées additionnelles et de coûts, nous avons calculé les taux de rentabilité interne pour chaque cas étudié.

Etant donné l'imprécision sur le coût d'investissement et notamment sur l'ouvrage de captage (nombre et profondeur des puits et forages) et afin de tester la sensibilité de la rentabilité au coût d'investissement nous avons analysé pour chaque exploitation type 3 niveaux d'investissements.

Nous avons testé également la sensibilité du TRI au rendement obtenu avec irrigation en adoptant des rendements de 50 qx/ha et 40 qx/ha.

## 2.2 Résultats

Les résultats de l'analyse financière des 3 modèles de ferme étudiés avec les tests de sensibilité effectués sont présentés dans le tableau et le graphique ci-joints.

Si on se fixe un taux de rentabilité minimum de 15%, on peut tirer les conclusions suivantes :

- pour un rendement de 60 qx/ha, l'irrigation d'appoint est rentable si l'investissement\* est inférieur à 22000 DH/ha.
- pour un rendement de 50 qx/ha l'irrigation d'appoint est rentable si l'investissement\* est inférieur à 17000 DH/ha.
- pour un rendement de 40 qx/ha, l'irrigation d'appoint n'est rentable que si l'investissement\* est inférieur à 12000 Dh/ha, ce qui n'est réalisé dans les exemples étudiés que dans le cas de la rampe automotrice à position fixe alimentée par un seul puits. (Il faut signaler ici l'imprécision sur le coût de ce matériel qui n'est pas utilisé au Maroc)

---

\* Subvention déduites

## 2.3 Conclusion

Tout en considérant que les résultats obtenus ne sont pas généralisables et dépendent de chaque situation spécifique, on peut dire d'une manière générale que l'irrigation d'appoint des céréales au Maroc est rentable pour l'agriculteur dans la mesure où les caractéristiques de la nappe (débit par ouvrage et profondeur) ne sont pas trop contraignantes et dans la mesure où la conduite de la culture assure des rendements satisfaisants.

Cependant on peut se poser la question suivante: pour un agriculteur disposant d'un débit exploitable donné à partir de la nappe, la céréaliculture constitue-t-elle la spéculation qui rentabiliserait le mieux son investissement ? Pour répondre à cette question il faut faire l'analyse financière pour des assolements différents dont les

besoins en eau de pointe sont similaires à ceux de la céréale.

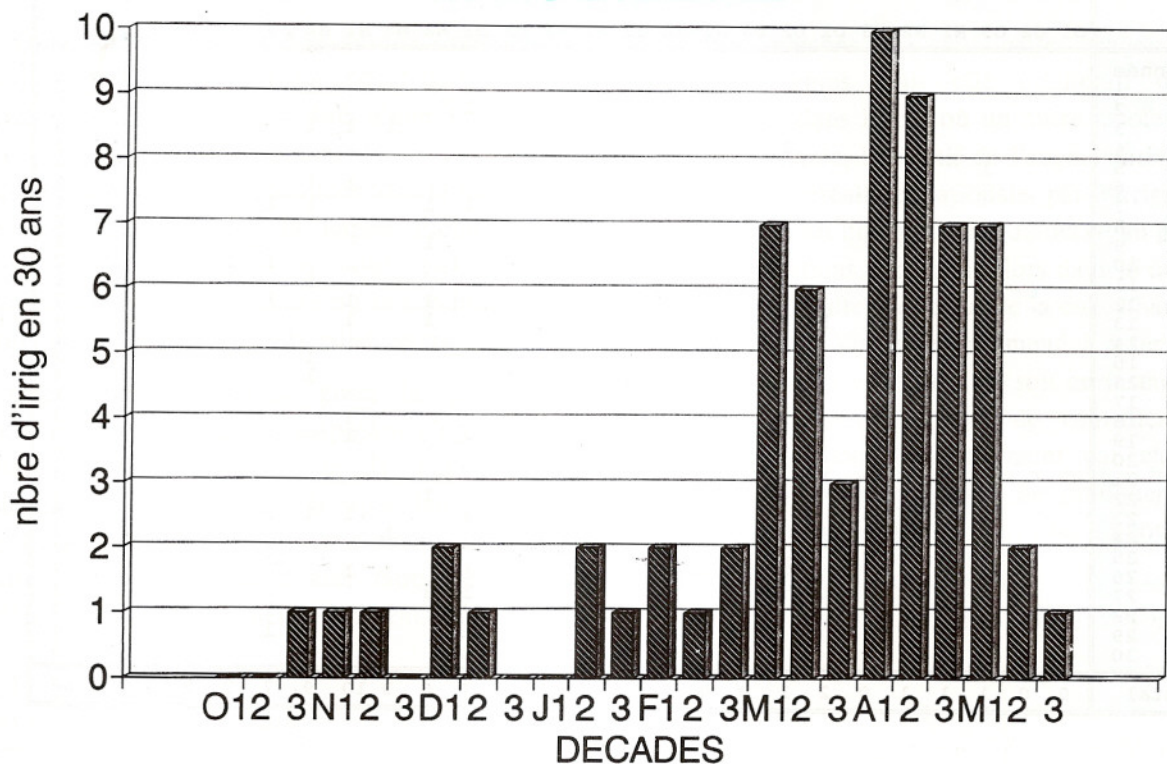
Nous n'avons pas fait cette analyse par manque de temps mais elle mériterait d'être effectuée. Car, dans le cas où un autre assolement serait plus rentable, l'objectif de l'augmentation de la production céréalière nationale par l'irrigation d'appoint serait en quelque sorte détourné au profit d'autres spéculations. On serait alors dans le cas où l'intérêt de l'agriculteur et celui de la collectivité ne coïncident pas et l'Etat serait amené à intervenir soit en augmentant le prix du blé soit en instaurant une police des eaux capable de contrôler les volumes d'eau utilisés annuellement par chaque agriculteur afin de le dissuader de pratiquer des cultures ayant des besoins en eau plus importants que ceux du blé.

Culture : BLE  
 Station pluviométrique : TAZA  
 Type de sol : RENDZINE

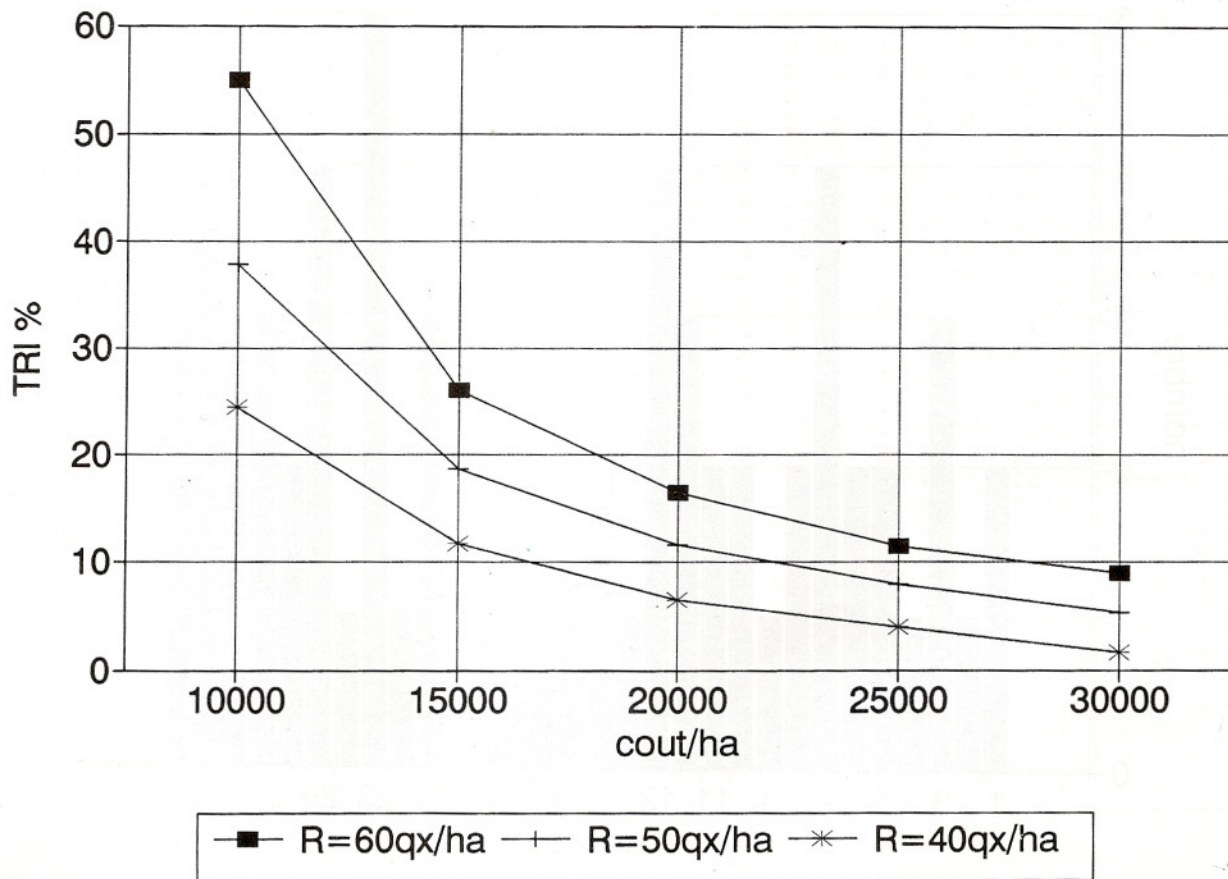
### 4- Deficits hydriques decadaires en mm

SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE		JANVIER		FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
-	-	-	-	-	-	-	-	0	3	0	0	0	15	16	0	1	1	0	12	3	32	31	33	30	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	9	8	11	0	8	5	0	0	0	0	4	13	28	8	31	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	3	0	16	0	0	2	5	14	-	-	-	-
-	-	-	-	-	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	27	28	25	16	-	-	-	-
-	-	-	-	0	0	2	1	14	4	13	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-
-	-	-	-	0	14	11	0	0	0	0	0	4	15	0	0	0	13	0	0	8	0	0	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	28	15	11	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	27	30	7	5	27	21	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	12	0	0	11	0	11	9	30	-	-	-
-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	20	0	6	0	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	8	27	30	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	23	0	20	-	-	-	-
-	-	-	-	4	2	0	0	0	0	1	12	0	3	6	0	0	0	17	20	14	11	22	-	-	-	-
-	-	-	-	0	0	0	4	12	12	14	10	0	13	15	0	0	16	27	18	0	12	-	-	-	-	-
-	-	-	-	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	7	7	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	8	30	-	-	-	-
-	-	-	-	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	18	0	0	0	11	22	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	7	0	0	8	0	14	7	-	-	16
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	28	1	0	-	-	-	-
-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	14	3	0	19	0	0	-	-	-	-
-	-	-	-	-	2	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-	-	-	-
-	-	-	-	1	11	6	12	11	12	14	16	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	4	0	0	0	12	0	0	0	0	15	15	0	0	0	0	-	-	-	-
-	-	-	-	0	0	9	14	0	0	0	0	0	0	0	0	9	27	7	27	26	22	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	8	35	27	36	26	-	-	-
-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	10	0	2	2	0	14	13	0	15	8	0	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	3	15	0	16	30	19	0	10	0	0	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	11	7	5	16	22	18	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	12	18	8	36	13	26	18	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	16	17	6	27	0	0	21	3	0	0	-	-	-	-	-

# REPARTITION DES IRRIGATIONS DANS L'ANNEE



## TAUX DE RENTABILITE DE L'IRRIGATION D'APPOINT



# RESSOURCES EN EAU ET POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION D'APPOINT

BICHARA Said<sup>(1)</sup> & BELGHITI Mohamed<sup>(2)</sup>

## I - INTRODUCTION GENERALE

Les ressources en eau du pays sont constituées d'une part par la partie utile c'est-à-dire non évaporée des précipitations et d'autre part par les ressources emmagasinées dans des formations souterraines lors d'épisodes climatiques beaucoup plus humides que de nos jours (cas des aquifères du Sahara au Sud est de Aïn Béni Mathar à l'est).

L'ensemble de ses ressources est estimé à environ 28 Milliards m<sup>3</sup>/an dont 20 Milliards constituent l'écoulement de surface, le reste représente la partie infiltrée dans les nappes.

Toutes ces quantités ne sont pas récupérables car d'une part il y aura toujours des écoulements vers la mer, non maîtrisables aussi bien en surface qu'en profondeur, et d'autre part des impératifs d'ordre techniques et économiques empêchent une exploitation totale des eaux souterraines (cheminement inconnus, trop grandes profondeurs, mauvaise qualité de l'eau).

Par ailleurs les eaux de surface et les eaux souterraines sont liées par le drainage des grandes unités aquifères qui alimentent le débit des sources et participe au maintien des débits d'étiage de certains oueds. L'exploitation intensive des eaux souterraines aura donc tendance à réduire cette composante de l'écoulement de surface (cas des nappes du Souss et du Haouz).

Pour donner un ordre en grandeur des volumes actuellement mobilisés à l'échelle nationale, grâce à la mise en oeuvre de la politique de l'eau poursuivie par notre pays, on peut estimer ces volumes à environ 6,5 Milliards de m<sup>3</sup>/an régularisés par une trentaine de barrages et 3 Milliards de m<sup>3</sup>/an prélevés à partir d'une soixantaine de nappes souterraines.

L'autre aspect important de cette politique consiste à définir les moyens à même d'assurer une utilisation rationnelle de l'eau entre les différents usagers et permettre un développement harmonieux des domaines de l'agriculture, de la production énergétique et de l'alimentation en eau potable et industrielle.

Ainsi le processus de planification régionale de l'eau, amorcé par l'Administration de l'Hydraulique au début de la décennie 80, en liaison avec les différents secteurs usagers a permis de couvrir la totalité du Territoire national à l'exception des Bassins Sud Atlantiques (Ziz, Rhéris, Guir et Draâ) dont l'étude du Plan Directeur d'aménagement intégrée des eaux est en cours.

Ces études de planification régionale, ainsi que celles consacrées aux projets de transfert d'eau inter-bassins aboutiront à la réalisation du Plan National de l'eau qui constituera un cadre dynamique (évolutif) tenant compte de l'offre et de la demande régionale en eau, mais aussi de la solidarité inter-régionale, permettant d'optimiser la satisfaction des besoins en eau de plus en plus croissants des différents secteurs, en particulier de l'Agriculture et plus particulièrement de l'irrigation d'appoint.

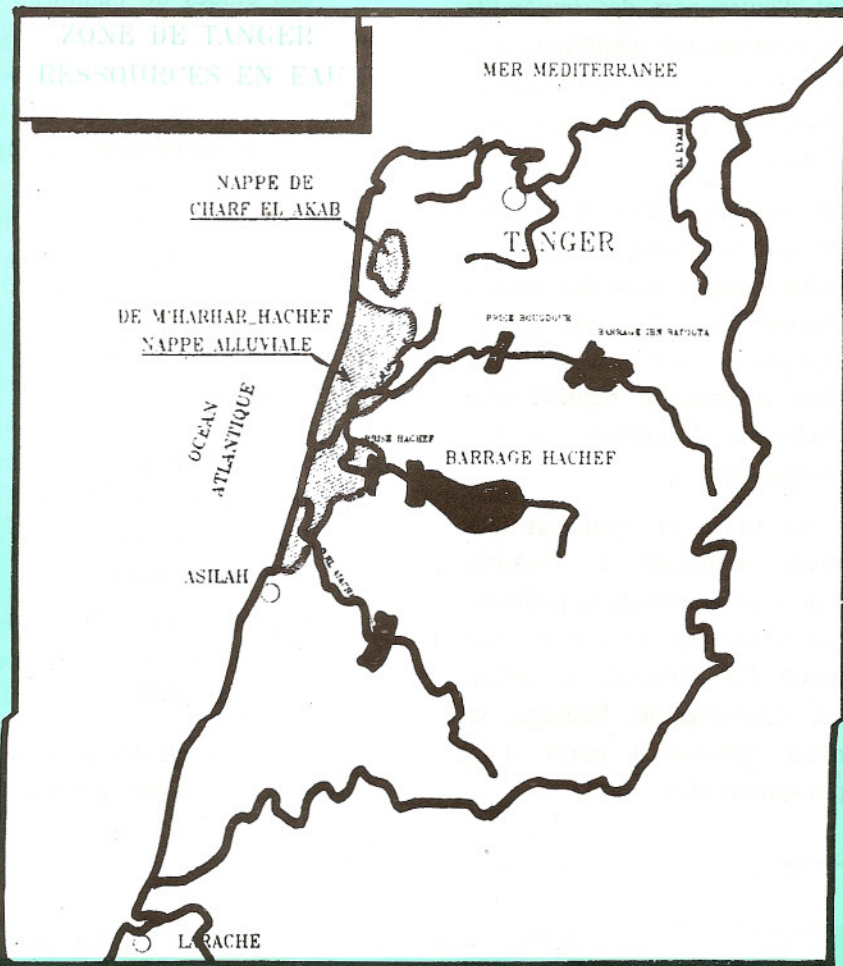
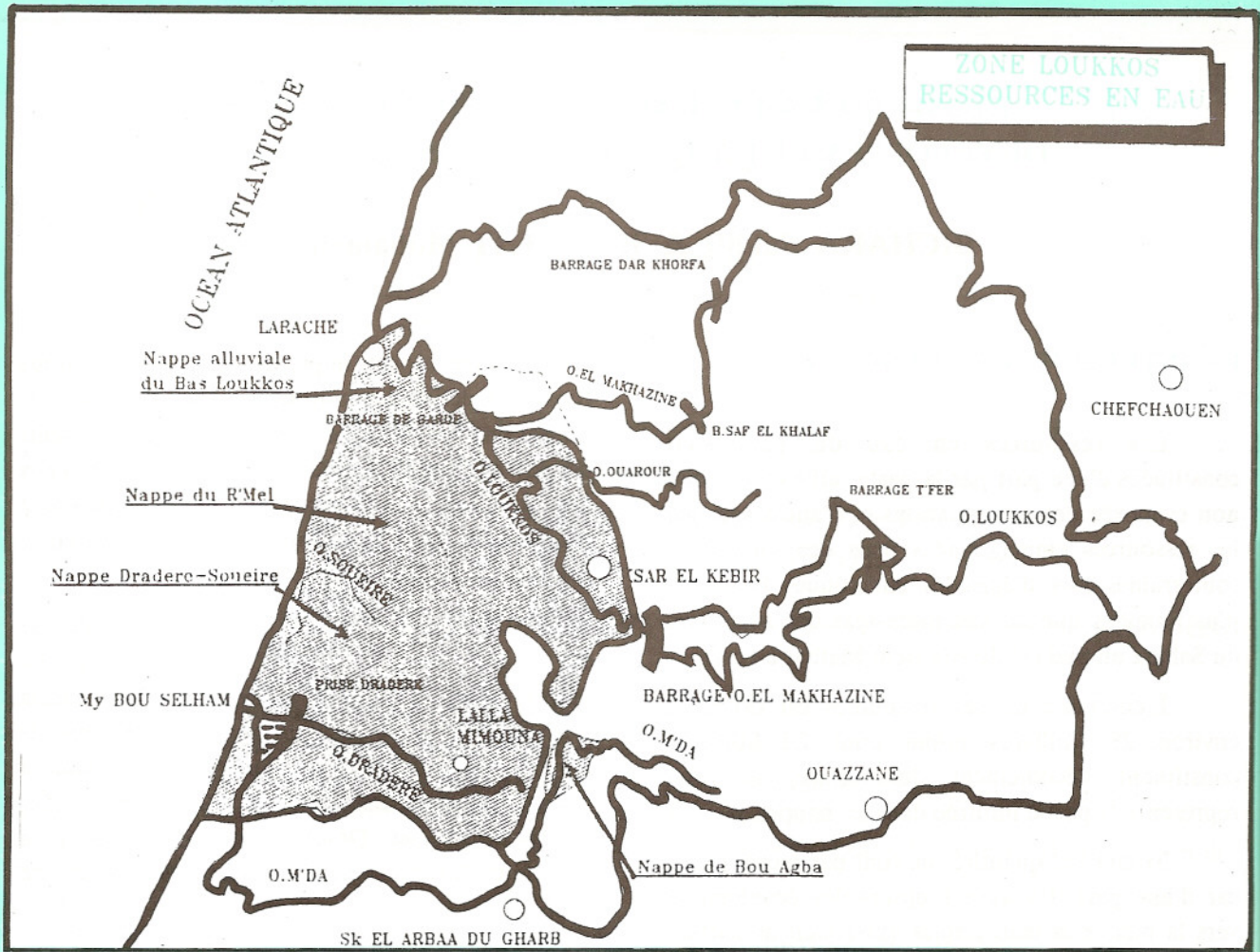
Pour des impératifs de temps ; et par souci de précision, afin d'éviter une évaluation trop générale du potentiel hydraulique du Maroc, la partie ressources en eau de cette communication est limitée aux bassins suivants :

- Loukkos, Tangérois, Côtiers méditerranéens, Sebou, Bou Regreg et Oum-er-Rbia.

L'évaluation des possibilités de prélèvement dans le cadre d'une politique délibérée de sur-

(1) AH, TPF PFC

(2) D.E.R.



exploitation des nappes souterraines, sera traitée à l'échelle des aquifères les plus importants du pays.

## II- RESSOURCES EN EAU DANS LES BASSINS DU SEBOU, BOU REGREG, OUM ER RBIA, LOUKKOS, TANGEROIS ET COTIERS MEDITERRANEENS

### II.1 Ressources en Eau dans les Bassins du Loukkos. Tangérois et Côtiers Méditerranéens

La ressource globale (eau superficielle et souterraine) moyenne annuelle est de 4000 à 5000 Mm<sup>3</sup> ; cependant une année très déficitaire n'enregistre que 30% environ des apports moyens en année normale.

De ces ressources 600 Mm<sup>3</sup>/an sont régularisables actuellement par les grands barrages et 20 à 30 Mm<sup>3</sup>/an sont prélevés des nappes souterraines.

Les besoins en 1985 au niveau des points de mobilisation sont d'environ 250 Mm<sup>3</sup>/an pour l'irrigation et 100 Mm<sup>3</sup>/an pour l'A.E.P.I.

Si le bilan total paraît largement excédentaire, il n'en est pas le cas à l'échelle des 4 sous-bassins qu'on peut distinguer dans cette zone, ainsi les sous bassins du Tangérois, Tétouan et Al Hoceima connaissent des pénuries aux périodes déficitaires (voir cartes jointes).

La configuration très compartimentée du relief de la zone représente une contrainte importante à la faisabilité technique et économique des ouvrages de mobilisation et de transfert d'eau inter bassin. Par ailleurs l'envasement important des retenues est également un facteur fort contraignant (cas du barrage Ali Thelat sur l'oued Laou presque totalement envasé).

La salinité des nappes dans la zone d'Al Hoceima constitue également un facteur limitant à une affectation équilibrée des ressources en eau, ce problème risque de se poser à terme avec les extensions des périmètres agricoles dans la nappe alluviale du Bas-Loukkos.

## II.2 Ressources en Eau dans les Bassins du Sebou, Bou-Regreg et Oum-Er-Rbia

Le climat régnant sur l'ensemble de ces bassins est de type méditerranéen à influence océanique, les pluies moyennes sont caractérisées par l'existence de deux saisons bien distinctes, sèche de Mai à Septembre et humide d'Octobre à Avril.

La répartition spatiale de la pluviométrie moyenne interannuelle est comme suit :

- 430 mm sur le Bou-Regreg où l'influence de l'altitude se fait nettement sentir. La pluviométrie moyenne varie de 760 mm près d'oulmès et 500 mm sur la région côtière.
- 750 mm sur l'ensemble du Bassin du Sebou avec variation entre 400 mm sur le Haut Sebou et 1800 mm sur les hauteurs du Rif.
- 520 mm sur l'Oum-er-Rbia avec 1100 mm sur le Moyen Atlas et 300 mm sur le cours aval de l'oued.

L'évaporation moyenne annuelle est assez forte dans la zone, elle varie entre 1600 mm sur la côte et 2000 mm vers l'intérieur.

Les apports des différents bassins présentent une forte irrégularité interannuelle :

	Apports Moyens	Minimum	Maximum
SEBOU	5600 Mm <sup>3</sup>	800 Mm <sup>3</sup>	15.000 Mm <sup>3</sup>
Oum-Er-Rbia	3680 Mm <sup>3</sup>	1300 Mm <sup>3</sup>	8.300 Mm <sup>3</sup>
Cotiers Atlantiques	870 Mm <sup>3</sup>		
TOTAL	10.150 Mm <sup>3</sup>		

Les ressources en eau souterraine renouvelables des 13 principales nappes que comprend cette zone sont évaluées à 1300 Mm<sup>3</sup>/an.



## II.2.1 Etat actuel de l'utilisation des ressources en eau

Cette zone comprend 17 grands barrages de régularisation et de prise permettant aux systèmes hydrauliques de la région de régulariser près de 4.950 Mm<sup>3</sup>.

Sur ce potentiel mobilise 4.042 Mm<sup>3</sup> ont été utilisés au cours de l'année agricole 1990-1991 selon la répartition suivante :

- 2487 Mm<sup>3</sup> pour l'irrigation,
- 342 Mm<sup>3</sup> pour l'A.E.P.I
- 1213 Mm<sup>3</sup> pour la production exclusive de l'énergie.

L'utilisation des eaux de surface, se fait également a travers des prélèvements directs au fil de l'eau, qui sont actuellement estimés à 470 Mm<sup>3</sup> ainsi repartis :

- Sebou : 280 Mm<sup>3</sup>/an
- Côtiers Atlantiques : 7 Mm<sup>3</sup>/an
- Oum-Er-Rbia : 180 Mm<sup>3</sup>/an

Quant aux ressources en eau souterraine, le volume total moyen consommé actuellement s'élève à 664 Mm<sup>3</sup>/an dont les 2/3 sont utilisés pour l'irrigation :

	A.E.P.I.	Irrigation	TOTAL
Sebou	151 Mm <sup>3</sup>	80 Mm <sup>3</sup>	231 Mm <sup>3</sup>
Côtiers Atlantiques	24 Mm <sup>3</sup>	99 Mm <sup>3</sup>	123 Mm <sup>3</sup>
Oum-Er-Rbia	41 Mm <sup>3</sup>	269 Mm <sup>3</sup>	310 Mm <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>216 Mm<sup>3</sup></b>	<b>448 Mm<sup>3</sup></b>	<b>664 Mm<sup>3</sup></b>

## II.2.2 POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU

La grande variabilité, spatio-temporelle qui caractérise les ressources et les besoins en eau nécessite le recours aux grands barrages de régularisation et aux canaux de transport d'eau sur de longues distances.

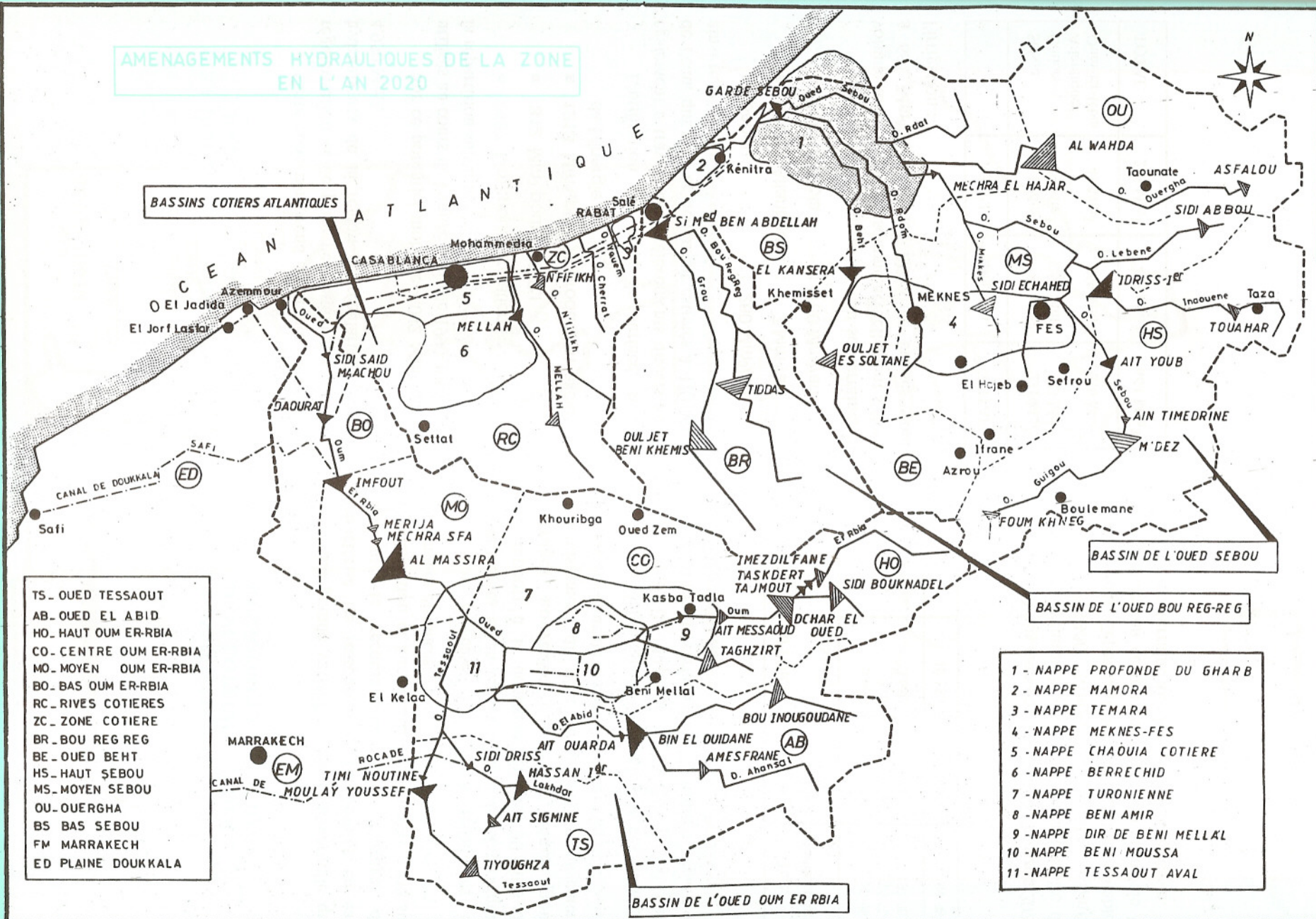
Sur la base de critères techniques et économiques et en tenant compte de la proximité par rapport à la demande en eau, 30 sites de barrages nouveaux ont été retenus pour l'établissement du plan directeur d'aménagement intégré des eaux de la zone (voir carte jointe).

La réalisation de l'ensemble de ces Barrages permettrait de disposer à l'horizon 2020 d'un volume d'eau de surface de 9.079 Mm<sup>3</sup>/an réparti de la manière suivante :

BASSINS	APPORTS (Mm <sup>3</sup> )	Volume utilisable (Mm <sup>3</sup> )	Taux d'utilisation
Sebou	5.600	4.467	80 %
Atlantiques	870	662	76 %
Oum-er-Rbia	3.680	3.950	107 %
<b>TOTAL</b>	<b>10.150</b>	<b>9.079</b>	<b>89 %</b>

Quant aux eaux souterraines, à l'horizon 2020 la ressource renouvelable sera du même ordre de grandeur (1300 Mm<sup>3</sup>) que celle estimée actuellement. Cependant des modifications notables sont prévues en ce qui concerne l'évolution de la ressource souterraine au niveau de chaque bassin.

# AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES DE LA ZONE EN L'AN 2020



Ainsi l'importante recharge par retour des eaux d'irrigation importées dans le bassin du Gharb induira un accroissement de la ressource renouvelable dans le bassin du Sebou.

Par contre, l'introduction progressive de méthodes d'irrigation à efficacité améliorée, se traduira par une diminution de la recharge des

nappes phréatiques du bassin de l'Oum er Rbia, déjà largement dépendantes des retours de l'irrigation. Leur réalimentation s'établira à des valeurs plus faibles par rapport à la situation actuelle. Le tableau ci-dessous donne le bilan des principales nappes à l'horizon 2020.

Bassin	Nappe	Ressource renouvelable	Ressource utilisable	Retour aux oueds ou transfert	Pertes en mer
Sebou	Bassin de Meknès-Fès	353	231	122	-
	Maâmora	134	95	29	10
	Gharb	220	140	60	20
	<i>Sous total</i>	<i>707</i>	<i>466</i>	<i>211</i>	<i>30</i>
Côtiers atlantiques	Berrechid	47	45	2	-
	Chaouia de Casa à Mohammedia	39	35	-	4
	Chaouia de Casa à Azemmour	47	35	2	10
	Témara à Rabat	17	16	-	1
	<i>Sous total</i>	<i>150</i>	<i>131</i>	<i>4</i>	<i>15</i>
Oum Er Rbia	Béni Amir	83	50	33	-
	Béni Moussa	130	78	52	-
	Dir	68	41	27	-
	Tessaout Aval	74	45	29	-
	Turonien profond	90	70	20	-
	<i>Sous total</i>	<i>445</i>	<i>284</i>	<i>161</i>	<i>-</i>
Total global		1.302	881	376	45

*Bilan des nappes de la zone en 2020 (Mm<sup>3</sup>/an)*

## II.2.3 BILANS RESSOURCES- BESOINS EN EAU

En 2020 les besoins globaux de cette zone seront de près de 10 Milliards de m<sup>3</sup> compte tenu des 300 Mm<sup>3</sup> destinés au haouz Central et à la ville de Marrakech.

La répartition des besoins par bassin et par secteur usager est comme suit :

BASSINS	BESOINS EN EAU (Mm <sup>3</sup> /an)		
Sebou	723	3.398	4.121
Côtières Atlantiques	1.300	590	1.890
Oum-er-Rbia	650	3.335	3.985
<b>TOTAL</b>	<b>2.673</b>	<b>7.323</b>	<b>9 996</b>

Les ressources en eau globales mobilisables dans la zone en 2020 seront de l'ordre de 10 Milliards de m<sup>3</sup> dont près de 9 Milliards de m<sup>3</sup>/an d'eau superficielle et 900 Mm<sup>3</sup>/an d'eau souterraine.

Le bilan du bassin du Sebou fait ressortir un surplus de 770 Mm<sup>3</sup>

Le bilan des bassins côtiers atlantiques est déficitaire de 920 Mm<sup>3</sup> dû essentiellement à la forte demande en eau potable et industrielle de la zone côtière Rabat-Casablanca.

Le bilan de l'Oum Er Rbia connaîtra un déficit de 154 Mm<sup>3</sup>, ce déficit tient compte des transferts d'eau réalisés ou en cours hors bassins : 300 Mm<sup>3</sup>/an vers le haouz central et Marrakech et 120 Mm<sup>3</sup>/an pour Casablanca.

Le bilan global à l'échelle des 3 bassins fait apparaître un déficit de 304 Mm<sup>3</sup> :

BASSINS	RESSOURCES (Mm <sup>3</sup> )	BESOINS (Mm <sup>3</sup> )	BILAN (Mm <sup>3</sup> )
Sebou	4.890	4.120	+ 770
Côtiés Atlantiques	970	1.890	- 920
Oum-er-Rbia	4.127	4.281	- 154
<b>TOTAL</b>	<b>9.987</b>	<b>10.292</b>	<b>- 304</b>

Afin d'équilibrer le bilan global le Plan Directeur d'aménagement intégré des eaux des 3 bassins préconise :

- Une réduction de 150 Mm<sup>3</sup> de la demande en eau agricole dans la Chaouia et la zone côtière au Sud de Rabat, et un transfert de l'excédent du Sebou vers le Sud dont 470 Mm<sup>3</sup> pour l'AEPI des bassins côtiers atlantiques.
- Une gestion rationnelle de la demande et de la ressource en eau par la prise en compte pour le bassin de l'Oum-er-Rbia de critères de garantie de la ressource en eau de surface plus contraignants et le recours momentané aux réserves souterraines pour combler les déficits de fourniture d'eau en cas de sécheresse exceptionnelle.

Le bilan qui découle de ce scénario du Plan Directeur s'établit ainsi :

BASSINS	DEMANDE (Mm <sup>3</sup> )	RESSOURCES (Mm <sup>3</sup> )	BILAN (Mm <sup>3</sup> )
Sebou	4.120	4.890	+ 770
Côtières Atlantiques	1.740	970	- 770
Oum-er-Rbia	4.281	4.281	0
<b>TOTAL</b>	<b>10.141</b>	<b>10.141</b>	<b>0</b>

Le Plan Directeur permettra ainsi à l'horizon 2020 :

- de porter le volume d'eau de surface mobilisé à 9 Milliards de m<sup>3</sup>/an, soit un accroissement de 83 % par rapport à la situation actuelle. D'augmenter la consommation d'eau souterraine de 660 à 880 Mm<sup>3</sup>/an (soit une augmentation de 33 %).
- d'accroître les surfaces à irriguer et à équiper de 378.470 ha supplémentaires. Globalement donc 855.930 ha seront irrigués dont 608.850 ha de grande hydraulique englobant 126.000 ha dans les Doukkala et 247.080 ha de PMH. (Les besoins en eau correspondants

sont de 7.173 Mm<sup>3</sup>, soit un accroissement de 80 % des besoins actuels).

- d'assurer l'AEPI de la zone à raison de 2500 Mm<sup>3</sup> dont 2120 Mm<sup>3</sup> à partir des eaux de surface soit 4 fois la quantité d'eau de surface et d'eau souterraine actuellement utilisée pour l'AEPI.

### III - ANALYSE DE LA DEMANDE EN EAU AGRICOLE DANS LA PERSPECTIVE D'UN DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION D'APPOINT

les affectations en eau pour le secteur de l'irrigation à l'horizon 2020 s'établissent comme suit :

	SUPERFICIE (ha)	DEMANDE EN EAU A L'HORIZON 2020	DOTATION UNITAIRE (m <sup>3</sup> /ha)
<b>SEBOU</b>			
- Grande hydraulique			
. S.Slimane	28.750	287	10.000
. P.T.I	33.584	390	11.600
. S.T.I	66.531	627	9.400
. Privé	12.600	133	10.000
. T.T.I	95.030	995	10.000
. Zrar	10.000	74	7.400
- P.M.H	132.290	892,3	6.700
Total Sebou	378.785	3.458,3	-
<b>- Bou-Regreg. Rivières Côtières et Zone Côtière</b>			
- P.M.H	34.391	189,8	5.500
- Transfert Sebou-	300	-	
Total BR + RC + Zone Côtière :	34.391	489,8	
<b>Oum-Er-Rbia</b>			
- Grande hydraulique			
. Béni Moussa	69.500	740	10.600
. Béni Amir	38.400	472	12.300
. Tessaout aval	48.628	307	6.300
. Tessaout amont	51.700	342	6.600
. Doukkala BS	61.000	550	9.000
. Doukkala HS	65.000	554	8.500
- P.M.H	80.400	369,9	4.600
Total Oum-Er-Rbia	414.628	3.634,9	
<b>Loukkos-Tangérois et côtiers méditerranéens</b>			
- Grande Hydraulique	70.106	622,8	8.800
- P.M.H moderne	20.183	141,10	7.000
- PMH traditionnelle			
. Perenne	8.479	40,1	4.700
. Non garantie	7.413	8,7	1.357
Total Loukkos Tangérois et Côtiers Méditerranéens	135.217	812,7	

L'examen des dotations moyennes a l'hectare laisse apparaître que l'expression des besoins a toujours été établie sous l'angle de l'irrigation perenne et intensive.

En effet, le souci de valoriser la ressource et de rentabiliser les équipements mis en oeuvre pour mobiliser la ressource et desservir les exploitations impose l'utilisation d'assolements intensifs et par conséquent, des dotations a l'hectare importantes.

Pour les raisons citées ci-dessus la notion d'irrigation d'appoint nous semble à priori exclue dans le contexte des aménagements publics en grande hydraulique qui nécessite la mobilisation d'investissements importants à l'hectare qui ne peuvent être rentabilisés que par des d'assolements intensifs.

L'irrigation d'appoint par contre, s'adapte au contexte de l'exploitation privée des ressources en eau souterraines quand celle-ci est susceptible de procurer un avantage marginal intéressant

Ceci étant, la problématique irrigation perenne irrigation d'appoint mérite d'être posée à un niveau macro-économique. En effet si pour des considérations de sécurité alimentaire les pouvoirs publics s'engagent dans une politique délibérée d'auto-suffisance en céréales, l'irrigation d'appoint peut jouer un rôle important dans l'accroissement de la production céréalière et surtout dans sa régularité.

Dans une telle perspective les possibilités d'intégration des besoins de l'irrigation d'appoint dans les affectations opérées par les plans directeurs du S.B.O, Loukkos, Tangérois et Côtiers Méditerranéens peuvent s'articuler autour des axes suivants -

1- Dégager des ressources supplémentaires par l'intensification de la recherche des eaux souterraines (nappes profondes ...) et par l'amélioration de la régularisation de certains

bassins versants (retenues collinaires, barrages moyens...)

2- Reconsidérer l'expression des besoins agricoles par l'adoption de nouveaux assolements moins intensifs sur certains secteurs qui s'accomodent avec l'irrigation d'appoint.

3- Exploitation des ressources en eau non conventionnelles (Eaux saumâtres, Eaux usées...).

4- Remettre en cause la notion d'équilibre du bilan ressources-besoins notamment au niveau de certains aquifères, dans la perspective d'une accélération du rythme de destockage.

5- Remise en cause de la notion des transferts envisagés dans le cadre des plans directeurs du SBO et du Loukkos dans la perspective de développer l'irrigation d'appoint à l'intérieur même des bassins versants où des surplus ont été dégagés.

6- Agir sur la demande en eau par l'adoption de systèmes d'irrigation économes permettant de dégager des surplus d'eau mobilisables pour le développement des irrigations d'appoint.

#### **IV- POSSIBILITES DE PRELEVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE SUPPLEMENTAIRES**

Sur la base au document Programme National d'Irrigation par centre pivots du GAREU (janvier 89), la Direction de la Recherche et de la Planification de L'eau a identifié les zones qui sont susceptibles à priori d'être irriguées par les eaux souterraines (voir carte). La superficie total de ces zones correspondrait a environ 255.000 ha sur les 600.000 ha préconises pour être mis en exploitation d'ici l'an 2.000.

La répartition de ces superficies par nappe s'établit ainsi :

NAPPE	SUPERFICIE (ha)
1 CHTOUKAS	10.000
2 SOUSS	20.000
3 MEJJATE	5.000
4 BOUSBAA	10.000
5 BENI AMIR	35.000
6 BENI MOUSSA	30.000
7 TASSAOUT AVAL	50.000
8 BAHIRA	10.000
9 BERRECHID (CHAOUIA)	10.000
10 GHARB	10.000
11 MAAMORA	10.000
12 SAIS	10.000
13 TAOURIRT-AIOUN	5.000
14 ANGADS	10.000
15 TRIFFAS	5.000
16 AIN BENI MATHAR	5.000
<b>TOTAL</b>	<b>255.000 ha</b>

#### IV-1 EVALUATION ET EXPLOITATION DES RESERVES MOBILISABLES

L'évaluation des ressources en eau souterraine a été faite en considérant les trois hypothèses suivantes :

1- La mise en Service des nouveaux périmètres irrigués sera progressive et linéaire de 1990 à 2000.

2- Le niveau actuel des prélèvements sera maintenu pour préserver les exploitations actuelles : les nouveaux périmètres devront donc correspondre à des prélèvements supplémentaires et non se substituer à ceux existants.

3- Les nappes concernées étant en équilibre hydraulique fragile, l'essentiel de leur apport renouvelables est déjà consommé, on suppose que les prélèvements affectent les réserves non renouvelables. La profondeur maximum économique de pompage a été limitée à 100 m.

A partir des taux de destockage déjà observés à l'heure actuelle pour certaines nappes et des besoins en eau exprimés pour ces nouvelles irrigations (4500 m<sup>3</sup>/an/ha), il a été calculé les durées d'épuisement des réserves mobilisables pour chaque nappe concernée en fonction des nouvelles surfaces irriguées (voir tableau à la fin du paragraphe IV).

EAU SOUTERRAINE MOBILISEE ET MOBILISABLE			
		<b>Prélèvement Actuel</b>	<b>Ressource Exploitable</b>
Loukkos	. R'Mel :	22 Mm <sup>3</sup>	34 Mm <sup>3</sup>
	. Dradère :	10 Mm <sup>3</sup>	76 Mm <sup>3</sup>
	. Bouagba :	3 Mm <sup>3</sup>	3 Mm <sup>3</sup>
		<b>Recharge Actuelle</b>	<b>Prélèvement Actuel</b>
Tangérois	. Cherf El Akab :	1,6 Mm <sup>3</sup>	2,4 Mm <sup>3</sup>
	. Nappe alluviale de M'Harhar-Hachef de moindre importance.		
		<b>Recharge</b>	<b>Prélèvement</b>
Tétouan	. Haouz de Tétouan :	56 Mm <sup>3</sup>	24 Mm <sup>3</sup>
	. Dorsale calcaire :	190 Mm <sup>3</sup>	35 Mm <sup>3</sup>
	* Nappes difficilement exploitables :		
	* Nappes actuellement exploitables pour l'AEP de Tétouan, Chefchaouène et Sebta:		
	. Nappe alluviale de l'Oued Martil 9 Mm <sup>3</sup>		
	. Nappe alluviale de l'Oued Lâo 9 Mm <sup>3</sup>		
Al Hoceïma	. Nappe côtière encore peu connue (Bokoya)		
	. Partie de la dorsale calcaire.		
	. Nappe importante Rhiss-Nekor :		
	Prélèvement actuel :	2 Mm <sup>3</sup>	
	Recharge :	17 Mm <sup>3</sup>	
	Mais salinité élevée et croissance à craindre dû à l'irrigation.		

Il ressort, en ce qui concerne les surfaces projetées que :

- une série de nappes ne survivra pas après une dizaine d'années de régime de croisière d'exploitation c'est-à-dire au delà de 2010. Il s'agit particulièrement des nappes de Maamora, Guercif, Berrechid, Mejjate, Tadla et Tassaout Aval.
- une seconde série de nappes pourra satisfaire les besoins pendant 20 à 30 ans (2020 à 2030) : Gharb, Triffa, Chtoukas, et Saïss.
- Une nappe enfin présenterait des disponibilités nettement supérieures : Aïn Béni Mathar (sur 50 à 100 ans).

Inversement il a été calculé les surfaces irriguées correspondant à un épuisement de chacune des nappes considérées à 20 ans, 30 ans et 50 ans.

Globalement on obtient les résultats suivants :

	Echéance d'épuisement des réserves mobilisables		
	2020	2030	2050
Superficies Irrigables en ha	190.300	120.300	56.500

#### IV-2 IMPACTS DE L'ÉPUISEMENT DES RÉSERVES MOBILISABLES

L'intensification de l'exploitation des nappes souterraines provoque une baisse des niveaux piézométriques et par conséquent une réduction des sorties naturelles :

- Sources de débordement et Rhettaras
- Drainages aval par les oueds, correspondant en partie à leur débit de base.
- Écoulement aval souterrain, soit vers d'autres nappes (réduction de leur alimentation), soit perdu vers la mer (avancée du biseau salé).

D'après les observations relevées dans le Haouz et le Souss, une baisse de 10 m du niveau de la nappe, entraîne un tarissement presque total de tous les prélèvements par drainage (source de débordement en plaine, Rhettaras) et une réduction de l'ordre de 50 % des écoulements avals (drainage et abouchement de nappe).

Si l'on opte pour l'irrigation de 190.000 ha à l'horizon 2020, à partir des nappes indiquées dans le tableau précédent, le volume supplémentaire à mobiliser (855 Mm<sup>3</sup>/an) entraînerait une réduction :

- de 400 Mm<sup>3</sup>/an des apports des sources et Rhettaras
- de 350 à 600 Mm<sup>3</sup>/an des apports d'étiage des oueds
- de 100 à 150 Mm<sup>3</sup>/an des volumes transitant vers la mer.

C'est dire qu'à terme, les volumes prélevés, réduiraient d'autant les sorties naturelles des nappes concernées.

Cependant le mode d'exploitation des eaux souterraines par centre pivots et/ou pour l'irrigation d'appoint permettrait de régulariser d'avantage ces ressources et de multiplier par 4 ou 5 les rendements actuels.

Pour assurer la réussite de ce type de projet, il serait prudent de le réaliser par étapes afin de réévaluer les ressources en eau disponibles et de mettre au point des systèmes de compensation des usagers actuels.

Par ailleurs, l'utilisation de ces prélèvements supplémentaires pour l'irrigation d'appoint ne manquera pas de soulever deux problèmes :

- 1- La rentabilité économique d'investissements qui seront sous utilisés (pompage intermittent selon les besoins des plantes).
- 2- La garantie de l'exploitation de la ressource en eau dans les limites qui seront fixées pour l'autorité chargée de gérer le patrimoine public hydraulique, ce qui présuppose la mise en place d'une police des eaux performante.



**TABLEAU : Programme National d'Irrigation par Centre-Pivots-  
disponibilités des ressources en eau souterraine**

NAPPE	TYPE	Ressources renouvelables Mm <sup>3</sup> /an	RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES				Objectif nouvelles Année 2000 Ha	Besoins irrigation Mm <sup>3</sup> /an	Durée d'épuisement des réserves mobilisables au delà de 1990	Surface irriguée (ha) pour épuisement après n ans de régime de croisière			SORTIES DRAINEES Mm <sup>3</sup> /an			
			Con-som. actuel Mm <sup>3</sup> /an	Dont prélèvement sur réserves Mm <sup>3</sup> /an	Réserve totale Mm <sup>3</sup>	Réserves mobilisables Mm <sup>3</sup>				n : 20 ans (2020)	30 ans (2030)	50 ans (2050)	Prél.par drainage	Drainage Oueds	Abouchement Aval	Pertes Aval
ANGADS/ BOUHRIA	L	55	50	10	1.600	1.000	10.000*	45	12	6.200	3.300	1.600	-	-	-	15 Algérie
							5.000	22,5	24							
							2.000	9	45							
TRIFFA	L	50	50		1.000	600	5.000*	22,5	26	5.300	3.800	2.400	-	-	-	30 mer
							2.000	9	66							
GUERCIF	L	45	10	-	300	150	5.000*	22,5	11	1.300	900	600	-	50	-	-
							2.000	9	21							
							500	2,25	71							
AIN BENI MATHAR	C	45	30	15	20.000	2.500	20.000	90	18	18.200	12.000	6.400		30	-	-
							15.000	67,5	24							
							10.000	45	35							
							5.000*	22,5	60							
							2.000	9	96							
SAISS Phréatique Lias	L	169	52	25	2.300	1.100-	(10.000*	45	43	17.800	11.300	5.200	296	293	-	-
	C	317	59	-	11.000	1.000-	(1.000	22,5	61							
MAMORA	L	134	60	5	600	350	20.000*	90	0	1.700	900	200	-	29	40 Gharb	10 mer
							10.000	45	11							
							5.000	22,5	17							
							2.000	9	28							
GHARB	C	126	50	-	17.000	1.700-3.000	20.000*	90	31	20.000	14.700	9.400	-	-	-	75 Sebou + mer
							15.000	67,5	39							
							10.000	45	57							

NAPPE	TYPE	Ressources renouvelables Mm <sup>3</sup> /an	RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES				Objectif nouvelles Année 2000 Ha	Besoins irrigation Mm <sup>3</sup> /an	Durée d'épuisement des réserves mobilisables au delà de 1990	Surface irriguée (ha) pour épuisement après n ans de régime de croisière			SORTIES DRAINEES Mm <sup>3</sup> /an			
			Con-som. actuel Mm <sup>3</sup> /an	Dont prélèvement sur réserves Mm <sup>3</sup> /an	Réserve totale Mm <sup>3</sup>	Réserves mobilisables Mm <sup>3</sup>				n : 20 ans (2020)	30 ans (2030)	50 ans (2050)	Prél.par drainage	Drainage Oueds	Abouchement Aval	Pertes Aval
BERRECHID	L/C	64	43	-	1.350	600-900	10.000 5.000	45 22,5	21 38	6.500	4.700	3.000	-	4	17 Chaouia	-
TADLA Phréatique	L	425	250	50	4.000	2.000-3.000	65.000* 50.000	202,5 225	17 20	17.400	9.400	3.500	40	245	-	-
Turonien	C	90	28	-	25.000	2.000	20.000 10.000 5.000	90 45 22,5	28 39 50							
TESSAOUT AVAL	L	77	13	-	700	400	50.000* 10.000 5.000	225 45 22,5	3 12 22	3.500	2.500	1.600	-	66	-	-
HAOUZ	L	180	400		15.000	3.00	20.000 15.000 10.000*	90 67,5 45	38 49 71	26.000	19.000	12.000				
BAHIRA	L	62	31	-	1.700	400	10.000* 5.000	45 67,5	41 93	3.500	2.500	1.600	-	-	-	31 évap.
MEJJATE	C	74	24	-	5.100	720	15.000* 10.000 5.000 2.000	67,5 4,5 22,5 9	16 21 38 88	6.500	4.700	3.000	48	20	6	-
SOUSS	L	240	400	165	35.000	5.000 (25.000)	20.000* 15.000 10.000 5.000	90 67,5 45 22,5	21 23 25 27	400 (43.900) (20.000)* -	0 (21.300) (20.000)* -	0 (400) - -	8,5	-	-	20 mer
CHTOUKAS	L	40	16	-	2.400	1200-1.600	10.000* 5.000	45 22,5	36 67	(12.200) 10.000*	9.800	5.600	4,5	3,2	-	4,5 mer

L = Nappe libre

C = Nappe captive

\* Superficie prévue par le programme national d'irrigation par centre-pivots

## L'IRRIGATION D'APPOINT EST-ELLE RENTABLE ?<sup>(1)</sup>

Said Ouattar et Ouiam Lahlou<sup>(2)</sup>

La production céréalière au Maroc est tributaire des variations climatiques qui caractérisent notre pays. Par ailleurs, la sécheresse s'installe, s'intensifie et devient un phénomène chronique. L'effet conjugué de ces deux données explique la faiblesse et les fluctuations des rendements.

Tous les moyens pouvant assurer l'autosuffisance doivent être entrepris. Mais, pour cela, le phénomène de sécheresse doit être résolu. De quelle manière ? :

Faut-il s'acharner à exclure la sécheresse ?, faut-il se prémunir des dégâts qu'elle occasionne ou faut-il simplement trouver les moyens de lutter

contre et de la contourner ?. Cette dernière alternative paraît plus raisonnable et ça devient l'axe principal autour duquel s'articulent la majorité des recherches Agroclimatiques actuelles.

En effet, plusieurs recherches, passées et présentes, étudient les possibilités de tamponner d'une manière générale, les effets des aléas climatiques sur la production agricole. Celles-ci ont souvent trait aux techniques culturales, à savoir, le travail du sol, la date de semis, les variétés adaptées, etc... Les résultats sont encourageants et satisfaisants, mais toutes les techniques qui touchent aux concepts de l'irrigation sont également à envisager.



Démonstration du système Rampe-Enrouleur à Berrechid.

(1) Chercheurs à L'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

(2) Cette étude est réalisée dans le cadre d'une convention Recherche-Développement avec la Direction de la Production Végétale, Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire.

Une des techniques qui s'engage dans la voie de l'économie de l'eau est l'Irrigation d'appoint, qui est, comme son nom l'indique, un apport d'eau qui vient en complément aux précipitations et qui peut améliorer la production de manière considérable. Mais, les potentialités et les limites de cette technique ne sont pas connues et nécessitent des recherches et des expérimentations au champ. Ceux-ci ont abouti à des résultats intéressants et ont eux-mêmes débouché sur la question de rentabilité. La réponse agronomique à l'irrigation d'appoint étant, est ce qu'elle est justifiée économiquement ?.

Les recherches ont touché deux grandes zones céréalières au Maroc ; le Saïss et la Chaouïa. L'étude a commencé en 1989 et s'est étalée sur trois ans. Deux années d'expérimentation au champ, portant sur les potentialités de l'irrigation d'appoint et sur le matériel d'irrigation adapté, ont été nécessaires. Les effets de la sécheresse ont d'abord été quantifiés dans les deux régions puis, des références et des normes ont été élaborées pour guider les agriculteurs.

## A- ETUDE DE LA RENTABILITE EN FONCTION DU STADE D'APPORT D'EAU ET DE LA SURFACE IRRIGUEE

Pour la réussite du transfert de toute technologie, l'étude de rentabilité est essentielle. Nous nous sommes alors intéressés à cet aspect et nous avons effectué une recherche dans ce sens.

Les résultats de l'étude ont permis de montrer que l'apport d'eau en début de cycle aboutit aux meilleurs résultats comparativement aux apports en milieu et en fin de cycle.

Dans le tableau 1, nous récapitulons les rendements minimum et maximum obtenus pour chaque traitement dans nos essais. C'est sur la base de ces chiffres que nous avons calculé les rentabilités.

Nous avons abouti aux tableaux 2 et 3. Ils représentent les taux de rentabilité internes que nous obtiendrons pour chaque régime d'irrigation si les superficies irriguées variaient entre 30 et 10 Ha. Nous rappelons ici aussi que les calculs sont faits sur la base des résultats des essais. Pour les régimes à un seul apport d'eau, nous avons pris les situations extrêmes (minimum et maximum de rendement) obtenus durant les années d'étude.

Pour mieux illustrer les résultats, nous les avons présentés sous forme de graphes (Figures 1 et 2).

Nous avons comparé les niveaux de rentabilité calculés à deux seuils témoins : Le premier est de 14%, équivalent au taux d'intérêt bancaire. Un projet est jugé non rentable s'il dégage un bénéfice inférieur à ce seuil. Le second est ce que nous avons appelé le seuil de rentabilité certaine et qui est le double du premier.

Nous avons voulu ressortir l'effet stade d'apport d'eau et l'effet superficie irriguée.

Il ressort de la figure 1 et du tableau 2 que pour les gammes supérieures de rentabilité, les régimes irrigués en début de cycle sont toujours rentables mêmes pour des superficies en dessous de 10 Ha. Les régimes irrigués en milieu de cycle le sont à partir d'une superficie de 12 Ha, tandis-que les régimes irrigués en fin de cycle, ils ne deviennent rentables qu'à partir d'une superficie de 20 Ha.

La rentabilité certaine est assurée à partir d'une superficie de 13 Ha pour le régime irrigué en début de cycle et de 18 Ha pour le régime irrigué en milieu de cycle. Ce niveau de rentabilité n'est atteint pour une irrigation de fin de cycle qu'après la superficie de 30 Ha.

Si l'irrigation complémentaire peut être fractionnée en deux fois, la figure 2 et le tableau 3 montrent que toute combinaison de deux irrigations (tallage-épiaison, tallage-grossissement du grain, épiaison-grossissement du grain) est rentable avec une supériorité des traitements irrigués en début du cycle. Mais si aucune irrigation n'a lieu en début de cycle, il y'a une perte sur la rentabilité.

PHASES D'APPORT D'EAU	REGIMES HYDRIQUES	GAINS DE RENDEMENT OBSERVÉS PAR RAPPORT AU TÉMOIN SEC NON IRRIGUÉ EN QX/HA
AU TALLAGE	I100	13 à 26
À L'ÉPIAISON	I010	9 à 20
AU GROSSISSEMENT DU GRAIN	I001	1 à 14
AU TALLAGE ET À L'ÉPIAISON	I110	40
AU TALLAGE ET AU GROSSISSEMENT DU GRAIN	I101	45
À L'ÉPIAISON ET AU GROSSISSEMENT DU GRAIN	I011	33
AU TALLAGE + ÉPIAISON + GROSSISSEMENT DU GRAIN	I111	58

Tableau 1 : Régimes hydriques et gains de rendement.

SUPERFICIE IRRIGUÉE (HA)	GAMME DES NIVEAUX DES TAUX DE RENTABILITE INTERNES					
	IRRIGATION AU TALLAGE		IRRIGATION A L'ÉPIAISON		IRRIGATION AU GROSSISSEMENT DU GRAIN	
10	-2	à 17	-3	à 8	-9	à -1
15	8	32	6	20	-6	8
20	15	46	13	30	-5	15
25	22	60	20	40	-4	22
30	29	73	26	49	-2	27

Tableau 2 : Taux de rentabilité internes (Gamme supérieure et gamme inférieure) en fonction de la superficie irriguée (en %). Groupe à une seule irrigation

Tableau 3 : Taux de rentabilité internes en fonction de la superficie irriguée (en %). Groupe à deux ou trois irrigations

SUPERFICIE IRRIGUEE (HA)	GAMME DES NIVEAUX DES TAUX DE RENTABILITES INTERNES			
	IRRIGATION AU TALLAGE ET A L'ÉPIAISON	IRRIGATION AU TALLAGE ET AU GROSSISSEMENT DU GRAIN	IRRIGATION A L'ÉPIAISON ET AU GROSSISSEMENT DU GRAIN	IRRIGATION AU TALLAGE, A L'ÉPIAISON ET AU GROSSISSEMENT DU GRAIN
10	24	30	15	45
15	41	51	29	72
20	58	70	42	98
25	77	94	59	117
30	89	108	67	134

Si l'on se fixe une superficie de 30 Ha, l'effet du stade d'apport d'eau est démontré. Les seuils de rentabilité réalisables dans le cas d'une irrigation en début de cycle, se situent entre 29 et 73%, soit 2 à 5 fois le niveau du taux bancaire.

L'irrigation en milieu de cycle, engendre des taux de rentabilité internes entre 26 et 49% soit 2 à 3,5 fois le taux bancaire. Enfin de cycle, la rentabilité est plus aléatoire. Les seuils de rentabilité permis par l'irrigation d'appoint sont souvent négatifs mais ne dépassent jamais 27 %. Cet apport tardif d'eau peut alors constituer une perte pour l'agriculteur.

Ceci montre l'intérêt des irrigations d'appoint dans l'amélioration des rentabilités obtenues et donc des revenus des agriculteurs.

## **B- PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION D'APPOINT.**

En conclusion, cette étude ayant traitée de la rentabilité de l'irrigation d'appoint a pu démontrer que cette technique permet de réduire les coûts de production en pratiquant les irrigations d'appoint et

en écartant les irrigations conventionnelles. En effet, un seul apport d'eau bien ciblé peut produire autant que plusieurs irrigations. Les quantités d'eau gagnées peuvent être transférées sur d'autres cultures. La pratique de l'irrigation d'appoint présente un autre intérêt de valeur ; elle permet de réduire les dangers de salinisation et de dégradation de l'environnement là où l'irrigation s'opère sur des nappes phréatiques saumâtres. Cependant, avant de généraliser cette technique, des études complémentaires régionales sont nécessaires pour intégrer dans la planification les données liées à la nature de la ressource en eau, à sa disponibilité, à sa qualité et au coût de sa mobilisation. Des études Agro-économiques in-situ permettront d'assurer la réussite de cette technique, l'évaluation des impacts éventuels sur l'environnement ainsi que l'utilisation à grande échelle, notamment dans les zones à écotypes fragiles présentant des risques de salinité.

Une nouvelle technologie est née, et pour pouvoir la mettre entre les mains des agriculteurs, aucun effort ne doit être négligé ni au niveau des recherches complémentaires ni au niveau des actions de développement. Ainsi, on aurait abouti à un moyen efficace constituant un rempart face aux aléas climatiques.



Champs de blé irrigué au stade tallage à Kariat-Tissa.