

ATELIER ANAFID-AMEPA SUR LA SECHERESSE

L'AMEPA et l'ANAFID ont organisé conjointement le 8 juin 2000 un atelier sur la problématique et la lutte contre les effets de la sécheresse sous le thème : « **Eau – Santé et Education** »

Cette rencontre a réuni une soixantaine de décideurs des secteurs privés et publics provenant des départements : de la météorologie, de l'Hydraulique, de la Santé, de l'Education Nationale, de la DGCL ainsi que des chercheurs et universitaires.

Les participants à l'atelier, après avoir échangé les points de vue sur la problématique de la sécheresse et ses effets sociaux économiques dans notre pays et notamment en milieu rural, ont examiné les actions à promouvoir auprès des sociétés membres de l'AMEPA et de l'ANAFID pour soutenir le programme national visant à faire face aux effets de la sécheresse.

Les actions retenues concernent notamment l'alimentation en eau potable d'établissements communautaires à caractère socio-éducatif et sanitaire.

Dans ce cadre, il a été noté l'engagement d'une douzaine d'entreprises privées présentes à l'Atelier pour prendre en charge la réalisation d'une trentaine de projets dans diverses provinces du Royaume d'une part et la volonté exprimée par les présidents des Associations représentant les secteurs de pompage (ATEPE), de canalisation (AMEC) et d'ingénierie (FMCI) pour soutenir le programme ANAFID-AMEPA d'autre part.

La première partie du présent document donne un aperçu sur les travaux. On trouvera en annexe les différentes communications ainsi que les informations sur le déroulement de l'atelier.

**Association Marocaine
de l'Eau Potable et
de l'Assainissement**



AMEPA

**Association Nationale
des Améliorations Foncières de
l'Irrigation et du Drainage**



ANAFID

ALLOCUTION

BEKKALI A.¹



ANAFID

Monsieur le Président de l'Association Marocaine de l'Eau Potable et de l'Assainissement

Mesdames et Messieurs

J'ai l'honneur et le plaisir de vous souhaiter la bienvenue à cet atelier sur la sécheresse organisé conjointement par l'ANAFID et l'AMEPA. Cet atelier représente la deuxième manifestation que les deux associations organisent sur le thème de l'eau potable. La première a eu lieu le 25 Novembre 1999 et avait pour thème «l'alimentation en eau potable des populations rurales, évaluation et perspectives»

Le fait que l'ANAFID et l'AMEPA joignent à nouveau leurs compétences et mobilisent leurs membres pour l'organisation de cet atelier, témoigne de l'intérêt que les deux associations portent à une des questions préoccupante pour le Maroc à l'heure actuelle : Comment soulager les effets de la sécheresse que traverse notre pays et plus précisément comment contribuer à l'amélioration de l'approvisionnement du milieu rural en eau potable.

C'est en effet à ce niveau que se résume l'objectif de l'atelier d'aujourd'hui. Il est vrai que la sécheresse est devenue un problème structurel pour l'économie marocaine et qu'à des problèmes structurels, il faut des solutions structurelles.

Les ressources en eau du pays ont été réduites une première fois par la nature compte tenu de l'emplacement en zone semi-aride du Maroc et elles sont réduites une deuxième fois à cause de la persistance du phénomène de la sécheresse. L'accroissement démographique de la population venant de son côté accroître de la demande en eau et compliquer la situation.

Ces constatations nous seront mieux étayées par des données et analyses lors des deux présentations inaugurales de l'atelier et qui concernent respectivement les changements climatiques par la Direction de la Météorologie et l'évolution des ressources en eau au Maroc par la Direction Générale de l'Hydraulique.

Devant la recrudescence des effets de la sécheresse,

¹ Président de l'ANAFID

un ensemble de programmes de lutte ont été mis sur pied notamment au niveau du Département de l'Agriculture et du Département de l'Equipement. La synthèse de ces programmes sera couverte par les présentations de l'Office National de l'Eau Potable, la Direction Générale de l'Hydraulique et l'administration du génie rural.

Les besoins en eau des couches de la population touchées par la sécheresse sont certes énormes et les moyens du pays restent limités pour les couvrir en totalité notamment en matière d'eau potable. Des écoles, des dispensaires, des douars, des lieux de moussem, des édifices de bienfaisance, des mosquées... etc sont tous autant d'exemples qui rallongent la liste des sites éligibles à une action urgente leur permettant de se doter d'eau potable.

Une des questions légitimes que l'on est en droit de se poser est comment des associations non gouvernementales telles que l'ANAFID et l'AMEPA pourraient - elles contribuer à réduire le poids négatif de la sécheresse sur les efforts déployés pour améliorer la desserte des populations rurales en eau potable.

C'est de cette question qu'ont débattues les deux associations à travers les travaux de leurs bureaux respectifs et des multiples réunions du comité d'organisation qu'elles ont mis sur pied pour l'organisation de cet atelier.

La contribution que souhaitent apporter l'AMEPA et de l'ANAFID aux efforts entrepris émane de leur conviction que la lutte contre la sécheresse :

- Interpelle toutes les composantes de la société y compris les ONG.
- Elle peut se manifester à travers des actions diverses et multiformes et
- Elle peut relever du bénévolat en signe de solidarité avec notre milieu rural sinistré.

Toutes les propositions d'actions à entreprendre seront considérées comme des gestes porteurs d'espoir pour les populations rurales. Les membres des deux associations

veulent se mobiliser eux même et sensibiliser davantage les personnes physiques ou morales qui sont potentiellement en mesure d'intervenir par des actions ciblées en matière d'eau potable en milieu rural.

Il n'est sans doute pas difficile de repérer des cas de projets de desserte en eau potable qui sont en situation de détresse et qui font que des agglomérations rurales continuent à être privées d'eau potable. A titre indicatif nous citerons :

- La fourniture d'un équipement de pompage, d'adduction ou de transport, de pièces de rechange adéquates,
- La prestation de service sous forme d'une étude ou d'un encadrement technique pour faire le meilleur choix entre variantes possibles, peuvent contribuer à surmonter l'obstacle et faire arriver l'eau à ces agglomérations.

Ce sont là, mesdames et messieurs, quelques éléments d'introduction au sujet de l'atelier que je souhaitais soulever. Je suis persuadé que cet atelier parviendra à identifier les meilleures formes de contribution des membres de l'ANAFID et de l'AMEPA à la réalisation de l'objectif recherché à savoir : améliorer l'approvisionnement du milieu rural en eau potable.

Je voudrais remercier les Départements ministériels notamment le Ministère de l'Equipeement et le Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes. De même, nos remerciements vont aussi à la Direction de la Météo, la Direction Générale de l'Hydraulique, l'administration du Génie Rural et Last but not Least à l'ONEP qui en plus de sa valeureuse contribution à l'atelier nous offre un accueil très agréable.

Je voudrais également remercier les membres du comité d'organisation qui se sont attelés au travail continu pour la préparation de l'atelier.

LA PREVOYANCE... C'EST BON A SEMER



MAMDA, la bonne graine d'assurance

NOS BUREAUX REGIONAUX

MAROC NORD ASSURANCES 16, Rue Abou Inanq, Rabat	MAROC SUD ASSURANCES 80, Bd La Résistance, Casablanca
MAROC SUD ASSURANCES 40, Rue Mansour Eddahbi, Marrakech	MAROC SUD ASSURANCES Quartier Industriel, Béni Mellal
MAROC CENTRAL ASSURANCES 08, Zenkat Tetoan, Méknes	FES TAZA ASSURANCES Place Florence, Fès
ASSURANCES MUTUELLES DU SOUSS Av. Général El Kettani, Agadir	MAROC ORIENTAL ASSURANCES 11 Bis, Zerktoni, Oujda
MUTUELLE AGRICOLE MME. D'ASS Av. Bir Inzarane, Sidi Slimane	BUREAU DE KHEMESSET 38, Av. MED V. Khemesset
BUREAU DE TANGER 25, Bd. Med V. Tanger	BUREAU DE TETOUAN 11, Place El Jadida, Tetouan
BUREAU DE LARACHE 2, Av. Zerktoni, Larache	BUREAU DE NADOR BP. 555, P. Amgala Rued 7 n° 19/21, Nador
BUREAU DE BERKANE 183, Bd. Hassan II, Berkane	BUREAU DE SAFI 26, P. de l'indépendance B.P. 466, Safi
BUREAU DE TAOURIRT Bd. Med V. Taourirt	

SYNTHESE DES TRAVAUX DE L'ATELIER ANAFID-AMEPA SUR LA SECHERESSE

I - ORIENTATIONS GENERALES

Les présidents de l'ANAFID et de l'AMEPA ont présenté lors de l'ouverture des travaux des orientations générales.

M. BEKKALI président de l'ANAFID a mentionné que la sécheresse est devenue un problème structurel, nécessitant des solutions structurelles. Il s'est demandé comment des associations non gouvernementales telles que l'ANAFID et l'AMEPA pourraient-elles contribuer à réduire le poids négatif de la sécheresse. La contribution aux efforts déployés pour améliorer la desserte des populations rurales en eau potable, devra tenir compte des besoins importants en eau des couches de la population touchées par la sécheresse alors que les moyens du pays restent limités et que des écoles, des dispensaires, des centres de bienfaisance, des douars, des lieux de moussems, des mosquées, etc... sont autant d'exemples qui rallongent la liste des sites éligibles pour l'accès à l'eau potable.

En outre, M. BEKKALI a précisé également que la contribution que souhaitent apporter l'AMEPA et l'ANAFID aux efforts entrepris émane de leur conviction et que la lutte contre la sécheresse interpelle toutes les composantes de la société civile y compris les ONG. Elle peut se manifester à travers des actions diverses et multiformes, et relever du bénévolat en signe de solidarité avec notre milieu rural sinistré, sachant que toutes les propositions d'actions à entreprendre seront considérées comme des gestes porteurs d'espoir pour les populations rurales.

M. BEKKALI a également mis en exergue la volonté des membres des deux associations de se mobiliser afin de sensibiliser davantage les personnes physiques ou morales qui sont potentiellement en mesure d'intervenir par des actions ciblées. Il a noté à ce sujet qu'il n'est point difficile de repérer des cas de projets de desserte en eau potable en situation de détresse et qui font que des agglomérations rurales continuent à être privées d'eau potable, au moment où la fourniture d'un équipement de pompage, d'adduction, ou de transport, de pièces de rechange adéquates, et la prestation de service sous forme d'une étude ou d'un

**SENSIBILISER ET MOBILISER
DAVANTAGE : VOILA LA
CONVICTION DE L'AMEPA ET
DE L'ANAFID**

**QUAND L'AMEPA ET
L'ANAFID DONNENT
L'EXEMPLE !**

encadrement technique peuvent contribuer à surmonter l'obstacle et faire parvenir l'eau à ces localités.

L'allocation d'introduction du Président de l'ANAFID en invitant à identifier les meilleures formes de contribution des membres de l'ANAFID et de l'AMEPA à la réalisation de l'objectif recherché, à savoir améliorer l'approvisionnement du milieu rural en eau potable, aura à placer la problématique de la lutte contre les effets de la sécheresse dans le contexte approprié.

M. Lahoucine TIJANI, Président de l'AMEPA a souligné quant à lui sa conviction qu'il faut combattre le phénomène de la sécheresse en transformant cette contrainte en un outil de développement et ce en permettant aux populations rurales de disposer des moyens et des solutions au lieu de subir la sécheresse en scrutant le ciel avec fatalisme et désespoir.

Il a estimé que l'AMEPA et l'ANAFID donnent l'exemple qu'il faut. Un exemple qu'il est nécessaire de conforter en essayant d'apporter les éléments essentiels pour accompagner les pouvoirs publics dans la dynamique nationale de développement.

M. TIJANI a en outre mis l'accent sur le rôle sans cesse croissant de la société civile, eu égard aux fonds qui vont directement vers les ONG qui interviennent dans le monde rural à travers des opérations ciblées et concrètes. Il considère que les deux associations sont en mesure chacun de son côté d'apporter leur contribution par un travail de spécialistes et de professionnels ayant une expérience confirmée de la résolution des problèmes.

Par la suite, il a rappelé que le principal objectif pour l'AMEPA était celui de favoriser un esprit dans lequel chacun apporte sa contribution et s'implique selon ses moyens et sa stratégie, l'essentiel est que notre pays puisse tenir le haut du pavé au niveau international comme souhaité pour SA MAJESTE MOHAMED VI. Il faut donc coopérer, et travailler ensemble.

Finalement, devant la nécessité d'apporter des solutions aux nombreux problèmes que connaît notre pays, M. TIJANI a assuré l'assistance que l'ONEP tiendra compte des recommandations de cet atelier et essaiera de les faire adopter par les différents départements associés à la lutte contre les effets de la sécheresse.

II - LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La première communication a été présentée par M. A. OULDBAA de la Direction de la météorologie concernant la question des changements climatiques.

Après avoir présenté les facteurs influençant le climat, à savoir le rayonnement solaire et terrestre, la circulation océanique et la composition de l'atmosphère, M. OULDBAA a fourni des explications concernant le bilan radiatif de la terre, les principaux éléments, l'effet de serre, comme l'un des principaux éléments du système climatique, le cycle de carbone comme principal élément du cycle de la vie, les principaux gaz à effet de serre dont la vapeur d'eau, le CO₂, le CH₄ et le NO₂, les climats du lointain passé, ceux du passé récent et la situation actuelle. Les conséquences climatiques possibles principalement l'augmentation de la sécheresse, et finalement les conséquences économiques possibles sur l'habitat, la santé, les forêts, les prairies, les montagnes, les eaux, l'agriculture et la pêche. L'annexe présente la communication de M. OULDBAA.

III - LA SECHERESSE : Une donnée structurelle

Quant à la deuxième communication concernant l'évolution des ressources hydriques, elle a été présentée par M. M. TABIT de la Direction Générale de l'Hydraulique. Ce dernier a rappelé que le Maroc est situé dans une zone semi-aride où, de plus, les populations et les ressources en eau sont concentrées et réparties sur la façade atlantique. En ce qui concerne le potentiel des ressources en eau au Maroc, sur 150 Milliards de mètres cube d'eau de pluie en moyenne, on arrive à 20 milliards de m³ dont 4 milliards de m³ d'eaux souterraines. Il a été souligné qu'on ne parle de sécheresse au Maroc que lorsqu'elle est générale, or il se trouve que la sécheresse se manifeste chaque année souvent au niveau d'un ou deux bassins hydrologiques.

Si l'on juge ainsi la durée qui sépare deux sécheresses, et la contrainte de la concentration des populations, l'impact de la sécheresse sur les ressources en eau est évident. Finalement, cette communication insistera sur la réserve de sécurité qui se fait actuellement au niveau des barrages, afin de garantir pendant deux années la sécurité en eau potable, et puis d'assurer également la survie des cultures au niveau des grands périmètres irrigués.

Par ailleurs, M. HASSNAOUI de la Direction Générale de l'Hydraulique a expliqué dans son intervention, que l'impact de la sécheresse se traduit par un déficit de 74% en ce qui concerne les apports d'eau de surface.

L'impact est également important au niveau des nappes souterraines puisqu'il a été enregistré des baisses de 2 à 7 m. Au niveau des barrages, il est de 40% concernant la

fourniture des eaux au niveau des périmètres irrigués, elle a été jugée normalement ou légèrement déficitaire, exceptée pour le Melouya où le déficit est de 40%.

Concernant l'alimentation en eau potable, elle est normale en milieu urbain, et préoccupante en milieu rural.

L'impact a été important en milieu rural où près d'un million d'habitants sont touchés dans près de 2500 localités.

IV - PROGRAMME SPECIAL SECHERESSE

Les programmes de lutte contre les effets de la sécheresse exposés au cours de l'atelier concernaient les actions projetées par l'ONEP, la Direction Générale de l'hydraulique et le groupement des associations AMEPA-ANAFID.

L'ONEP a programmé l'amélioration de la desserte en eau dans les centres et villes qui connaissent un déficit, l'alimentation de plusieurs douars limitrophes aux installations existantes ainsi que la desserte d'un certain nombre de petits centres ruraux où l'ONEP n'intervient pas. L'enveloppe budgétaire de ces opérations est de 1.655 millions DH et les travaux devraient générer un total de 2,75 millions de journées d'emploi.

L'exposé de la Direction Général de l'hydraulique a permis de survoler les différentes composantes du programme national général d'urgence concernant la lutte contre les effets de la sécheresse et particulièrement le créneau dit « approvisionnement en eau potable ». Il est à rappeler que le programme national d'urgence de lutte contre les effets de la sécheresse sera réalisé en 3 phases sur une période de 15 mois pour une enveloppe budgétaire de 6 500 millions DH.

V - PROGRAMME AMEPA

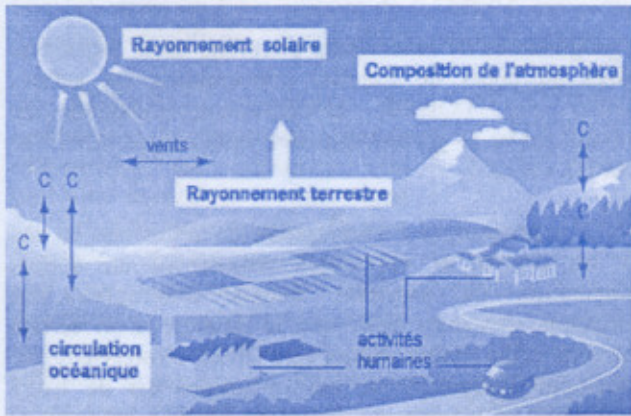
Quant au programme préparé par les deux associations AMEPA et ANAFID, il a été élaboré sur la base d'information puisées à partir de dossiers d'études de cas disponibles ou collectées auprès de certaines associations locales ou ONG. Le créneau d'actions retenu par les deux associations est l'alimentation à faible coût (moins de 50 000 DH par projet) en eau potable et/ou la réalisation de latrines pour des établissements scolaires et des dispensaires ainsi que la mise à disposition des populations de citernes collectives ou individuelles. Au 30 mai 2000 une centaine de projets remplissant les critères AMEPA - ANAFID et ne faisant partie ni du programme ONEP ni du projet gouvernement, ont été recensés à travers 24 provinces du royaume.

Après discussion, et contacts entrepris par le comité de suivi des projets précités, la liste finale de ces projets est présentée dans le chapitre suivant

LES FACTEURS INFLUENÇANT LE CLIMAT

OULDBBA A.¹

De nombreux facteurs déterminent et influencent le climat de notre planète, ce sont par ordre d'importance :



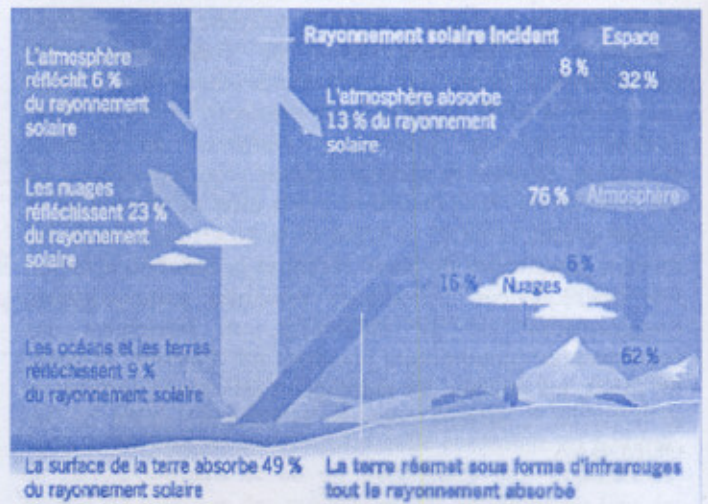
- **Le rayonnement solaire** varie dans le temps avec l'activité du soleil et constitue le seul apport extérieur d'énergie que nous recevons.
- **Le rayonnement terrestre** vers l'espace qui est équilibré avec le rayonnement solaire, bien que sous forme d'infra-rouge. Un défaut d'équilibre de ce rayonnement avec celui du soleil conduit à une variation de la température moyenne du globe.
- **La circulation océanique** qui transporte d'énormes quantités d'énergie autour de la planète. La durée d'un cycle de circulation océanique est de l'ordre du millénaire.
- **La composition de l'atmosphère** qui détermine, avec la température moyenne, la quantité d'énergie que la planète va rayonner vers l'espace.

Les activités humaines, dont certaines rejettent des gaz à effet de serre, pourraient influencer la composition de l'atmosphère.

Tous ces paramètres ne sont pas totalement indépendants, ils interagissent par le biais de couplages :

- Couplage cryosphère/ atmosphère,
- Couplage océan / atmosphère,
- Couplage océan / cryosphère,
- Couplage atmosphère / biosphère,
- Couplage biosphère /Géosphère.

¹ Direction de la météologie



Le rayonnement solaire (lumière visible) est en partie absorbé par la surface de la terre, apportant ainsi de l'énergie à notre planète

Le sol ré-émet cette énergie sous forme de chaleur (rayonnement infrarouge).

Le système est équilibré, c'est à dire que la terre retourne vers l'espace autant d'énergie qu'elle en a reçue.

Comme tout système en équilibre il est sensible à la moindre perturbation.

L'effet de serre

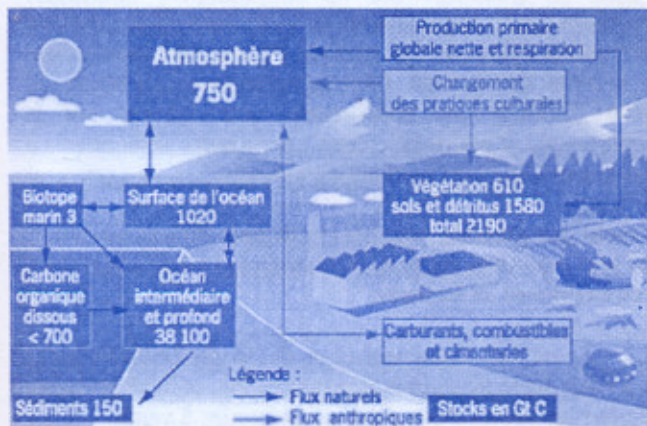
L'effet de serre est un des principaux éléments du système climatique.



Les gaz à effet de serre absorbent une partie du rayonnement infra-rouge ré-émis par la terre, retenant ainsi une partie de l'énergie solaire que notre planète reçoit. Sans ce phénomène, la température moyenne de la terre serait d'environ -15°C , et la vie ne pourrait pas s'y développer.

Ce qui inquiète les scientifiques aujourd'hui est l'augmentation régulière de la concentration de ces gaz depuis le début de l'ère industrielle, augmentation qui devrait perturber l'effet de serre en l'intensifiant. En effet, plus la concentration en gaz à effet de serre augmente, plus la quantité d'énergie retenue par la terre s'accroît, et, par conséquent, plus la température de la terre devrait augmenter. Un nouvel équilibre, à un niveau de température plus élevé, pourra être atteint car au fur et à mesure que la terre se réchauffe, son rayonnement vers l'espace augmente jusqu'à équilibrer le flux d'énergie solaire entrant dans l'atmosphère.

Le cycle du carbone



Le cycle du carbone est le principal cycle de la vie. Le carbone circule par des processus variés entre les différents réservoirs (en bleu) où il est stocké. Les quantités s'expriment le plus souvent en gigatonnes (milliards de tonnes) de carbone afin de pouvoir comparer des flux de composés carbonés différents.

Le stock atmosphérique de carbone est sous forme de gaz carbonique, principal gaz à effet de serre (CO_2). Les échanges de l'atmosphère avec les différents milieux se font sous forme de gaz carbonique.

Les flux naturels de carbone sont connus à 30% environ, et ceux dus à l'activité humaine (les flux anthropiques) le sont à 10% près.

Les flux anthropiques sont faibles par rapport aux flux naturels, le bilan global n'est pas équilibré. La recherche dans ce domaine porte actuellement sur le "puits manquant" car le bilan des échanges avec l'atmosphère fait apparaître un déficit important de carbone dans les flux, dans le sens de l'atmosphère vers les autres milieux. Cette différence devrait conduire à une augmentation plus rapide du taux de CO_2 dans l'atmosphère que celle qui est

mesurée, ce qui permet aux scientifiques d'affirmer qu'il manque un flux dans le cycle, ou que l'un des flux identifiés est sous estimé, probablement celui des échanges océan/atmosphère qui est le plus important.

Compte-tenu de la diversité des flux, une modification des échanges de CO_2 perturbera le cycle du carbone pour une période de 50 à 200 ans avant qu'un nouvel équilibre soit retrouvé.

Les principaux gaz à effet de serre

	Pré-industriel ppbv	Actuel ppbv	Taux de croissance ppbv/an
CO_2	278000	364000	1600
CH_4	700	1754	8
N_2O	275	315	0,8
CFC-11	0	0,268	+0
SF_6	0	0,032	0,0002
CHCl_3	0	0,012	-0

Le principal gaz à effet de serre est la vapeur d'eau qui contribue pour près de 60% à cet effet. Sa répartition dans l'atmosphère étant très inégale, il est sans signification d'en exprimer la concentration moyenne dans l'atmosphère.

Les autres principaux gaz à effet de serre sont le gaz carbonique (CO_2) ou dioxyde de carbone, le méthane (CH_4), et le protoxyde d'azote (N_2O).

Le CO_2 est issu des échanges de l'atmosphère avec la biosphère et les océans, ainsi que de la combustion des matières carbonées telles que le bois, le charbon ou le pétrole.

Le méthane provient de la décomposition des matières organiques dans les sols et les marais et de l'activité humaine par son extraction du charbon et du gaz naturel essentiellement.

Le protoxyde d'azote résulte principalement de la décomposition naturelle des nitrates dans les sols, et de la chimie des nitrates dans les océans. Une très faible partie provient de la combustion.

Le Potentiel d'Echauffement Global

	20 ans	100 ans	200 ans
Dioxyde de Carbone (CO_2)	1	1	1
Méthane (CH_4)	56	21	6,5
Protoxyde d'azote (N_2O)	280	310	170
CFC-11	4900	3800	-
SF_6	16300	23900	34900
CHCl_3	14	4	1
HFC-134a	3400	1300	420

La notion de **Potentiel d'Échauffement Global (PEG)** permet de comparer l'effet futur de l'émission de gaz à effet de serre, par rapport à l'émission de la même quantité de gaz carbonique, sur la même période.

Dans ce tableau, le gaz carbonique étant la référence, la valeur de son PEG est de 1 par définition, pour chacune des colonnes.

Les effets potentiels des gaz s'évaluent conventionnellement à des échéances de 20, 100 et 200 ans, 100 ans étant l'échelle de temps la plus couramment utilisée.

Dans le tableau on lira, par exemple, que l'émission de 1 tonne de méthane produira sur 100 ans les mêmes effets sur le climat que l'émission de 21 tonnes de gaz carbonique.

Cette notion de PEG fait l'objet de nombreuses controverses car son utilisation est délicate et le calcul souffre encore d'une grande incertitude. Elle est néanmoins commode pour comparer les gaz à effet de serre entre eux.

L'analyse de carottes glaciaires et sédimentaires a permis de reconstituer les climats du passé. Sur ce diagramme le temps présent est à droite et on remonte dans le passé jusqu'à -220 000 ans par rapport à notre époque.

On remarque que les concentrations en gaz carbonique ont varié de la même manière que la température, sans que l'on puisse dire quelle est la variation qui a précédé l'autre, la résolution temporelle de ces analyses n'étant pas assez fine. On en déduit cependant que **la concentration en gaz à effet de serre et la température sont liées.**

La période actuelle, depuis la dernière glaciation dont nous sommes sortis il y a 12 000 ans, est l'une des plus stables de l'histoire de l'humanité.

De la même manière que pour le passé lointain, on constate pour le passé récent que les variations de la température et celles de la concentration en gaz à effet de serre vont dans le même sens.

Cependant la courbe de variation de température, qui s'exprime en écart par rapport à la moyenne de la période 1950-1970, n'est pas aussi régulière que celle des concentrations en gaz à effet de serre, ce qui permet de dire que **d'autres phénomènes que l'effet de serre influent sur la température moyenne de la planète.**

Il est utile de rappeler qu'une **variation climatique réelle ne s'évalue pas à l'échelle de quelques années mais plutôt de quelques décennies, voire du siècle, et non pas à celle de la simple mémoire d'un être humain.**

La situation actuelle

Les observations météorologiques ²

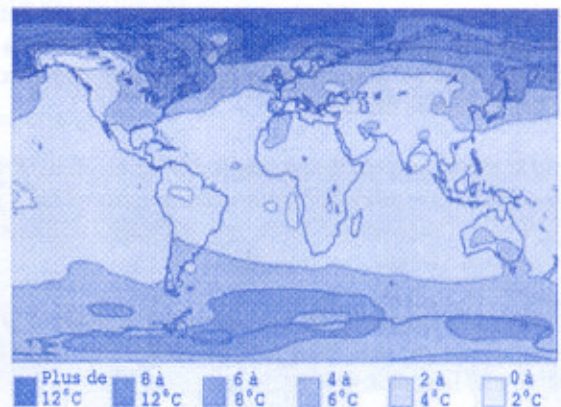
- pas de variation statistiquement significative de nombre et de la violence des tempêtes sur l'Est des Etats-Unis
- pas de variation statistiquement significative de nombre et de la violence des cyclones tropicaux
- pas de variation statistiquement significative de nombre et de la gravité des inondations
- pas de variation statistiquement significative de la surface de la banquise
- Légère augmentation de la température moyenne nocturne depuis le début du siècle (+0,5°C)
- recul des glaciers continentaux (hors pôles)

Les observations météorologiques semblent contredire nos impressions et ce que l'on entend couramment autour de soi, ce sont pourtant les conclusions des experts du Groupe Intergouvernemental d'Etude du Climat (GIEC). Ces conclusions sont fondées sur la comparaison d'archives, dont certaines remontent à plusieurs siècles, avec la situation actuelle.

Le recul des glaciers est observé depuis 40 ans environ ; à lui seul constitue un critère insuffisant pour conclure à un changement climatique.

Toutefois, l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre ne saurait être sans effets, et il est probable que nous les observerons dans les décennies à venir.

La modélisation du climat



- **Modèles climatiques** ont cependant été élaborés : effet de serre, couplage océan/atmosphère, circulation océanique et rayonnement terrestre. Certains modèles commencent à

² (source : GIEC-1995)

prendre en compte le couplage atmosphère / cryosphère et atmosphère / biosphère.

- **Validation : reproduire les évolutions climatiques du passé** ; son calage passe encore bien souvent par l'ajustement manuel de nombreux paramètres.

- informatique extrêmement lourde et leurs performances limitées par ce besoin en puissance de calcul, et par la connaissance insuffisamment précise que nous avons des mécanismes régissant le climat.

- Modèle calé sur le passé, on le tourne en l'alimentant par données d'émissions calculées à partir de projections sur l'avenir (scénarios) et obtenir ainsi une idée de ce qui pourrait se produire dans le futur.

- Scénarios: hypothèses socio-économiques d'évolution de l'économie mondiale élaborées par les grands organismes internationaux.

- Il est actuellement difficile aux modèles de donner une répartition géographique de ces variations en deçà de l'échelle d'un sous-continent (Europe par exemple) puisque les modèles courants calculent sur des carrés de 5° de longitude par 5° de latitude.

- Résultats sont encore entachés d'une grande incertitude et varient d'un modèle à l'autre.

Difficile de prévoir Le climat va t-il changer ?

Il n'y a actuellement aucune possibilité de le prédire avec certitude. Les modèles de climat, calés sur le climat du passé, si on les laisse tourner vers l'avenir, donne les résultats suivants en 2100 :

- Concentration en CO₂ passe de 370 à près de 600 ppmv
- élévation de température moyenne de 1,5 à 4,5° C
- élévation du niveau des mers de 15 à 95 cm
- Intensification du cycle hydrique
- Evaluation des effets régionaux quasi impossible

Les effets possibles d'un changement climatique sont évalués par convention avec une concentration en CO₂ de 550 ppm

D'une manière générale, lorsqu'on les laisse tourner sur le futur, les modèles donnent ces résultats, dont l'imprécision est liée à celle des hypothèses retenues, à la diversité des scénarios retenus et à la nature des différents modèles utilisés.

Selon les variables prises en compte, les résultats régionaux peuvent changer du tout au tout, voire s'inverser (refroidissement au lieu d'un réchauffement).

Le comportement du système climatique est non linéaire et il comporte un certain degré de chaos. Ainsi des

changements importants et rapides (indépendamment de ceux décrits par les modèles actuels) sont possibles dans le futur, dans un sens comme dans l'autre, mais non prévisibles.

Par ailleurs, les modèles, pour autant que l'on puisse se fier à leurs résultats, permettent de tester différents scénarios. C'est ainsi qu'il a été déterminé que pour stabiliser la concentration de gaz carbonique à sa valeur actuelle, il faudrait réduire les émissions de près de 60 %, ce qui est impossible, même en faisant un appel massif à l'énergie nucléaire.

Les conséquences climatiques possibles :

Forêts : 35% de la superficie changera en nature

Prairies : peu fragiles sauf la toundra où une partie du permafrost fondra

Cryosphère : 30 à 50% fondra, ce qui perturbera le flux des rivières

Montagnes : migration des espèces végétales vers les sommets

Mers : montée du niveau, changements des courants et modification de la salinité

Eau : assèchement des zones arides, augmentation de la pluviométrie en zones humides.

Les conséquences climatiques :

- **une accélération du cycle hydrique**, c'est à dire que l'évaporation des eaux de surface sera plus importante, et leur précipitation aussi

- **une élévation de l'isotherme 0° moyen**, c'est à dire qu'il fera plus chaud plus haut en altitude

- **une remontée vers les pôles de la position moyenne de l'isotherme 0° au sol** (de l'ordre de 300 km).

Conséquences principales :

- Augmentation de la sécheresse, de l'intensité des orages et des tempêtes ;

- Diminution de la surface des glaciers et des banquises,

- Migration des espèces végétales vers les pôles et vers les sommets, modifiant ainsi les écosystèmes et la vie qui s'y épanouit

Les conséquences économiques possibles :

Habitat : les inondations des basses terres pourraient entraîner d'importants déplacements de population

Santé : on peut craindre une extension de la zone de propagation des maladies parasitaires et infectieuses

Forêts : l'exploitation et la gestion devront être adaptées à la modification des espèces

Prairies : la fonte du permafrost pourrait transformer les zones subarctiques en bourniers impraticables

Montagnes : l'économie de ces régions sera modifiée, notamment l'élevage et le tourisme

Eau : de nombreux pays auront des problèmes d'eau potable à plus brève échéance

Agriculture : globalement peu d'effets, mais aggravation du déséquilibre Nord/Sud

Pêche : modification des zones de ponte et des migrations, ce qui nécessitera une adaptation des techniques

Il ne s'agit là que des effets premiers. L'économie mondiale étant extrêmement complexe, les interactions des différents effets sont encore mal évaluées.

Le déséquilibre entre pays développés et pays en développement sera probablement accru puisque ces derniers sont situés généralement dans des zones où les effets climatiques seront les plus importants.

Autrement dit les pays "riches" seront les moins touchés, voire favorisés, et les pays "pauvres" verront leurs difficultés s'accroître.



VALMONT, leader mondial de l'irrigation par centre-pivots, a installé plus de 12.000 ha à travers le Royaume

SA GAMME D'UNE QUALITE EXCEPTIONNELLE

- surface irriguée de 3 à 120 ha
- rotatifs, linéaires, déplaçables, corners,
- bas profil, haut profil,
- terrains lourds, pentus ou accidentés,
- protection spéciale corrosion,
- et plus de 20 autres options...

SON SERVICE TECHNIQUE DE HAUT NIVEAU

- étude de faisabilité technique,
- installation et mise en route " clé en main",
- assistance technique après vente et maintenance assurés,
- stock complet de pièces de rechange

VALMONT MAROC

9, rue AL KHATOUAT - AGDAL - RABAT - Tél. : 037.67.57.67 (6 Lignes Groupées) - Fax : 037.77.23.50

ENSEMBLE, MAITRISONS L'EAU

DEFICIT HYDROLOGIQUE ET SON IMPACT SUR L'AEP PROPOSITION DE PROGRAMME SPECIAL DE LUTTE CONTRE LES EFFETS DE LA SECHERESSE (ANNEE 2000)

Office National de l'Eau Potable

I- RAPPEL

Le programme d'investissement de l'ONEP pour l'exercice 2000, s'élève à 1.655,3 millions de Dirhams. Ce programme intéresse :

- Le renforcement de la production pour les grandes villes où les régions assurent la distribution pour un montant de 389,5 millions de Dirhams ;
- La réalisation des opérations de production, de distribution et communes au profit des petits centres pour un montant de 1065,8 millions de Dirhams ;
- L'alimentation en eau potable des douars limitrophes des installations de l'ONEP pour un montant de 200 millions de Dirhams.

Outre l'amélioration de l'alimentation en eau potable et des conditions de desserte des populations dans plusieurs centres et villes qui connaissent un déficit, ce programme aura des retombées socio-économiques très importantes notamment en matière d'emploi. En effet :

- Plus de 400 entreprises de différentes tailles travaillent avec l'ONEP et emploient de la main d'œuvre spécialisée ;
- Ce programme permettra la création de 2,75 millions journées emploi par l'ouverture de plusieurs chantiers répartis à travers tout le Royaume.

II- PROPOSITION DE PROGRAMME SPECIAL SECHERESSE

Compte tenu de la situation hydrologique enregistrée par notre pays l'année dernière (taux de remplissage des barrages à fin février 1999 de 58 %) et celle qui prévaut actuellement (taux de remplissage des barrages à fin février

2000 de 46%), il y a lieu de considérer qu'un certain nombre de centres ainsi, et surtout, le milieu rural connaîtront des difficultés dans leur desserte en eau potable en raison particulièrement de l'impact de cette sécheresse sur les nappes.

Pour faire face à cette situation, l'ONEP a élaboré un programme spécial sécheresse à partir d'une banque de projets concernant un certain nombre de centres et de localités rurales dont les études sont prêtes et les ressources confirmées et pouvant donc être engagés dès que les fonds nécessaires à leur financement, et qui sont estimés à 320 millions de Dirhams, seront mis à la disposition de l'office.

Ce programme qui concerne 110.000 habitants répartis sur 30 petits centres ruraux et 149 douars est décomposé en :

- Une première proposition pour la lutte contre les effets de la sécheresse évaluée à 160 millions de Dirhams pour les agglomérations limitrophes aux installations de l'ONEP ; et un certain nombre de petits centres ruraux où l'ONEP n'intervient pas posent des problèmes graves d'alimentation en eau potable. Certains de ces petits centres disposent d'études prêtes et de ressources en eau confirmées.
- Un programme complémentaire, dont le montant est évalué à 160 millions de Dirhams et qui comporte quelques petits centres ruraux et agglomérations, limitrophes aux installations de l'ONEP ou disposant d'autres ressources en eau confirmées, et dont les études seront achevées vers la fin de l'année 2000.

Ce programme permettra la création d'environ 500.000 journées de travail.

PROPOSITION ONEP D'UN PROGRAMME SPECIAL DE LUTTE CONTRE LES EFFETS DE LA SECHERESSE 2000

Priorité	Petits centres			Douars			POP Total	Coût Total en MDH	Journées de travail
	Nbre	POP	Coût MDH	Nbre	POP	Coût MDH			
Phase I (Etudes prêtes)	16	32000	129	52	16000	31	48000	160	248600
Phase II (Etudes en cours)	14	38000	103	97	24000	57	62000	160	249700
Total arrondi	30	70000	232	149	40000	88	110000	320	500000

PROGRAMME DE LUTTE CONTRE LES EFFETS DE LA SECHERESSE 2000

BACHRI M.¹

Des conditions climatiques défavorables ont affecté l'ensemble des secteurs vitaux dans le milieu rural :

- Les disponibilités en eau potable;
- La production céréalière;
- Le couvert végétal;
- etc...

CARACTERISTIQUES DE LA SECHERESSE

- Valeur ajoutée agricole : un manque à gagner de 9.000 milliard de Dh (27 %) par rapport à la moyenne des 10 dernières années et 22.000 MDH (48 %) par rapport à la campagne 1995-96;
- Une perte en emploi estimée à 52,5 Millions de journées de travail.

DISPOSITIONS PRISES

Un programme d'urgence de lutte contre les effets de la sécheresse a été décidé par le conseil du gouvernement du 24 Mars 2000.

Ce programme d'une enveloppe de 6.500 MDH sera réalisé sur une période de 15 mois.

Il s'articule autour de 7 axes principaux.

AXES DU PROGRAMME

1. L'approvisionnement en eau potable;
2. La sauvegarde du cheptel;
3. L'approvisionnement en céréales;
4. Le soutien du revenu agricole par la création de l'emploi;
5. Le report des échéances des crédits;
6. La sauvegarde du patrimoine forestier;
7. La mobilisation et la communication.

PRINCIPES D'ORIENTATION DU PROGRAMME

- L'exercice d'une véritable solidarité avec le monde rural à travers la mise en place d'un programme conséquent;
- Un démarrage rapide des actions sur le terrain pour faire face aux besoins urgents de la population;

- Une cohérence et une complémentarité des actions sur le terrain en mobilisant toutes les synergies dans une logique de développement rural local;
- Une bonne gouvernance du programme garantissant célérité, rigueur et transparence.

INVESTISSEMENTS ET EMPLOI

Objectifs

- Création d'opportunités d'emplois pour le soutien des revenus des populations rurales;
- Contribution à la limitation de l'exode rural;
- L'atténuation de la dégradation du pouvoir d'achat des agriculteurs en vue de leur permettre l'acquisition des denrées de base pour la consommation humaine et l'alimentation du cheptel.

Délai de réalisation

Le programme sera réalisé durant 15 mois en 3 phases comme suit :

- Phase I - Avril-Juin 2000 : de première urgence;
- Phase II - Juillet-Décembre 2000 : de soudure entre les deux campagnes agricoles;
- Phase III - Janvier-Juin 2000 : soutien aux revenus jusqu'à la fin de la campagne agricole suivante.

Modalités de passation des marchés et des dépenses

- Préparation des dossiers techniques en concertation avec les services provinciaux et régionaux du CGED;
- Participation des représentants provinciaux et régionaux du CGED et du Ministère de l'Economie et des Finances aux séances d'ouverture des plis, même si les sous-ordonnateurs n'ont pas accusé réception des délégations de crédits;
- Signature des procès verbaux de jugement des offres par les différents membres de la commission séance tenante;
- Visa des marchés par les services régionaux ou provinciaux du CGED dans un délai de 48 heures;
- Recours à la procédure négociée pour la première phase du programme.

Pour ce qui concerne le règlement des dépenses, il a été décidé ce qui suit :

¹ Ingénieur de Génie Rural, Direction des Aménagements Hydroagricole

- La création de régie et le relèvement du plafond des dépenses pour les opérations à réaliser. Des demandes doivent être formulées dans ce sens à la Trésorerie Générale du Royaume chaque fois que de besoin;
- Le règlement des décomptes et des bons de commandes ordonnancés dans un délai de 15 jours.

Etablissement des programmes

Le Comité Technique Provincial sera l'organe de validation et de supervision de la réalisation des opérations retenues au niveau de la province.

Coût

- L'enveloppe allouée : 4.215 MDH dont 246 MDH sont alloués à la sauvegarde du patrimoine forestier;
- Phase I : un montant de 767 MDH est alloué
- Répartition par province :

50 % selon le déficit en journée de travail;

- 50 % suivant la répartition provinciale de la population rurale.

Consistance

- Entretien des routes et pistes rurales;
- Construction des barrages collinaires;
- Irrigation et économie d'eau (Réhabilitation des périmètres de PMH et maintenance des réseaux d'irrigation);
- Production végétale;
- Infrastructures éducatives;
- Infrastructures de soins de santé de base.

Critères des opérations du programme

- Etre à forte intensité en main d'œuvre locale;
- Répondre aux attentes des populations locales;
- Créer les synergies entre les différents projets.

SOCIETE DES TRAVAUX AGRICOLES MAROCAINS

STAM

S.A. AU CAPITAL DE 20.045.000 DH

10, Route d'El jadida - Guynemer - Rue N° 3 - Villa 23 - Hay Hassani - CASABLANCA

Tél. : 022.23.31.66 - 022.23.36.04/05 - 022.25.69.64 - 022.25.33.04 - Fax: 022.25.69.10 - Télex : 21928

ATELIER : Km 10, Route côtière 111 Aïn Sebaâ - Tél. : 022.35.37.53 - 022.35.90.60 - CASABLANCA

**SPECIALISEE DANS LES TRAVAUX
DE MISE EN VALEUR DES TERRES :
DEFRICHEMENT - NIVELLEMENT
DRAINAGE - ASSAINISSEMENT
TERRASSEMENT**

PROMOTION DE L'IRRIGATION LOCALISEE AU SERVICE DE L'ECONOMIE DE L'EAU DANS LE PERIMETRE DE LA MOULOUYA

C.TIZAOUI¹

RESUME

Le périmètre irrigué de la Basse Moulouya est caractérisé par des ressources en eau limitées. A cet effet, la reconversion du mode d'irrigation gravitaire actuel à la parcelle en irrigation localisée constitue l'un des principaux axes d'intervention de l'ORMVAM parmi d'autres pour l'amélioration de l'efficacité globale de l'irrigation.

Les caractéristiques principales de l'irrigation localisée sont définies ainsi que la composition et le calcul des installations de microirrigation dans le cas de la zone et les performances escomptées suite à une éventuelle reconversion du système actuel d'irrigation.

Ensuite, il est procédé à une évaluation financière sommaire des projets de reconversion du système d'irrigation gravitaire à la parcelle en irrigation localisée (cas des agrumes) pour différentes superficies et selon la nature du revêtement des parois internes du bassin d'accumulation d'eau.

Enfin, un diagnostic est effectué relatif à la situation des superficies équipées en matériel de microirrigation jusqu'à présent et les superficies ayant fait l'objet d'études techniques en mettant l'accent sur les mesures d'incitation instaurées par l'état et l'ORMVAM en tant qu'organisme gestionnaire pour encourager l'extension de ce mode d'irrigation dans la zone.

Mots clés : Irrigation, localisée, gravitaire, efficacité, reconversion.

INTRODUCTION

Le périmètre irrigué de la Basse Moulouya connaît des pénuries d'eau de plus en plus fréquentes et répétitives menaçant le développement économique et social acquis à l'aval du barrage grâce à l'irrigation.

En effet, Le barrage Mohamed V qui représente actuellement une retenue d'environ 403 Mm³ (retenue initiale utile de 730 Mm³) devrait desservir le périmètre irrigué qui s'étend sur une superficie de 65.400 ha en grande hydraulique. La baisse sans cesse de la capacité utile du barrage, due à l'envasement, et les apports assez faibles de l'oued Moulouya risquent de compromettre l'irrigation du périmètre de la Moulouya si aucune mesure de renforcement du barrage n'est entreprise. Cette situation préoccupe énormément les gestionnaires aussi bien à l'ORMVAM qu'à l'échelle nationale et interpelle les responsables sur la nécessité de mettre en œuvre les actions susceptibles de réduire l'impact de la sécheresse.

L'eau, considérée comme une ressource qui devient rare dans le périmètre de la Moulouya, soulève comme première question la lutte contre le gaspillage d'eau pour mieux satisfaire la demande agricole, faire face à la demande des usagers non agricoles notamment l'alimentation en eau potable et industrielle, mieux répondre aux conditions de sécheresse et conserver la ressource.

Les solutions modernes pour l'économie de l'eau en agriculture se placent à différents niveaux :

1. tout d'abord, Au niveau de l'exploitation agricole, où la décision est individuelle, elle revient à l'exploitant.
2. Ensuite, au niveau du réseau d'irrigation collectif exploité par l'ensemble des agriculteurs utilisant la même source d'eau ;
3. Enfin, au niveau du bassin hydrographique, lequel correspond à la décision relative aux allocations d'eau entre les secteurs usagers et aux règles de contrôle environnemental.

¹ Ingénieur GR- Service GRID - ORMVAM

Ainsi, l'économie de l'eau passe nécessairement et en premier lieu par l'amélioration de l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle moyennant l'introduction des techniques modernes qui s'adaptent au contexte socio-économique de la région.

I- MESURES D'ATTENUATION DE L'IMPACT DE LA PENURIE D'EAU DANS LE PERIMETRE

Vu que le problème de sécheresse est devenu structurel au niveau de la zone de la Moulouya et pour répondre aux exigences d'économie d'eau dans le périmètre irrigué, l'ORMVAM a défini un plan d'action dont les principaux axes sont :

- 1-1- Rationalisation de la distribution de l'eau
- 1-2- Réhabilitation et maintenance
- 1-3- Expérimentation
- 1-4- Reconversion du système d'irrigation gravitaire à la parcelle en irrigation localisée

Le mode d'irrigation le plus répandu dans le périmètre de la Moulouya est le système gravitaire traditionnel appelé « Robta ». Cette technique qui nous a été laissée par nos ancêtres ne répond plus au contexte actuel d'utilisation de l'eau. La question qui se pose : Y a-t-il une place pour l'irrigation gravitaire de nos jours ?

La réponse est affirmative vu qu'il est possible de mécaniser et d'automatiser l'irrigation de surface, tout en atteignant des efficacités comparables à celles des méthodes sous pression. Cela à condition d'utiliser le nivellement de précision avec control laser et de mettre à la disposition des agriculteurs des équipements adéquats pour le travail du sol et des équipements pour l'application de l'eau en tête de parcelle. Il en résulte des techniques de gestion plus exigeantes, qu'il s'agisse de l'irrigation par sillons longs ou de l'irrigation par bassin à pente nulle. La modernisation des réseaux collectifs de distribution est aussi souhaitable pour permettre la disponibilité des débits plus forts et constants aux prises d'eau à la parcelle.

Par contre, l'irrigation traditionnelle par rigoles est condamnée à court terme : les besoins en main d'œuvre sont très importants, l'uniformité de distribution et d'efficacité de l'irrigation ne peuvent être acceptées dans les conditions actuelles de pénurie d'eau dans le périmètre.

Concernant l'irrigation par aspersion couvrant 13500 ha dans la plaine du Garet, on observe fréquemment des mauvaises uniformités de distribution et des pertes abondantes par l'utilisation d'un matériel mobile en mauvais état.

Quant à l'irrigation localisée, ne couvrant actuellement qu'une superficie d'environ 1000 hectares, bien qu'elle soit prometteuse, c'est une technique qui reste

moins adoptée dans la zone. Ceci est dû à plusieurs raisons qu'on citera ultérieurement. Son succès est marqué surtout dans les zones caractérisées par des facteurs limitant : pénurie d'eau, conditions de salinité, sol pierreux ou peu profond.

Conscient du fait que l'économie de l'eau à la parcelle est toujours la première étape dans tout programme d'économie d'eau, l'ORMVA de la Moulouya insiste sur l'amélioration des systèmes d'irrigation à la parcelle en tant que composante essentielle pour atteindre des niveaux d'efficacité globale satisfaisants.

Ainsi, pour mettre en évidence l'importance des systèmes d'irrigation localisée comme mode d'irrigation visant principalement l'économie d'environ 50 % en eau d'irrigation par rapport au mode gravitaire, l'ORMVA de la Moulouya a procédé à :

- La création d'une cellule d'études et de suivi de ces projets au niveau du Service de la Gestion des Réseaux d'Irrigation et de Drainage de l'ORMVAM ;
- L'équipement de la SEMVA Slimania en matériel d'irrigation localisée;

Par ailleurs, l'ORMVA de la Moulouya prendra toutes les mesures qui s'imposent pour encourager les agriculteurs à adopter les techniques économes en eau d'irrigation et particulièrement la technique d'irrigation localisée, permettant des niveaux de production acceptables et s'adaptant au contexte socio-économique de la région ; Parmi ces mesures on cite :

- L'étude technico-économique de reconversion du réseau collectif d'irrigation gravitaire dans la plaine des Triffa pour voir les différentes variantes possibles à l'adoption du mode d'irrigation localisée ;
- La mise en place d'une cellule pluridisciplinaire pour l'encouragement des investissements privés et en particulier les projets d'irrigation localisée pour suivre les investisseurs du secteur agricole dans le périmètre au cours de toutes les étapes de leurs projets à savoir l'étude du sol, les cultures possibles, l'étude hydraulique et l'étude financière;
- L'organisation de plusieurs journées de sensibilisation et d'études au niveau du siège et des subdivisions au profit des agriculteurs et assurer leur formation dans ce domaine afin d'adopter les techniques économes en eau d'irrigation.
- L'incitation des agriculteurs au renouvellement des plantations âgées pour l'adoption de la technique d'irrigation localisée ;
- La poursuite des équipements en matériel d'irrigation localisée des stations expérimentales de l'ORMVAM

II- METHODE D'IRRIGATION LOCALISEE

2-1- Caractéristiques de l'irrigation localisée

L'irrigation localisée à basse pression permet une grande économie d'eau par rapport aux autres méthodes (de l'ordre de 50%), Grâce à son efficacité de distribution élevée suite à une bonne uniformité de distribution et de plus faibles pertes par évaporation directe du sol (au moins avec l'irrigation «goutte à goutte»). Aussi, le besoin brut en eau de la culture se trouve réduit par un coefficient de réduction dépendant du taux de couverture du sol par la culture en projection verticale (tableau 1) ; Elle tend à se répandre surtout dans les milieux où les ressources en eau sont limitées.

Le besoin en eau des cultures en microirrigation est donné par l'équation suivante :

$$Bb = (ETo \times Kc \times Kr) / (E/100)$$

avec :

- Bb : besoin brut en tête de parcelle en mm/j ;
- ETo : évapotranspiration de référence en mm/j ;
- Kc : coefficient cultural ;
- Kr : coef. de réduction qui dépend du taux de couverture du sol par la culture (CS) ;
Kr = CS/0.85 (Keller et Karmeli) : Bulletin FAO N° 36;
- E : efficacité d'application de l'eau à la parcelle (de l'ordre de 90 %).

D'autres formules existent pour le calcul du coefficient Kr qui dépendent toutes du taux CS.

Tableau 1 : Valeurs de Kr résultant des diverses formules proposées (Bulletin FAO N° 36)

Taux de couverture du sol %	Kr selon		
	Keller et Karmeli	Freeman et Gazoli	Decroix (CTGREF)
10	0.12	0.10	0.20
20	0.24	0.20	0.30
30	0.35	0.30	0.40
40	0.47	0.40	0.50
50	0.59	0.75	0.60
60	0.70	0.80	0.70
70	0.82	0.85	0.80
80	0.94	0.90	0.90
90	1	0.95	1
100	1	1	1

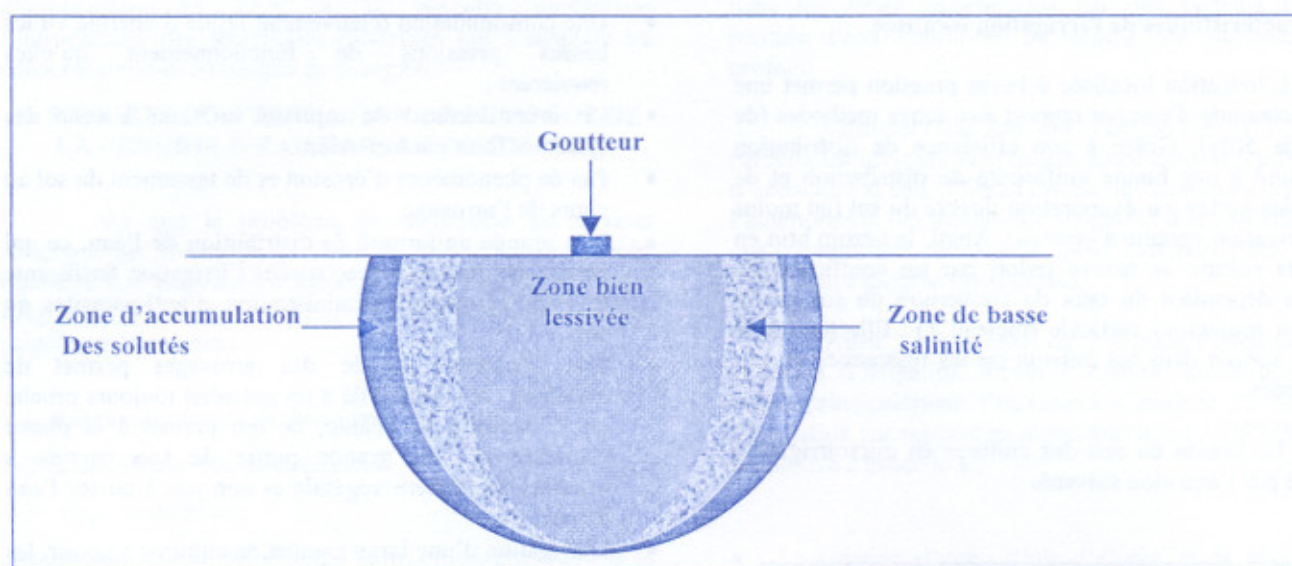
Ce groupe de méthodes d'irrigation et le goutte à goutte en particulier permet non seulement l'économie de l'eau mais aussi :

- L'automatisation complète avec une économie importante de main d'œuvre ;
- Une consommation relativement faible d'énergie vu les basses pressions de fonctionnement qu'elles requièrent ;
- Un investissement de capitaux inférieur à celui des systèmes fixes par aspersion.
- Pas de phénomènes d'érosion et de tassement du sol au cours de l'arrosage ;
- Une grande uniformité de distribution de l'eau, ce qui permet de pratiquer avec succès l'irrigation fertilisante et éventuellement l'administration d'anti-parasites au sol ;
- Une fréquence élevée des arrosages permet de maintenir le sol mouillé à un potentiel toujours proche de la capacité au champ, ce qui permet à la plante d'utiliser la plus grande partie de son énergie à produire sa matière végétale et non pas à puiser l'eau du sol ;
- L'irrigation d'une large gamme de cultures à savoir, les cultures herbacées avec paillis (la fraise par exemple) et les cultures protégées. En plein champ, elles sont de plus en plus appliquées non seulement aux cultures arboricoles mais aussi aux cultures maraîchères ou repiquées en rangs espacés ou jumelés (tomate, artichauts, poivron, melon,...).

Toutefois, ce système a aussi des inconvénients entre autres :

- L'occlusion possible des distributeurs, en particulier les goutteurs, ce qui peut être évité en filtrant l'eau par des types de filtres divers ou combinés suivant le matériel en suspension dans l'eau d'irrigation ;
- La réduction plus au moins importante du volume du sol mouillé et par conséquent, activement explorée par les racines suivant le niveau de localisation de l'eau qui dépend du nombre de distributeurs par unité de superficie du sol, des caractéristiques du sol (granulométrie et variabilité le long du profil), du type et du débit du distributeur utilisé et du volume d'arrosage apporté ;
- L'accumulation des solutés au bord du volume du sol mouillé (bulbe humidifié, voir figure 1) qui, en cas d'utilisation d'eau saumâtre, pourrait créer des problèmes à la culture successive si les solutés qui se sont accumulés à la surface n'ont pas été lessivés avant le semis ou le repiquage par la pluie naturelle ou l'irrigation lessivante ;
- Le développement des parasites dans les aires à proximité des goutteurs en particulier dans les sols argileux ;
- La difficulté d'adaptation de la livraison de l'eau aux usagers par tour sauf si des bassins d'accumulation sont installés au sein de l'exploitation agricole ;

figure 1 : Le bulbe humidifié en goutte à goutte et zones d'accumulation des solutés



Comme l'irrigation localisée crée une faible réserve dans la zone racinaire, elle nécessite de courts tours d'arrosage et de faibles volumes d'irrigation. Les tours d'arrosage, pour les cultures arboricoles peuvent varier d'une fréquence journalière dans les sols sableux à trois jours dans les sols argileux. Par ces méthodes, en irriguant de sorte à maintenir le potentiel de l'eau dans le sol presque toujours près de la capacité au champ, il se crée, dans le volume de sol mouillé, un flux d'eau et de soluté plus au moins continu de la zone au dessous du distributeur vers le front d'humectation. Cette situation rend dans certaines limites les méthodes d'irrigation localisées adéquates surtout le goutte à goutte à l'utilisation des eaux saumâtres et elles imposent la pratique de l'irrigation fertilisante pour l'application des engrais azotés ou d'autres si nécessaire. Pour les cultures arboricoles, l'espacement entre les rampes porte goutteurs et entre les distributeurs sur la rampe dépend de la technique de culture, de l'espèce à irriguer, du type de distributeur et des caractéristiques du sol. Dans le cas du goutte à goutte l'espacement entre les goutteurs sur la rampe porte goutteurs devrait être tel qu'à la fin de l'arrosage, une bande continue de sol mouillé apparaît le long de la rampe. D'après ce critère la distance entre les goutteurs sur la rampe pourrait varier de 30 centimètres pour les sols sableux à 130 centimètres pour les sols argileux. Le pourcentage de la superficie sous irrigation est faible en localisée comparativement aux autres méthodes d'irrigation comme indiqué au tableau 2, il dépend de l'emplacement de l'émetteur, de la pression de son fonctionnement et de son débit horaire. Ces paramètres

La caractéristique principale des méthodes d'irrigation localisée est leur adaptabilité aux différentes situations de l'exploitation agricoles.

Tableau 2 : Pourcentage de la superficie sous irrigation recommandées pour les différents systèmes d'irrigation (Albert Avidan, 1994)

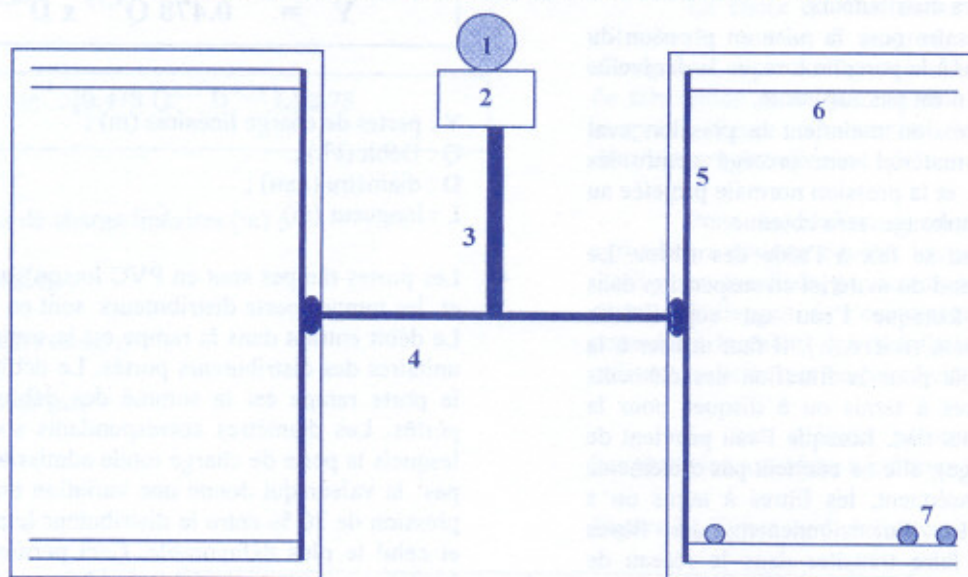
Système d'irrigation	Pourcentage de la superficie sous irrigation
Aspersion	100
Microaspersion	50-75
Goutte à goutte	30-70

2-2- Composition et calcul d'une installation d'irrigation localisée

Une installation d'irrigation localisée comprend, de l'amont vers l'aval (figure 2) :

- La ressource en eau (1) ;
- La station de tête (2) ;
- Les canalisations principales (3) et secondaires (4) ;
- Le (s) porte rampes (5) ;
- Les rampes (6) ;
- Les distributeurs (7).

figure 2 : Schéma d'une installation d'irrigation localisée



L'eau peut provenir soit d'une installation individuelle (puits ou forage) ou d'un réseau collectif. Dans le cas du périmètre irrigué de la Moulouya, les eaux de la nappe sont généralement de mauvaise qualité et les exploitations agricoles sont irrigués à partir des eaux du barrage délivrées en têtes de parcelles à l'aide de prises modulées. Le réseau d'irrigation est à tour d'eau et par conséquent, les projets d'équipement en irrigation localisée doivent prévoir des bassins d'accumulation d'eau pour l'irrigation fréquente (journalière) de l'exploitation. Les bassins doivent être dimensionnés pour stocker un volume d'eau correspondant au besoin en eau de l'exploitation pour le mois de pointe.

Le revêtement des parois internes du bassin peut être soit rigide (béton armé) soit souple (géomembrane plastique).

2.2.2 – La station de tête

La station de tête comporte les éléments nécessaires au conditionnement de l'eau et la sécurité de fonctionnement de l'installation.

Conditionnement de l'eau

Types de conditionnement	Opérations	Appareils
Control des apports	Comptage	Compteur
Hydraulique	Control de la pression	Pompes, régulateurs de pression
Propreté	Filtration	Filtres
Apport d'engrais et de produits de traitement	Traitement de l'eau	Fertilisateurs, pompes doseuses
Organisation des arrosages	Programmation	Vannes volumétriques, programmeur

Sécurité de fonctionnement

Protection contre :	Matériel adapté
La pollution	Clapet anti-retour
Les surpressions	Soupape de décharge, Régulateur de pression
La présence de l'air	Ventouses

- Le compteur d'eau en tête du réseau est indispensable pour une vérification régulière du débit et détecter un limonage éventuel des distributeurs.
- La pompe est nécessaire pour la mise en pression du réseau de distribution à la parcelle lorsque la dénivellée entre la tête et l'aval n'est pas suffisante.
- Le régulateur de pression maintient la pression aval constante, ainsi le matériel sera protégé contre les pressions excessives et la pression normale projetée au niveau des postes d'arrosage sera obtenue.
- La filtration de l'eau se fait à l'aide des filtres. Le choix des filtres dépend du matériel en suspension dans l'eau d'irrigation. Lorsque l'eau est superficielle (bassin d'accumulation, rivière,...), il faut utiliser à la fois les filtres à sable pour la filtration des éléments grossiers et les filtres à tamis ou à disques pour la filtration des éléments fins. Lorsque l'eau provient de la nappe (puits, forage), elle ne contient pas d'éléments grossiers et par conséquent, les filtres à tamis ou à disques suffisent. Le dimensionnement des filtres dépend du débit à faire transiter dans le réseau de distribution.
- L'administration des engrais sous formes de fractions dans l'eau d'irrigation se fait à l'aide des fertilisateurs. En effet, l'apport localisé des fertilisants selon le besoin et le stade végétatif de la culture sous une forme facilement assimilable augmente leur efficacité.
- L'automatisation des installations se fait pour le fonctionnement (marche-arrêt), la conduite des arrosages (satisfaction des besoins en eau des cultures) et la fertilisation.
- Le retour de l'eau à la source est évité grâce au clapet anti-retour.
- Les surpressions sont évitées grâce à la soupape de décharge.
- L'évacuation et l'entrée de l'air se font à l'aide des ventouses.

2.2.3 – Le transport et la distribution de l'eau

- Les conduites d'amené sont généralement en PVC ; elles transportent l'eau entre la station de tête et les différents postes d'arrosage. Le débit à transiter est celui nécessaire à l'alimentation d'un poste d'arrosage. Le diamètre est celui permettant une vitesse proche de 1.5 mètres par seconde pour le débit donné :

$$D = [4Q / (\pi V)]^{1/2}$$

V : vitesse en m/s ;
 Q : débit en m³/s ;
 D : diamètre de la conduite en m ;

L'équation de calcul de la perte de charge correspondante au diamètre calculé est la suivante (Service d'extrémité) :

$$Y = 0.478 Q^{1.75} \times D^{-4.75} L$$

Y : pertes de charge linéaires (m) ;
 Q : Débit (l/h) ;
 D : diamètre (mm) ;
 L : longueur (m).

- Les portes rampes sont en PVC lorsqu'ils sont enterrés et les rampes porte distributeurs sont en polyéthylène. Le débit entrant dans la rampe est la somme des débits unitaires des distributeurs portés. Le débit entrant dans la porte rampe est la somme des débits des rampes portés. Les diamètres correspondants sont ceux pour lesquels la perte de charge totale admissible ne dépasse pas la valeur qui donne une variation maximale de la pression de 20 % entre le distributeur le plus favorable et celui le plus défavorable. Ceci permet d'avoir une variation maximale du débit de 10 % et par conséquent une uniformité de distribution supérieure à 90 %.

Les différentes équations pour le calcul des paramètres sus dits sont les suivantes :

- **Equation caractéristique du distributeur (loi débit-pression) :**

$$Q = k h^x$$

Q : débit du distributeur (l/h) ;
 h : pression de fonctionnement du distributeur ;
 k : constante.

- **Variation maximale du débit et de la pression :**
 $(q_{\max} - q_{\min}) / q_{\text{moy}} = 0.10 = x (h_{\max} - h_{\min}) / h_{\text{moy}}$

$$h_{\max} - h_{\min} = 0.10 h_{\text{moy}} / x$$

q_{max} : débit du distributeur fonctionnant à la pression maximale (l/h) ;
 q_{min} : débit du distributeur fonctionnant à la pression minimale (l/h) ;
 q_{moy} : débit du distributeur fonctionnant à la pression moyenne (l/h) ;
 x : exposant de la pression dans l'équation caractéristique du distributeur ;
 h_{max} : pression de fonctionnement du distributeur le plus favorable (mce) ;
 h_{min} : pression de fonctionnement du distributeur le plus défavorable (mce) ;
 h_{moy} : pression nominale de fonctionnement du distributeur (mce) ;

- Equation de calcul des pertes de charge (service en route) :

$$Y = [0.478 Q^{1.75} D^{-4.75} L] / 2.75$$

Y : pertes de charge linéaires (m) ;

Q : Débit (l/h) ;

D : diamètre (mm) ;

L : longueur (m).

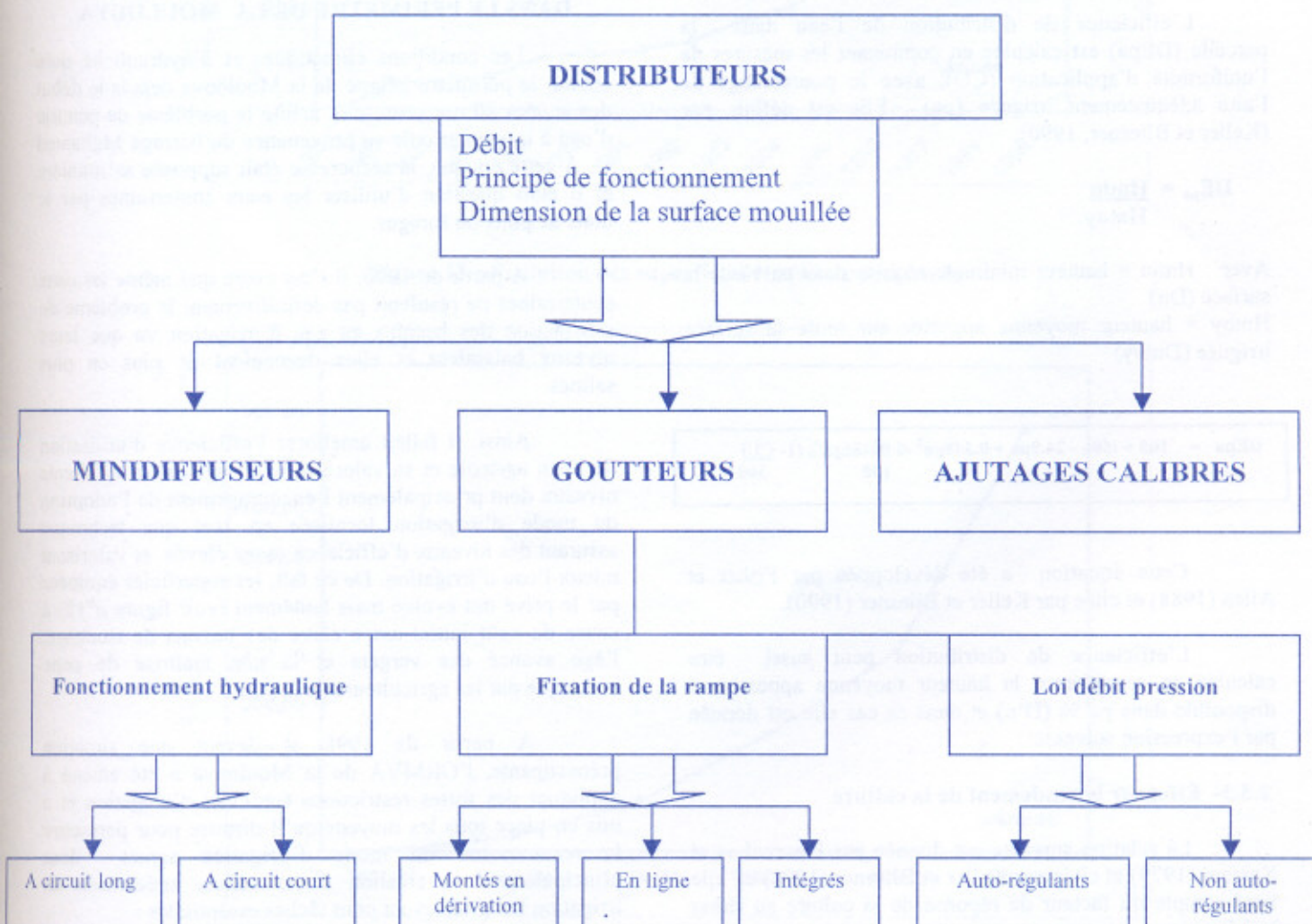
2.2.4 – Les distributeurs

Le choix du distributeur dépend de la nature du sol, de la culture à irriguer, de la qualité de l'eau d'irrigation, de la configuration de la parcelle, de la qualité de fabrication et du prix du distributeur. L'organigramme ci-après (figure 3) montre les différents types de distributeurs actuellement commercialisés.

Pour la réalisation des études au profit des agriculteurs désirant équiper leurs exploitations en matériel d'irrigation localisée, plusieurs sous programmes que nous avons développés à l'ordinateur en Turbo Pascal 6.0 permettent le calcul des installations d'irrigation localisée, utilisant les principes de calcul cités ci-dessus.

Le cas d'étude présenté en annexe relatif à l'exploitation « Kaddar » est donné à titre d'exemple.

Figure 3 : Types de distributeurs



2.3 – Critères de performance des systèmes d'irrigation localisée

2.3.1- L'uniformité de distribution

Karmeli et Keller (1975) ont proposé d'évaluer l'uniformité de distribution comme suit :

$$CU = 100 (1 - 1.27 \cdot Cvt) \cdot \frac{q_{min}}{q_m}$$

- CU : coefficient d'uniformité du projet, %;
 Cvt : coefficient de variation technologique des distributeurs;
 q_{min} : débit du distributeur du poste, fonctionnant à la pression minimale (l/h);
 q_m : débit du distributeur moyen (l/h);

2.3.2 – L'efficience

L'efficience de distribution de l'eau dans la parcelle (DE_{pa}) est calculée en combinant les mesures de l'uniformité d'application (CU), avec le pourcentage de l'aire adéquatement irriguée (pa). Elle est définie par (Keller et Bliesner, 1990):

$$DE_{pa} = \frac{H_{min}}{H_{moy}}$$

Avec : H_{min} = hauteur minimale requise dans pa % de la surface (D_n)

H_{moy} = hauteur moyenne apportée sur toute la surface irriguée (D_{moy})

$$DE_{pa} = 100 + \frac{(606 - 24.9pa + 0.349pa^2 - 0.00186pa^3)(1 - CU)}{100}$$

Cette équation a été développée par Fisher et Allen (1988) et citée par Keller et Bliesner (1990).

L'efficience de distribution peut aussi être calculée en considérant la hauteur moyenne apportée et disponible dans pa % (D'n) et dans ce cas elle est donnée par l'expression suivante:

2.3.3- Effet sur le rendement de la culture

La relation suivante est donnée par Doorenbos et Kassam (1979) et citée par Keller et Bliesner (1990) et elle tient compte du facteur de réponse de la culture au stress hydrique:

$$(1 - Y_a/Y_p) = Ky [1 - (ETR/ETM)] = Ky [1 - (D'n/D_n)]$$

$$Y_a/Y_p = [1 - Ky(1 - (D'n/D_n))]$$

avec : $\frac{D'n}{D_n} = \frac{DE'_{pa}}{DE_{pa}}$

D'où : $Y_a/Y_p = [1 - Ky(1 - (DE'_{pa}/DE_{pa}))]$

100.(Y_a /Y_p) : pourcentage relatif de la production potentielle;

- Ky : facteur de réponse de la culture;
 ETR : évapotranspiration réelle de la culture (mm/j);
 ETM : évapotranspiration maximale de la culture (mm/j);
 D'n : hauteur moyenne de l'eau apportée et disponible à la culture(m);
 D_n : hauteur minimale de l'eau requise dans pa% de la surface (m).

III- SITUATION DE L'IRRIGATION LOCALISEE DANS LE PERIMETRE DE LA MOULOUYA

Les conditions climatiques et d'hydraulicité qu'a connu le périmètre irrigué de la Moulouya depuis le début des années 80 ont posé avec acuité le problème de pénurie d'eau à usage agricole en provenance du barrage Mohamed V. A cette époque, la sécheresse était supposée saisonnière et il était question d'utiliser les eaux souterraines par le biais de puits ou forages.

A partir de 1990, il s'est avéré que même les eaux souterraines ne résolvait pas définitivement le problème de satisfaction des besoins en eau d'irrigation vu que leurs niveaux baissaient et elles devenaient de plus en plus salines.

Ainsi, il fallait améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau agricole et sa valorisation en agissant à différents niveaux dont principalement l'encouragement de l'adoption du mode d'irrigation localisée en tant que technique assurant des niveaux d'efficience assez élevés et valorisant mieux l'eau d'irrigation. De ce fait, les superficies équipées par le privé ont évolué mais lentement (voir figure n°12) à cause du coût initial assez élevé des bassins de stockage, l'âge avancé des vergers et la non maîtrise de cette technique par les agriculteurs de la zone.

A partir de 1998 et devant une situation préoccupante, l'ORMVA de la Moulouya a été amené à appliquer des fortes restrictions sur l'eau d'irrigation et a mis en place tous les moyens qu'il dispose pour permettre la reconversion du mode d'irrigation actuel dont principalement la création d'une cellule spécialisée en irrigation localisée ayant pour tâches essentielles :

- La réalisation des études techniques au profit des agriculteurs intéressés (voir figure n°13).
- Le suivi des travaux d'exécution des projets d'équipement en irrigation localisée.

figure 12 : Evolution des superficies équipées cumulées

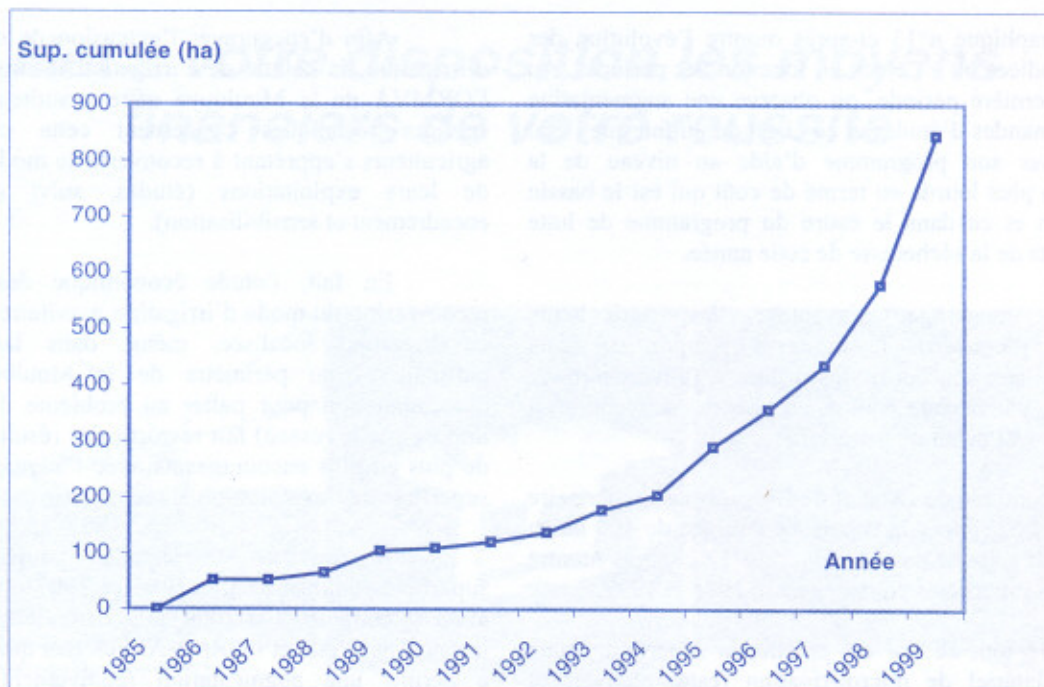
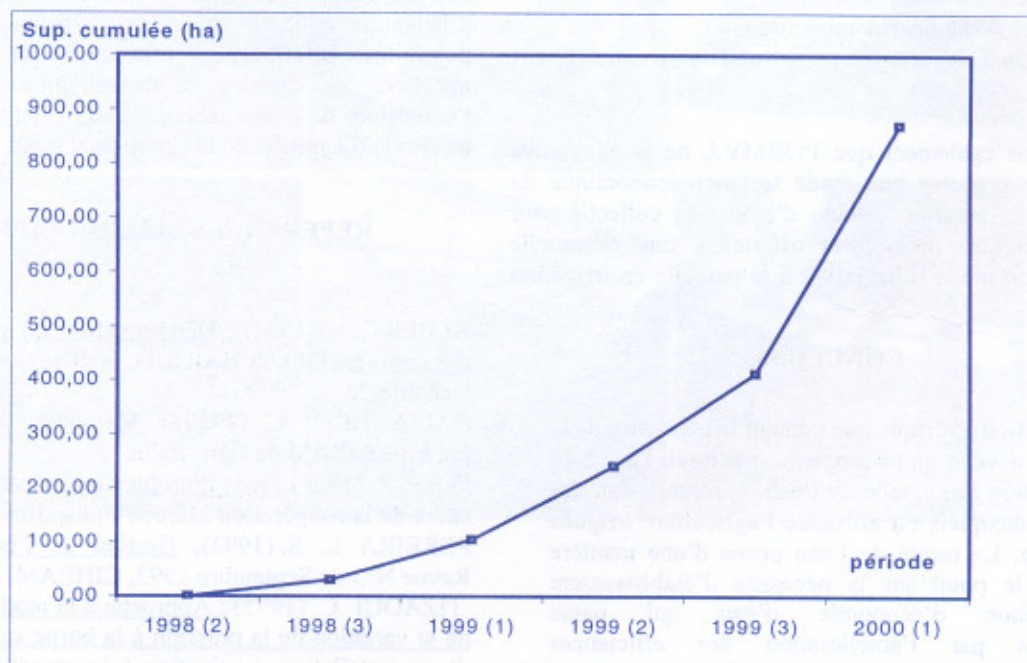


Figure 13 : Evolution des superficies étudiées ou en étude



Cette cellule a réalisé jusqu'au 30/04/2000 environ 70 études pour une superficie d'environ 500 hectares sur 126 études demandées (880 ha).

- Le graphique n°13 ci-après montre l'évolution des superficies étudiées ou à l'étude en fonction des périodes. Au cours de la dernière période, on observe une augmentation rapide des demandes d'études et ce ci est du au fait que l'état prévoit appuyer son programme d'aide au niveau de la composante la plus lourde en terme de coût qui est le bassin d'accumulation et ce dans le cadre du programme de lutte contre les effets de la sécheresse de cette année.

Pour encourager davantage les agriculteurs s'appropriant à reconverter le mode d'irrigation de leurs exploitations, l'état a accordé des primes à l'investissement de 2000 DHS par hectare équipé, en plus des subventions à hauteur de 30% à l'achat du matériel.

Cette optique de l'état et de l'organisme gestionnaire a permis de faire grimper la superficie équipée de 400 ha en 1997 à 1000 ha actuellement. La figure n°12 ci-après montre l'évolution des superficies équipées entre 1985 et 1999.

Malgré tout ce qui est précité, la superficie totale équipée en matériel de microirrigation reste relativement faible par rapport à la superficie totale du périmètre irrigué et ceci est du à plusieurs raisons dont on cite :

- Le coût d'aménagement des bassins d'accumulation assez élevé (voir chapitre III) ;
- Dominance de la microexploitation;
- L'âge avancé des vergers pénalisant la réussite de ces projets.

Notons également que l'ORMVA de la Moulouya est entrain de préparer une étude technico-économique de reconversion du système actuel d'irrigation collectif pour voir les différentes possibilités offertes à une éventuelle reconversion du mode d'irrigation à la parcelle en irrigation localisée.

CONCLUSION

Le déficit hydrique que connaît le périmètre de la Moulouya est devenu un phénomène structurel. Face à ce fléau, l'utilisation rationnelle de l'eau représente l'un des défis majeurs auxquels est affrontée l'agriculture irriguée dans la région. La rareté de l'eau posée d'une manière sérieuse met le point sur la nécessité d'établissement d'une politique d'économie d'eau qui passe nécessairement par l'amélioration des efficacités d'irrigation.

La méthode d'irrigation localisée, en tant que technique nécessaire à adopter dans les zones irriguées marquées par le problème de pénurie d'eau et assurant plusieurs avantages dont principalement l'économie

d'une quantité importante en eau d'irrigation et sa valorisation représente le mode d'irrigation le plus approprié dans notre périmètre.

Afin d'encourager l'extension de cette pratique d'irrigation, la cellule de l'irrigation localisée créée par l'ORMVA de la Moulouya offre gratuitement tous les services techniques concernant cette méthode aux agriculteurs s'appropriant à reconverter le mode d'irrigation de leurs exploitations (études, suivi des travaux, encadrement et sensibilisation).

En fait, l'étude économique des projets de reconversion du mode d'irrigation gravitaire à la parcelle en irrigation localisée, même dans les conditions particulières au périmètre de la Moulouya (bassins d'accumulation pour palier au problème du tour d'eau imposé par le réseau) fait ressortir des résultats positifs et de plus en plus encourageants avec l'augmentation de la superficie de l'exploitation à reconverter.

Il convient de signaler pourtant que les superficies équipées entre 1985 et 1997 ont peu évolué alors qu'entre 1998 et 2000, le système d'appui et d'aide instauré par l'état et l'ORMVAM en tant que gestionnaire a permis une augmentation relativement rapide des superficies équipées. Cependant, cette superficie reste tout de même assez faible par rapport à la superficie totale du périmètre irrigué et la contrainte est le coût assez élevé des bassins de stockage. Dans ce sens, il y a lieu de mener une étude de reconversion du système d'irrigation collectif actuel en mettant l'accent sur les possibilités offertes pour encourager les agriculteurs à installer les bassins d'accumulation principale à l'extension de cette technique d'irrigation soulevée à travers le diagnostic de la situation actuelle

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ALBERT A. (1994) ; Détermination du régime d'irrigation des cultures. Edition HAIGUD, Société pour le transfert de la technologie.
- CALIANDRO A. (1989) ; Méthodes d'irrigation. Cours présenté à l'IAM de Bari, Italie.
- IVES P. (1998) ; Irrigation localisée. Cours présenté dans le cadre de la coopération Maroc-Française.
- PEREIRA L. S. (1993) ; Gestion de l'eau en agriculture. Revue N°3 de Septembre 1993, CIHEAM.
- TIZAOUI C. (1995) ; Approche à la modélisation des effets de la variation de la pression à la borne sur les performances d'une installation d'irrigation à la parcelle. Mémoire de fin d'étude présenté à l'IAM de Bari, Italie.
- VERMEREN L. (1983) ; L'irrigation localisée, calcul, mise en place, exploitation, control du fonctionnement. Bulletin N°36 de la FAO

VALORISATION DE L'EAU D'IRRIGATION PAR LES PRODUCTIONS VEGETALES DANS LES GRANDS PERIMETRES IRRIGUES AU MAROC

Par MOGHLI E. et BENJELLOUN TOUIMI M.¹

I- L'EAU : UN FACTEUR DE PRODUCTION AGRICOLE RARE ET CHERE

L'eau constituera la principale ressource limitant le développement dans le bassin Méditerranéen à partir du début du 21^{ème} siècle. Le Maroc, avec le développement économique et social qu'il connaît, sera confronté à un grand défi : la rareté de l'eau.

Les ressources en eau au Maroc sont potentiellement limitées. Les eaux mobilisables par les moyens technologiques actuels s'élèvent à 21 milliards m³. La concurrence sur ces ressources ne cesse de se sentir plus amplement entre les différents secteurs utilisateurs, à savoir l'agriculture, l'eau potable et l'industrie. Le secteur agricole, grand consommateur avec 92% des eaux mobilisées est ainsi appelé à utiliser à bon escient l'eau d'irrigation à travers une meilleure valorisation technique, économique et sociale de cette ressource et, surtout, sa préservation pour les générations futures.

En plus de la rareté imminente de la ressource hydrique, la mobilisation de l'eau agricole (comme d'ailleurs pour les autres secteurs) nécessite de lourds investissements, consentis jusqu'à présent par l'Etat. Pour les mobilisations futures, la contribution des utilisateurs privés ne tardera pas à s'imposer.

Aussi, les sécheresses successives qui ont sévi durant les deux dernières décennies laisse penser que le déficit pluviométrique est une donnée structurelle de notre pays.

Il s'ensuit que le sous-secteur irrigué aura un rôle de plus en plus important à jouer pour une plus grande participation à la sécurité alimentaire et subvenir aux besoins de plus en plus pressants et importants, en quantité et en qualité, des exportations marocaines. Ce sous-secteur est donc appelé à produire plus et mieux, avec la même quantité d'eau disponible, sinon avec moins, et ce, tout en préservant le patrimoine productif comprenant aussi bien le milieu (la terre avec sa fertilité et sa viabilité) que le principal facteur de production qui est l'eau d'irrigation (disponibilité de la ressource, viabilité des réseaux de transport et de distribution).

Partant de ces considérations, la notion de valorisation de l'eau d'irrigation requiert des dimensions multiples :

- La dimension de l'optimisation et de la fiabilité des systèmes de production actuels ;
- La dimension de la productivité, de la rentabilité et de la compétitivité ; et
- la dimension de la durabilité, de la viabilité et de la sauvegarde du patrimoine productif.

La valorisation de l'eau d'irrigation, notamment par les productions végétales constitue un exemple concret qu'il est important d'analyser afin d'en tirer les enseignements utiles pour une redéfinition de la politique agricole dans le sous-secteur de l'irrigué.

II- NIVEAUX ACTUELS DE VALORISATION DE L'EAU D'IRRIGATION PAR LES PRODUCTIONS VEGETALES

2-1- Une intensification agricole assez moyenne et un assolement équilibré

L'analyse des réalisations des cinq dernières années en matière de superficies cultivées montre une intensification insuffisante de la production puisque le taux d'intensification cultural (rapport de la superficie totale cultivée au cours de la campagne par la superficie totale équipée) ne dépasse guère les 100% pour l'ensemble des 9 grands périmètres irrigués du Maroc. Le taux prévu initialement était en moyenne de 120%.

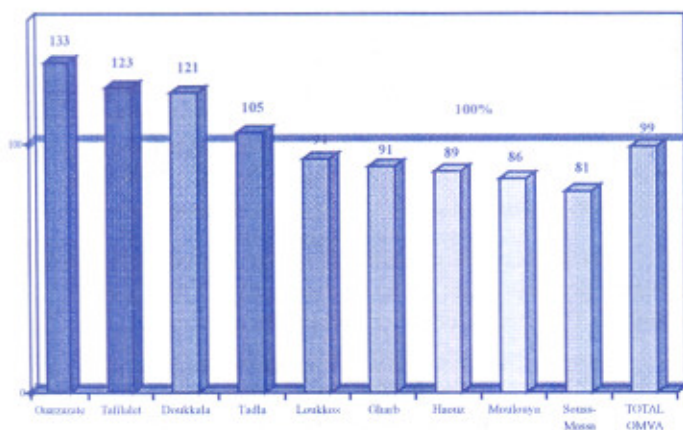
Loin des prévisions notifiées dans les différents projets d'aménagements hydro-agricoles, ce taux témoigne d'une sous-utilisations des équipements et aménagements mis en place. Ce gap en matière d'intensification est l'équivalent de 200.000 hectares irrigués et donc une valeur de la production de près de 3,2 milliards de Dirhams dont 1,87 milliards de Dirhams de Valeur Ajoutée.

¹ Direction de la Production Végétale/MADRPM

Le taux d'intensification culturelle est très variable selon les périmètres irrigués. (figure 1)

A l'exception du périmètre des Doukkala qui réalise une intensification de 121%, et du Tadla avec 105%, les autres périmètres réalisent des performances

Figure 1 : Taux d'intensification culturelle dans les grands périmètres irrigués



inférieures à la moyenne (99%). Les deux périmètres de Ouarzazate et Tafilalet constituent des cas particuliers à cause de la pratique des cultures sous étage.

Cette dernière pratique ne peut être considérée comme étant une intensification agricole puisque les cultures sont pratiquées en même temps sur la même parcelle, ce qui se répercute négativement sur leur productivité. Une intensification proprement dite consiste en la mise en culture successive de deux ou plusieurs cultures sur la même parcelle, l'une après l'autre, mais jamais, en même temps.

L'examen des cultures pratiquées dans les grands périmètres irrigués permet de constater un assolement relativement équilibré et diversifié.

Figure 2 : Assolement dans les grands périmètres irrigués au Maroc

La structure de l'assolement permet de comprendre le faible niveau de l'intensification agricole puisque, d'une part, il y a une forte présence de l'arboriculture fruitière (30%) ainsi que celle des céréales avec 38%, et d'autre part, on note une faible présence des cultures à cycle court comme les cultures maraîchères. Cet équilibre trouve sa justification dans la limitation des disponibilités réelles en eau d'irrigation (liée aux problèmes du tour d'eau et la gestion de gros systèmes d'irrigation) et dans des contraintes techniques et socio-économiques.

2-2- Une productivité relativement faible

Les niveaux des rendements réalisés dans les grands périmètres irrigués sont relativement faibles et très variables d'un périmètre à l'autre et à l'intérieur du même périmètre entre les exploitations agricoles dont les niveaux de technicité sont très différents.

Une productivité à l'hectare variable selon les périmètres avec une moyenne relativement faible

Culture	Rendements	Moyenne ORMVA
Céréales	2,5 à 4,4	3,2
Cultures sucrières		
- Betterave à sucre	36 à 63	50
- Canne à sucre	50 à 70	67
Fourrages	40 à 66	60
Maraîchage		
- Primeurs	48 à 62	52
- Saison	12 à 31	20
Agrumes	14 à 21	19
Olivier	1,5 à 3	2,3
Palmier dattier	2,3 à 3,6	3,2

La grande variabilité des rendements réalisés pour chaque culture montre des niveaux très différents d'extériorisation du potentiel productif entre les 9 grands périmètres irrigués (GPI).

2-3- Des performances macro-économiques assez importantes

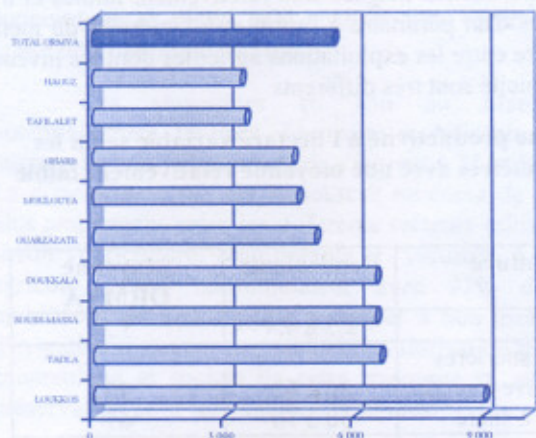
Les GPI constituent près de 9% de la Superficie Agricole Utile du Maroc et consomment près de 4,2 milliards de m³ d'eau d'irrigation par an, réparties entre 2,5 milliards m³ à partir des eaux de surface et 1,7 milliards m³ à partir des eaux souterraines.

Les productions végétales issues des GPI ont une valeur annuelle moyenne de 12,6 milliards Dirhams, soit 16.000 Dh/ha (8.000 à 29.000 DH/ha selon les périmètres). La valeur ajoutée de ces productions est de 7,5 milliards Dh, soit 30 à 50% de la Valeur Ajoutée globale des productions végétales à l'échelle nationale, selon l'année climatique.

Les productions végétales dans les GPI contribuent aussi à la création d'emplois dans le milieu

rural avec 56 millions de journées de travail direct (70j/ha/an), soit l'équivalent de 280.000 emplois permanents, et ce, en plus des emplois indirects créés par les activités liées à l'amont et l'aval des productions végétales (approvisionnement en intrants et services agricoles, commercialisation, transformation et conditionnement des productions).

Niveau de consommation en eau variable et reflétant l'assolement adapté



Consommation d'eau d'irrigation à l'hectare (m³)

2-4- Un volume de consommation d'eau assez élevé

La consommation en eau en tête de parcelle par hectare se situe autour de 5.500 m³/ha en moyenne et varie entre 3.200 m³/ha dans le périmètre du Haouz et 9.000 m³/ha dans le périmètre du Loukkos. Ceci montre une répartition inégale de la ressource et reflète dans une certaine mesure les performances réalisées dans les différents GPI.

Cette consommation varie aussi en fonction des cultures pratiquées de 3.000 m³/ha pour le blé à 16.000 m³/ha pour la luzerne. Cette variation importante amène à poser des questions fondamentales quant aux choix des cultures dans les GPI et les mesures prises dans le cadre de l'adéquation entre les ressources disponibles et le raisonnement de l'assolement dans ces périmètres.

2-5- Une valorisation de l'eau d'irrigation généralement faible et très variable selon les périmètres et selon la culture considérée

Les niveaux de valorisation de l'eau d'irrigation sont très variables d'un périmètre à l'autre. La valeur de la production par m³ d'eau d'irrigation consommée est de 22 Dh/m³ dans le périmètre du Souss-Massa et n'est que de 1,7 Dh/m³ dans le Loukkos. La moyenne des GPI est de 2,8 Dh/m³.

La Valeur Ajoutée est de 2,4 Dh/m³ dans le Souss-Massa et de 1 Dh/m³ dans le Loukkos. La moyenne des GPI est de 1,7 Dh/m³.

Les productions végétales valorisent différemment le mètre cube d'eau d'irrigation. Les primeurs sont les plus valorisantes avec une valeur de production de 22 Dh/m³, dont 10,6 Dh/m³ de valeur ajoutée et 11,4 Dh/m³ de consommations intermédiaires. Toutes les autres cultures ne dépassent guère 3 Dh/m³ de valeur de la production ou 1,7 Dh/m³ de valeur ajoutée.

En matière de création d'emploi, les productions végétales permettent de créer en moyenne 13 journées de travail par 1.000 m³ d'eau d'irrigation consommée.

2-5-1 Un Important Gap de Productivité à Gagner

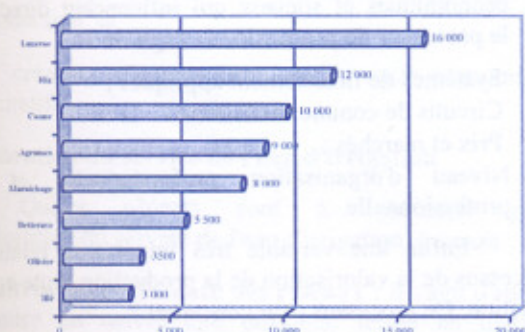
Le constat actuel des performances réalisées en irrigué en matière de productivité permet de faire les observations suivantes :

- Les niveaux des rendements sont tellement variables entre les différents périmètres irrigués qu'on peut aller du simple au double. A titre d'exemple, le rendement de la betterave est de 35 T/ha dans le Gharb et de 60 T/ha dans les Doukkala ; Ceci pose la problématique du développement régionale d'une part et des opportunités de spécialisation dans les domaines d'excellence par périmètre (ou par région), d'autre part ;
- On constate à l'intérieur d'un même périmètre des niveaux de rendements encore très contrastés. On peut citer l'exemple du rendement du blé tendre qui peut passer de 20 à 70 qx/ha. La représentation de chaque classe de rendement reflète généralement une courbe en cloche indiquant une concentration des rendements intermédiaires (entre 30 et 40 qx/ha dans ce cas). Ceci veut dire qu'il existe des potentialités très importantes qui ne sont pas exploitées ; en d'autres termes, on peut, moyennant l'optimisation des facteurs de production, déplacer le niveau moyen des rendements vers des valeurs nettement supérieures ;

- Les niveaux de rendement constatés sont très liés à la qualité du service de l'eau. Dans les périmètres disposant de ressources limitées et/ou offrant une gestion peu performante de ces ressources (lourd système de gestion, problèmes de concordance entre l'offre et la demande, problèmes de coût et de tarification), on enregistre les performances les plus faibles.

D'après une simulation moyenne des performances réalisées à travers les différents périmètres irrigués, et en prenant en considération les potentialités du milieu, les possibilités offertes par l'optimisation de l'utilisation des facteurs de production, il est possible de réaliser des niveaux de rendements moyens nettement supérieurs à ceux actuellement réalisés. A titre d'exemple, le rendement moyen réalisable en irrigué du blé tendre est de 50 qx/ha, tandis que le rendement réalisé n'est que de 32 qx/ha; le rendement des agrumes peut atteindre 35 T/ha, et celui de la betterave, 65 T/ha.

Niveau de consommation en eau à l'hectare relativement élevé pour la majorité des cultures



Consommation d'eau d'irrigation à l'hectare (m³)

Il s'ensuit que pour la plupart des cultures, les rendements réalisés actuellement sont de 50 à 75% des niveaux techniquement réalisables et actuellement réalisés par les agriculteurs performants.

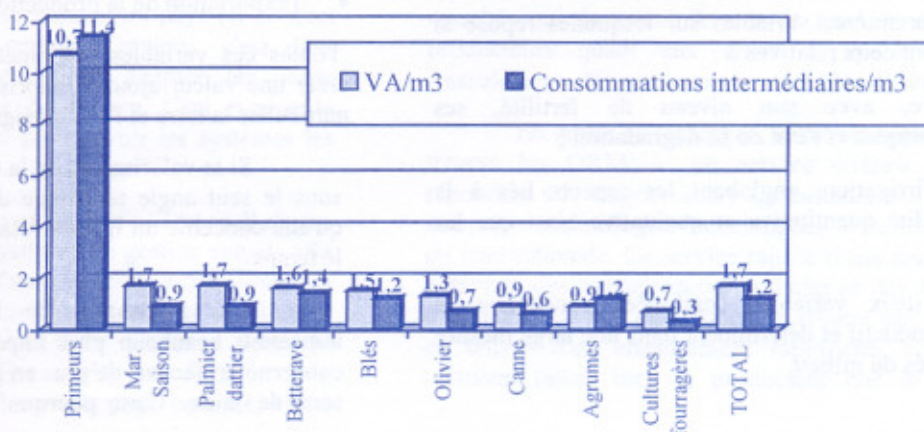
La simulation des impacts économiques des améliorations des rendements comme indiqué à la figure plus haut sont comme suit :

Impacts de l'amélioration de la productivité

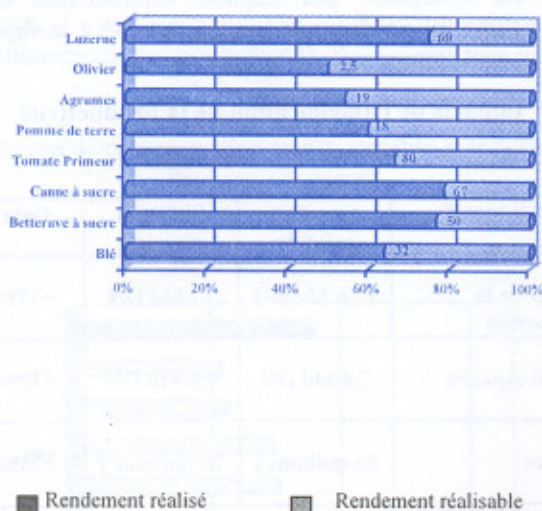
Indicateurs	Situation actuelle	Situation objective	Gain
Valeur de la Production	12,6 Md DH	17 Md DH	+35%
Valeur Ajoutée	7,4 Md DH	9,8 Md DH	+32%
Emploi	56 millions j	70 millions j	+25%
Valorisation de l'eau d'irrigation			
• V.P./m³	2,8	4	+43%
• V.A./m³	1,7	2,4	+42%

En matière d'amélioration des niveaux de valorisation de l'eau d'irrigation, il est possible de dépasser le seuil de valeur ajoutée de 2 Dh/m³ pour la majorité des cultures. La valorisation de l'eau d'irrigation par le blé serait aussi importante que celle des cultures de maraîchage de saison et s'établirait à 2,7 Dh/m³. Il est à noter que le niveau de valorisation de l'eau d'irrigation par la luzerne ne dépasserait pas 1 Dh/m³ même avec un rendement moyen de 80 T/ha de matière fraîche, ce qui montre la nécessité de remplacer cette culture par d'autres cultures fourragères moins consommatrices en eau, telle que le maïs fourrager par exemple.

Une valorisation de l'eau d'irrigation assez faible à l'exception des prouveurs



Un important gap de productivité à gagner



Comment Rattraper le Retard ?

Afin d'atteindre ces potentialités aussi importantes et de rehausser les performances techniques et économiques des secteurs équipés, un effort important est nécessaire pour la mise à niveau de ces secteurs. Toutefois, et en vue de mieux cibler les axes d'intervention et le levier d'une politique conséquente, il y a lieu de considérer le processus de production et de valorisation et de remarquer son extrême complexité fonctionnelle et la multitude des intervenants concernés.

Complexité du processus de production et de valorisation

Le schéma de la figure montre que le processus de production agricole en général, et de production végétale en particulier est tributaire d'un ensemble de variables qui échappent au contrôle direct du producteur et dépend en outre de plusieurs opérateurs du secteur agricole.

Les premières variables sur lesquelles repose la production sont celles relatives à :

- La terre, avec son niveau de fertilité, ses caractéristiques et l'état de sa dégradation ;
- L'eau d'irrigation, englobant les aspects liés à la disponibilité quantitative et qualitative ainsi que les prix ;

Ces deux variables combinées constituent le patrimoine productif et déterminent dans une large mesure les potentialités du milieu.

Une autre variable primordiale concerne l'approvisionnement en intrants agricoles. Elle concerne l'ensemble des aspects liés à la problématique de disponibilité en temps opportun et en quantité et qualité requise, ainsi que la contrainte très controversée des coûts de ces facteurs. Cette variable sous-entend aussi le facteur de contrôle à priori de la qualité des intrants et aussi le souci de la préservation, à posteriori, de la qualité de l'environnement.

Le troisième groupe de variables concerne l'environnement technique de la production, à savoir :

- Les acquis de la recherche et les possibilités de leur application ;
- Les systèmes de transfert de techniques et de technologies avec leur efficacité et pertinence (formation, information, encadrement) ;
- Le savoir-faire des producteurs et l'expérience technique qu'ils ont accumulée de façon empirique ou scientifique.
- L'environnement socio-économique est l'un des plus importants puisqu'il réunit l'ensemble des variables économiques et sociales qui influencent directement le processus de production. Il s'agit de :
 - Systèmes de financement appliqués ;
 - Circuits de commercialisation
 - Prix et marchés ;
 - Niveau d'organisation professionnelle et inter-professionnelle.

Enfin, une variable très importante relative au processus de la valorisation de la production brute entre en équation. Ce processus peut concerner :

- la valorisation des productions végétales par l'élevage (fourrages, sous-produits) ;
- le conditionnement de la production ;
- le stockage ;
- la transformation de la production (cultures industrielles et semi-industrielles) ;
- l'exportation de la production nationale.

Toutes ces variables combinées contribuent ensemble à créer une valeur ajoutée valorisant les facteurs utilisés, en particulier la terre et l'eau d'irrigation.

Si la valorisation de la terre peut être appréhendée sous le seul angle technique de productivité, c'est parce qu'elle concerne un facteur relativement plus durable dans le temps.

La valorisation de l'eau d'irrigation est un indicateur beaucoup plus important du moment où elle concerne un facteur de plus en plus rare et dont les enjeux sont de taille. C'est pourquoi, la valorisation de l'eau

d'irrigation revêt des aspects techniques et économiques aussi larges.

Principaux leviers d'intervention

Si les processus de production agricole et de valorisation de l'eau d'irrigation sont très complexes, l'intervention visant l'amélioration des performances actuelles revêt des aspects aussi diversifiés et délicats. L'immensité de l'espace d'intervention, la multitude des intervenants ainsi que l'éventail du champ d'actions font de la question du développement agricole une des tâches les plus ardues et les plus délicates d'un côté, les moyens d'intervention sont coûteux et de l'autre côté, les effets sont très peu perceptibles à court et moyen termes.

Néanmoins, nous estimons que certaines actions peuvent être d'une utilité certaine puisqu'elles permettraient de répondre aux soucis majeurs des producteurs.

Les principaux leviers susceptibles de produire des effets notables à court et moyen termes se rapportent à

- l'amélioration du service de l'eau d'irrigation,
- le développement de l'environnement technique de production, et
- la création d'un environnement socio-économique incitatif.

Amélioration du service de l'eau d'irrigation

Quatre aspects sont à considérer pour l'amélioration du service de l'eau d'irrigation, à savoir :

La maîtrise de l'efficacité des réseaux : il s'agit d'abord, de mettre en œuvre une politique ferme en matière d'économie de l'eau, de réduire les coûts élevés de ce service (engendrés le plus souvent par des dysfonctionnements purement administratifs et imputés aux prix de l'eau, sinon au contribuable), et enfin d'opérer, pour les nouveaux équipements, des choix d'options d'aménagement adaptés aux contextes actuels de l'environnement agricole national et international.

Amélioration de l'irrigation à la parcelle : ce qui repose actuellement sur le choix de modes d'irrigation adaptés à la situation de rareté de l'eau dans notre pays (si ce n'est pas immédiatement dans certaines régions, c'est dans quelques années). Il faudra donc adapter les choix d'aujourd'hui aux exigences de demain. Ceci évoque la nécessité d'encourager et de promouvoir les systèmes les plus efficaces.

Gestion optimale de l'offre et de la demande : Il s'agit d'une remise en cause des systèmes de gestion actuels afin qu'ils puissent répondre de façon concrète aux besoins. La finalité serait de mettre en marche un système de pilotage des irrigations en temps réel. Cette tendance devra se généraliser dans tous les Offices et dépasser le cadre de la démonstration et de la théorisation pour certains. Cette

approche appelle aussi l'inscription effective de l'Etat en général et des ORMVA en particulier dans la démarche de la gestion participative de l'irrigation avec l'implication des usagers en tant qu'acteurs à part entière pouvant prendre des décisions.

180 Partenariat avec les usagers : Il faudra dépasser le stade des intentions pour une implication progressive et effective des usagers, et ce, selon un cadre institutionnel qu'on désigne souvent par le partenariat. Un tel cadre nécessiterait cependant, une organisation efficace du secteur basée avant tout sur la transparence et la démocratie.

Développement de l'environnement technique de production

L'environnement technique de production est resté malgré toutes les innovations techniques qu'a connu le secteur agricole à l'échelle mondiale, très marqué par l'empirisme et l'absence de méthodes scientifiques de production.

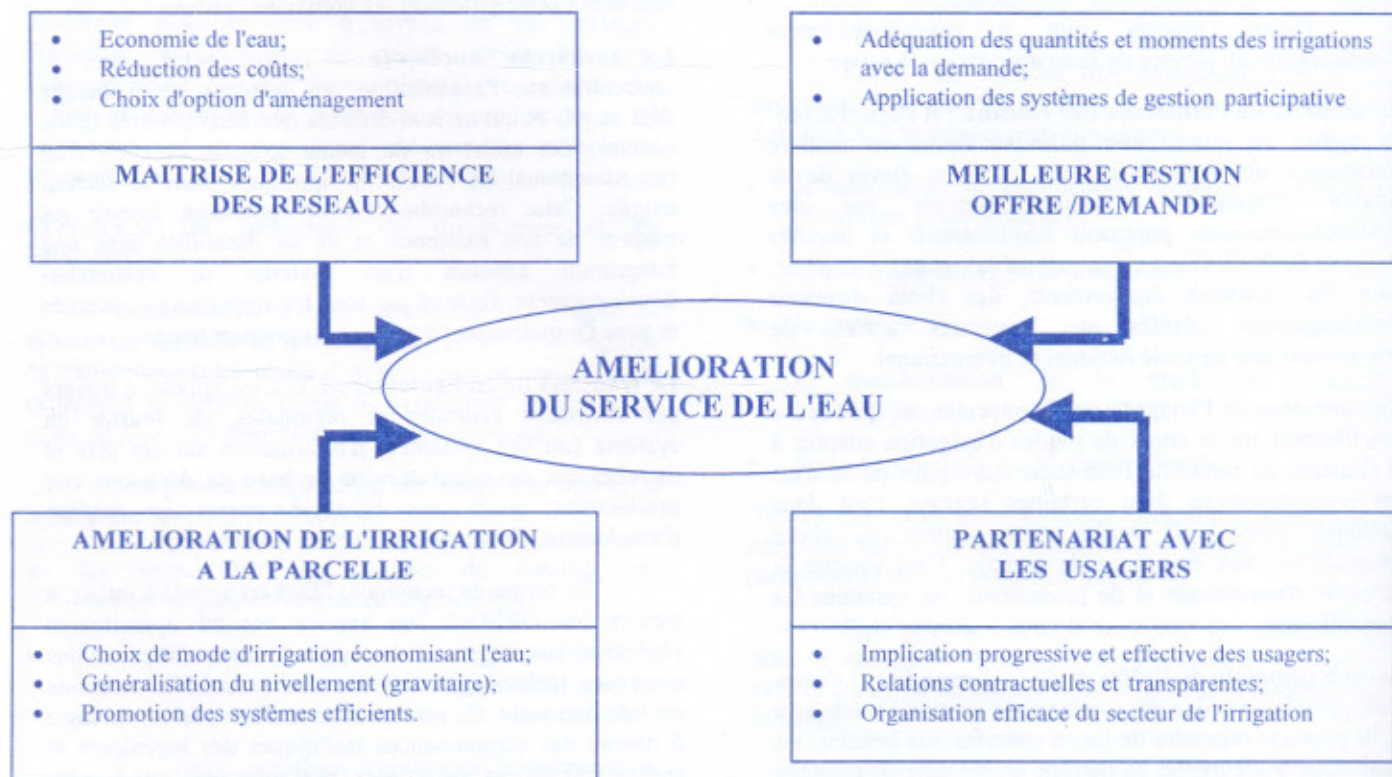
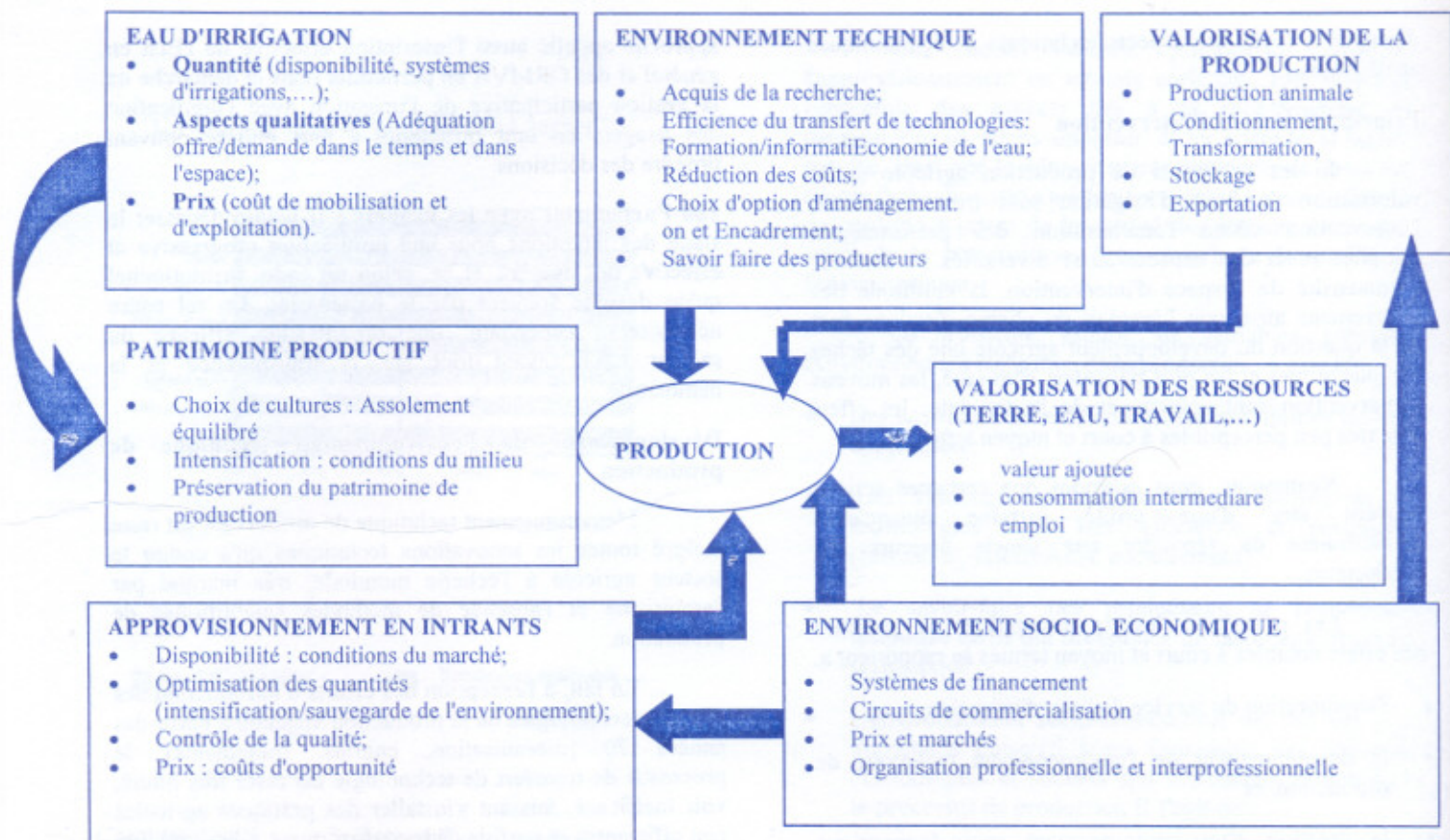
En fait, à l'exception des efforts d'introduction des grandes technologies de la production végétale à partir des années 70 (mécanisation, engrais, traitements), le processus de transfert de technologie est resté très limité, voir inefficace, laissant s'installer des pratiques agricoles peu efficaces et parfois dangereuses quant à la durabilité du système productif.

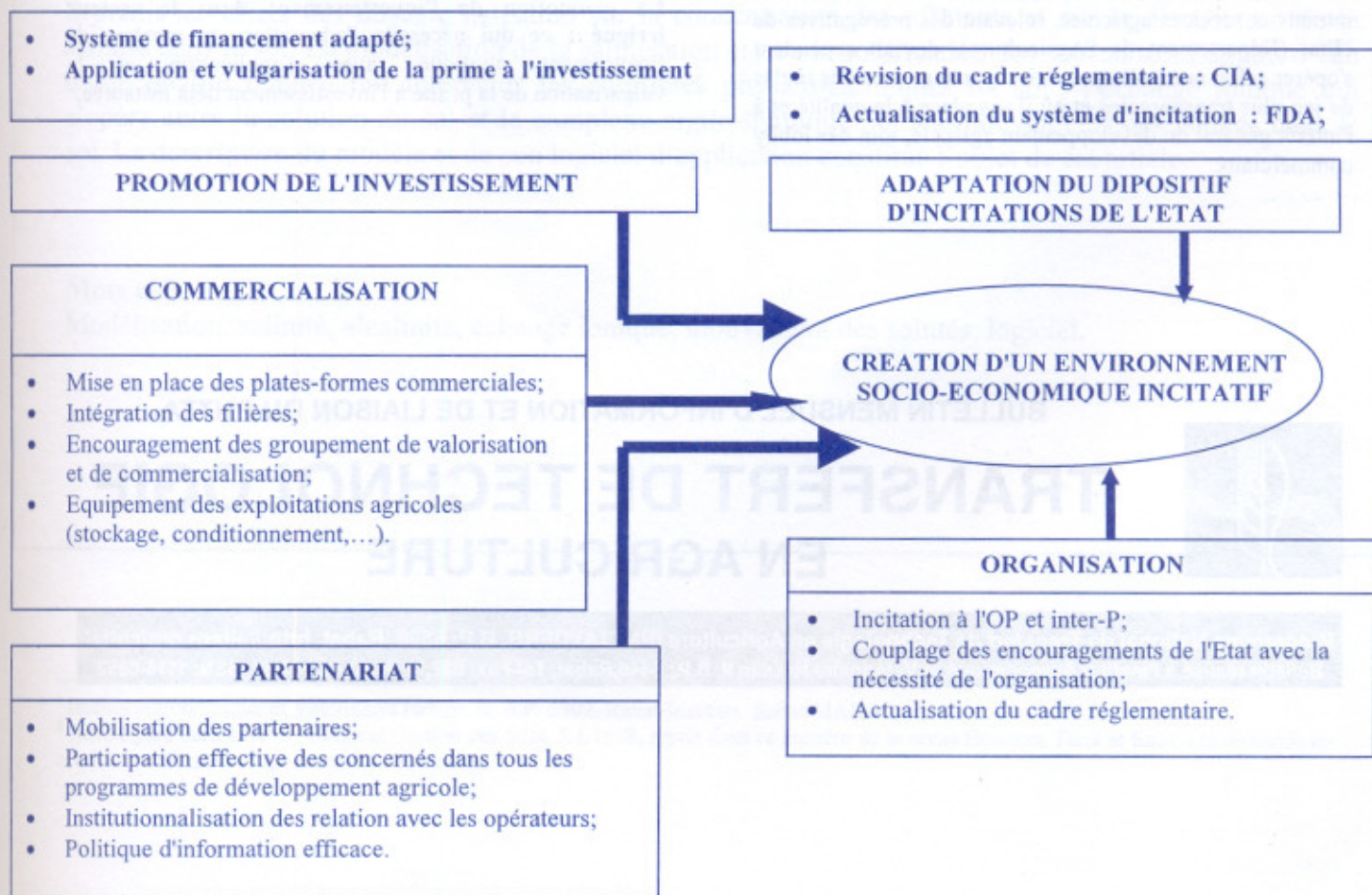
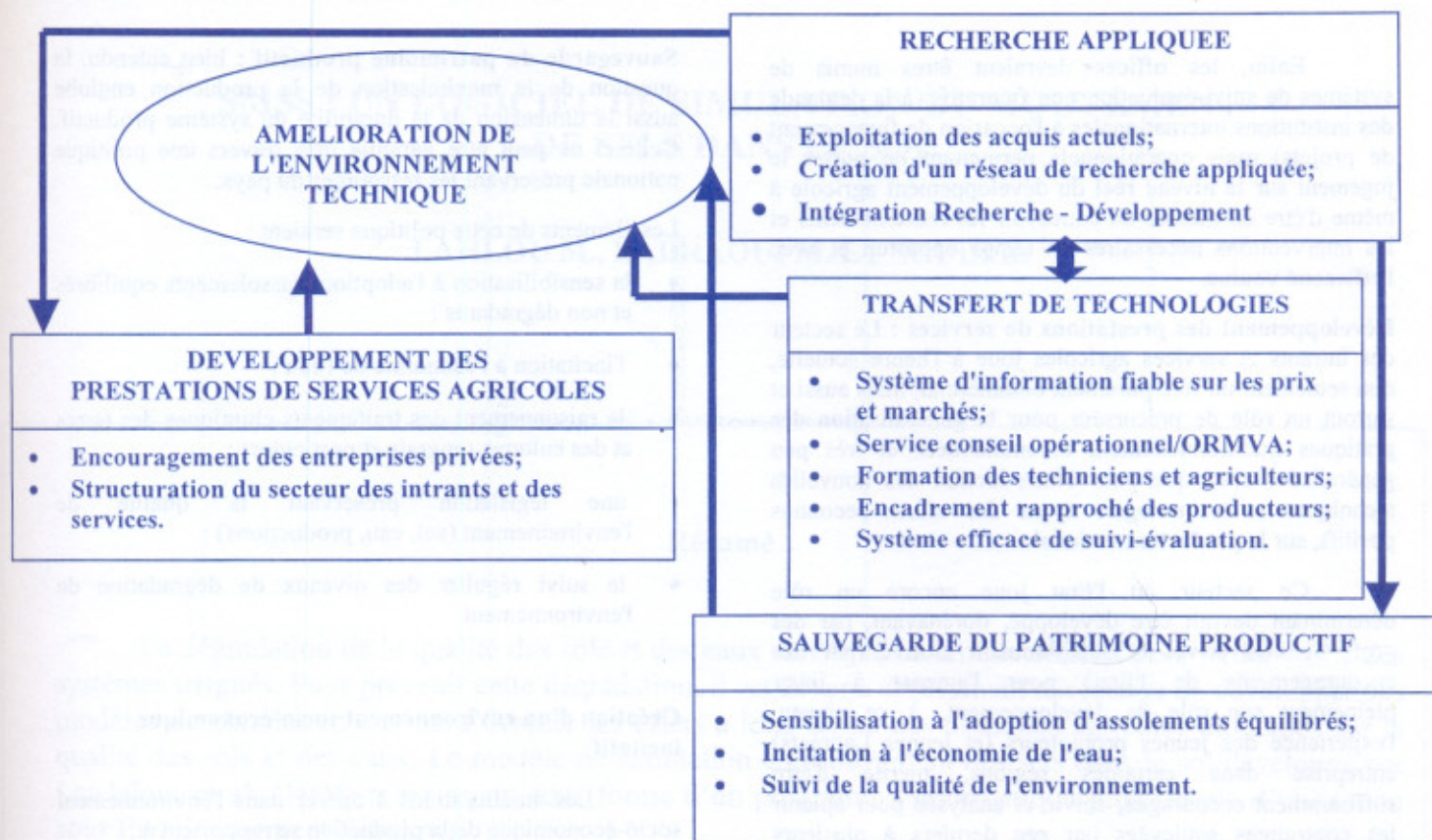
L'amélioration de l'environnement technique toucherait principalement les domaines suivants :

La recherche appliquée : l'effort actuel doit se concentrer sur l'exploitation des résultats de recherche déjà acquis et qui ne sont diffusés que dans une très faible mesure. Cet effort va de même avec la création d'un réseau national de recherche appliquée dans le secteur irrigué. Cette recherche devrait cependant asseoir les moyens de son existence et de sa durabilité dans une intégration efficace d'un système de recherche-développement, financé par tous les opérateurs concernés et avec l'initiative de l'Etat dans un premier temps.

Le transfert de technologies : L'état est appelé, à travers ses structures centrales et régionales, de fournir un système (ou des systèmes) d'information sur les prix et marchés qui devraient servir de base de décisions aux producteurs quant aux choix à opérer en matière d'assolement, d'investissement et de planification.

En terme de technique, l'Etat est appelé à initier, à travers les ORMVA, un service conseil opérationnel répondant aux exigences des agriculteurs et s'inspirant des nouvelles technologies développées à l'échelle nationale ou internationale. Ce service repose d'une part sur la mise à niveau des connaissances techniques des ingénieurs et techniciens de ces institutions, et d'autre part, sur la mise en œuvre d'un encadrement rapproché, contractuel et motivant (aussi bien le producteur que le technicien).





Enfin, les offices devraient être munis de systèmes de suivi-évaluation non figuratifs (à la demande des institutions internationales à l'occasion de financement de projets) mais opérationnels permettant de porter le jugement sur le niveau réel du développement agricole à même d'être en mesure de concevoir les redressements et les interventions nécessaires en temps opportun et avec l'efficacité voulue.

Développement des prestations de services : Le secteur des intrants et services agricoles joue à l'heure actuelle, non seulement un rôle purement commercial, mais aussi et surtout un rôle de précurseur pour la généralisation des pratiques traditionnellement recommandées et très peu généralisées ainsi que pour l'introduction des nouvelles techniques et technologies ayant des effets, reconnus positifs, sur la production nationale.

Ce secteur où l'Etat joue encore un rôle déterminant devrait être développé, dorénavant, par des professionnels privés et suffisamment motivé (par des encouragements de l'Etat) pour l'amener à jouer pleinement son rôle de développement. A ce niveau, l'expérience des jeunes promoteurs (et jeunes Lauréats) entreprise dans certaines régions, mérite d'être suffisamment encouragée, suivie et analysée pour aplanir les contraintes soulevées par ces derniers à plusieurs niveaux.

La structuration des différents sous secteurs des intrants et services agricoles, relevant des prérogatives de l'Etat (Département de l'Agriculture), devrait cependant s'opérer selon une politique clairvoyante et avec des règles de jeu plus transparentes et où il y a place à la qualité et à l'intérêt général du développement agricole, loin des lobby commerciaux.

Sauvegarde du patrimoine productif : bien entendu, la question de la maximisation de la production englobe aussi la dimension de la durabilité du système productif. Celle-ci ne peut être garantie qu'à travers une politique nationale préservant les ressources du pays.

Les éléments de cette politique seraient :

- la sensibilisation à l'adoption d'assolements équilibrés et non dégradants ;
- l'incitation à l'économie de l'eau ;
- le raisonnement des traitements chimiques des terres et des cultures (engrais et pesticides) ;
- une législation préservant la qualité de l'environnement (sol, eau, productions) ;
- le suivi régulier des niveaux de dégradation de l'environnement.

Création d'un environnement socio-économique incitatif

Les améliorations à opérer dans l'environnement socio-économique de la production se rapportent à :

L'adaptation du dispositif d'incitation de l'Etat

La promotion de l'investissement dans le secteur irrigué : ce qui nécessite l'adaptation du système de financement appliqué, avec l'application et la vulgarisation de la prime à l'investissement déjà instaurée.

BULLETIN MENSUEL D'INFORMATION ET DE LIAISON DU PNTTA



TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), DERB, B.P.: 6598, Rabat, <http://altern.org/cntta/>
Bulletin réalisé à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P.: 6446, Rabat, Tél-Fax: 037.77.80.63, DL: 61/99, ISSN: 1114-0852

SMSS : UN LOGICIEL DE SIMULATION DU MOUVEMENT DE SELS DANS LE SOL

LAHLOU M., BADRAOUI M. ET SOUDI B. ¹

Résumé ²

La dégradation de la qualité des sols et des eaux constitue un danger sérieux pour la durabilité des systèmes irrigués. Pour prévenir cette dégradation, il est devenu absolument nécessaire de développer des modèles de simulation en vue d'évaluer les effets à long terme des pratiques agricoles modernes sur la qualité des sols et des eaux. Le modèle de simulation du mouvement des sels dans le sol développé par Laudelout et al. (1994) a été repris sous forme d'un programme informatique plus simple d'utilisation sous l'environnement Windows.

Le modèle postule un mouvement de l'eau à régime constant à travers un sol partiellement saturé. Il prédit les effets des doses d'irrigation sur la concentration des effluents et sur la distribution de la salinité dans le sol. La modélisation de la salinisation et / ou la sodification des sols suite à l'apport d'eau d'une qualité donnée fait intervenir les équilibres physico-chimiques du sol ; l'échange ionique qui s'opère entre la solution du sol et le complexe argilo-humique ; et les mouvements des solutés dans le sol. La description du modèle et de son logiciel d'application constitue l'objet de cet article.

Mots clés

Modélisation, salinité, alcalinité, échange ionique, mouvement des solutés, logiciel.

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202, Rabat-Instituts, Rabat MAROC

² Article paru dans la revue Etude et Gestion des Sols, 5,4,1998, repris dans ce numéro de la revue Hommes Terre et Eaux à la demande du comité de rédaction et après accord des auteurs.

Dans les zones arides et semi-arides du Maroc, la salinisation, suite à l'irrigation, est le processus de dégradation des sols le plus rapide (Laudelout et Chiang, 1995 ; Badraoui et al., 1998). On distingue deux types de problèmes de salinité très différents, ceux qui sont associés à la salinité totale et ceux qui sont associés au sodium (sodicité). Les sols peuvent être affectés soit par la salinité ou par la combinaison de la salinité et de la sodicité (S.W.T.L. 1998).

La salinité de l'eau d'irrigation est habituellement mesurée par le TDS (total des sels dissous) ou la CE (Conductivité Electrique). Cette conductivité électrique est fonction de la garniture ionique de l'extrait de la pâte saturée. Plusieurs relations ont été proposées pour estimer la CE à partir des mesures de concentrations des éléments en solution. A titre d'exemples, citons celle de Richard (1954).

$$CE \approx \frac{[Ca^{++}] + [Mg^{++}] + [Na^+]}{10} \quad (1)$$

[] : Mq/l

Ou celle de McNeal et al. (1970) :

$$CE = ((0.0564 \cdot [Ca]^{0.9202} + 0.05099 \cdot [Mg]^{0.9102} + 0.04748 \cdot [Na]^{0.9495} + 0.07263 \cdot [K]^{0.9706} + 0.06900 \cdot [SO_4]^{0.8973} + 0.07330 \cdot [CO_3]^{0.8719} + 0.04143 \cdot [HCO_3]^{0.9501} + 0.07206 \cdot [CL]^{0.9671} + 0.11330 \cdot [(Ca+Mg)SO_4]^{0.8463} + 0.07206 \cdot |EN|^{0.9671}) + I(0.013)/2 \quad (2)$$

avec :

[] : méq/l ;
 |EN| : valeur absolue de l'électroneutralité ;
 I : force ionique $I = (\sum M_i Z_i^2)/2$ (3)
 Z_i : est la charge de l'espace chimique i ;
 M_i : molarité de l'espace chimique i ;

Ou encore celle de Griffin and Jurinak (1973) qui a établi une relation linéaire entre la force ionique I et la conductivité électrique CE :

$$I \approx 0.013 \times CE \quad (4)$$

La sodicité est habituellement exprimée en termes de SAR (taux d'adsorption du sodium) ou de ESP (Pourcentage de Sodium Echangeable). Le SAR représente la proportion relative du sodium par rapport au calcium et magnésium. Ces deux cations tendent à contrecarrer l'effet dispersif du sodium.

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{[Ca^{++}] + [Mg^{++}]}} \quad (5)$$

[] : mq/l

L'irrigation avec une eau de SAR élevé tend à dégrader la structure physique du sol. Quand le sol est sec, il devient alors dur et compact et de plus en plus imperméable à l'eau. Les sols à texture fine, spécialement ceux avec une haute teneur en argile gonflante, sont plus sensibles à ce problème.

Le taux de sodium échangeable est défini par la relation :

$$EPS = \frac{[Na^+]}{CEC} \times 100$$

Avec : (6)

[Na⁺] : sodium adsorbé en méq/100 g de sol.

CEC : capacité d'échange cationique en méq/100 g de sol.

THEORIE

Les bases de la modélisation de la salinisation et de la sodification des sols, suite à l'apport d'eau d'une qualité donnée, ont été présentées par Laudelout et al. (1994) et Laudelout et Chiang (1995). La démarche suit les étapes schématisées dans la figure 1 :

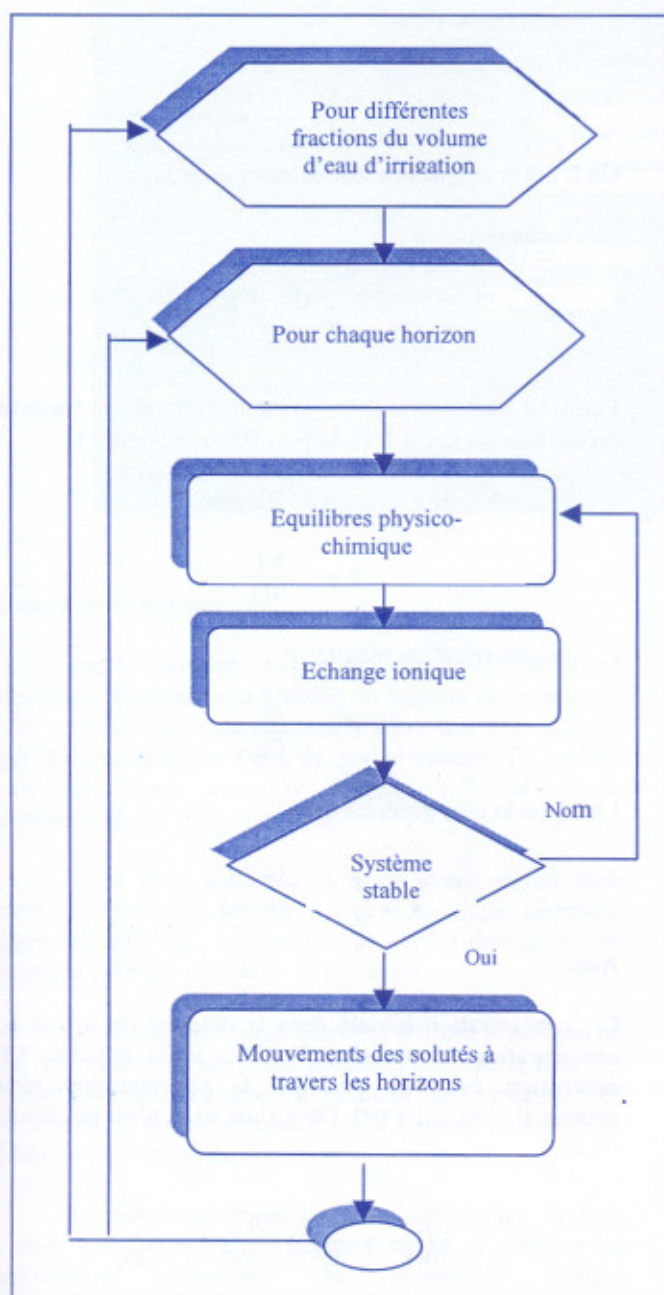
- les équilibres physico-chimiques entre les différentes espèces présentés dans le sol,
- l'échange ionique s'opérant entre la solution du sol et les colloïdes à charge négative (argiles),
- les mouvements des solutés dans le sol.

Equilibres Physico-chimiques

Le calcul des équilibres physico-chimiques dans le sol doit prendre en compte toutes les réactions d'échange cationique, de précipitation et de solubilisation du gypse et de la calcite. En supposant que les divers équilibres impliqués dans ces réactions soient atteints, on pourra calculer la concentration des divers ions qui se trouvent dans la solution du sol et définir ainsi le milieu ionique auquel seront exposées les racines de la plante ainsi que la composition qui va quitter les couches superficielles du sol.

Il est nécessaire d'alterner l'utilisation des activités pour l'application des conditions d'équilibres et l'utilisation des concentrations pour l'application des équations de conservation de masse (Laudelout et al., 1994). Le passage des concentrations aux activités (ou vice-versa) se fera par l'utilisation des coefficients d'activité. Ces derniers seront calculés soit par la relation de Davis (Butler, 1964) qui est dérivée de la loi de Debye et Hückel élargie (Garels and Christ, 1965) :

Figure 1 – ordinogramme de simulation du processus de salinisation et de sodification des sols suite à une irrigation par une eau d'une qualité donnée.



Relation de Davis ($I \leq 0,5$) :

$$-\log(\gamma_i) = AZ_i^2 \left[\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,3I \right]$$

Loi de Debye et Huncckel élargie :

$$-\log(\gamma_i) = \frac{AZ_i^2 \sqrt{I}}{1 + a_i B I}$$

Avec :

I : la force ionique

Z_i : est la charge de l'espèce chimique i ;

A : constante qui vaut 0.511 ;

B : constante qui vaut 0.33 ;

a_i : est un paramètre propose à l'ion (rayon hydraté).

Les espèces chimiques prises en considération dans les calculs des équilibres physico-chimiques sont : la pression partielle de CO_2 ou pH , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{--}

Les paires d'ions et leurs constantes de stabilité correspondantes prises en compte sont données dans le tableau 1 (log décimal de la valeur à 25 °C sous 1 atmosphère et à force ionique infiniment faible).

Tableau 1 – Constantes de stabilité des principales paires d'ions (Stumm et Morgan, 1981).

Ion	HCO_3^-	CO_3^{--}	SO_4^{--}
Na^+	-0,3	0,77	0,70
K^+	-	-	0,85
Mg^{++}	0,69	2,88	2,23
Ca^{++}	1,0	3,15	2,31
H^+	6,35	10,33	2,00

Le schéma des équilibres physico-chimiques utilisé est le suivant :

Etape 1 :

Equilibration des espèces chimiques suivantes :

- | | | |
|-----|-------------------------------------|-------------------------|
| (a) | $\text{Mg}^{++} + \text{SO}_4^{--}$ | MgSO_4 |
| (b) | $\text{Mg}^{++} + \text{CO}_3^{--}$ | MgCO_3 |
| (c) | $\text{Ca}^{++} + \text{SO}_4^{--}$ | CaSO_4 |
| (d) | $\text{Ca}^{++} + \text{CO}_3^{--}$ | CaCO_3 |
| (e) | $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ | H_2CO_3 |
| (f) | $2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{--}$ | H_2CO_3 |

Etape 2 :

Equilibration du gypse : en fonction de la quantité de gypse solide présent et de la concentration de CaSO_4 résultante de l'équation (c), on réajuste ces quantités en fonction du produit de solubilité du gypse.

Etape 3 :

Equilibration de la calcite : en fonction de la quantité de calcite solide présente et de la concentration en CaCO_3 résultante de l'équation (d), on réajuste ces quantités en fonction du produit de solubilité de la calcite.

Etape 4 :

Si après equilibration du gypse et de la calcite les concentrations de CaSO_4 et de CaCO_3 ont changé de façon appréciable, alors on retourne à l'étape 1 pour

rééquilibrer les différentes espèces chimiques; sinon on passe à l'étape 5.

Echange ionique

Etape 5 :

Equilibre d'échange ionique où on considère les échanges suivants :

- (a) l'échange entre Ca^{++} et Mg^{++}
- (b) l'échange entre Na^+ et la somme des divalents Ca^{++} et Mg^{++} ;

les coefficients de sélectivités relatifs à ces réactions d'échange doivent être déterminés en fonction de la garniture du complexe d'échange en sodium. Des relations polynomiales de 3^{ème} degré sont généralement utilisées à cet effet (Laudelout et al., Aniba, 1997).

Etape 6 :

Si l'évolution de la concentration de Ca^{++} est supérieure à une valeur critique (0.01 %), le système n'est pas encore stable. Alors on retourne à l'étape 1 pour rééquilibrer les différentes espèces chimiques. Sinon on considère que le système est équilibré et on obtient ainsi la composition à l'équilibre de l'horizon étudié.

Mouvements des solutés dans le sol

Le mouvement des solutés à travers le sol se fait, soit par diffusion dans sa solution, soit par transport convectif par l'eau qui percole à travers le profil. Ce mouvement de l'eau peut être à vitesse constante ou, le plus souvent, variable. Le soluté peut réagir avec la phase solide du sol dans des réactions de solubilisation, de précipitation ou d'échange ionique.

Le programme procède au calcul de la modification de la composition de la solution du sol de son passage à travers le profil, mais à chaque nœud du maillage établi on procède à une rééquilibration de la concentration de la solution. Le principe mis en œuvre dans cette programmation réside en une simple solution numérique de diffusion avec convection.

L'équation générale de diffusion par convection, lorsque D et V sont indépendants de x, est la suivante (Laudelout et al. 1994) :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x}$$

Avec :

- c : concentration de la solution à la distance x ;
- d : coefficient de diffusion ;
- t : temps ;
- v : la vitesse de déplacement de l'eau dans les pores ;
- x : coordonnée dans une section droite d'eau colonne de sol comptée du haut en bas.

Cette équation peut être réécrite en utilisant des variables adimensionnelles que nous définissons ci-dessous :

- la longueur réduite :

$$X = \frac{x}{L}$$

Où L est la longueur d'une colonne de sol.

- le temps réduit :

$$N = \frac{vt}{L} = \frac{Vt}{\phi L}$$

Equivalant au nombre de volumes poreux qui ont traversé la colonne de longueur L et de porosité ϕ , au temps t.

- le nombre de Péclet ou de Brenner

$$P = \frac{VL}{4D}$$

- la concentration réduite :

$$C = \frac{c}{C_0}$$

La forme la plus générale est

$$C = \frac{(c-c_i)}{(c_0-c_i)}$$

Avec :

C_i : concentration initiale dans la colonne de sol, et c_0 la concentration du soluté à l'entrée de la colonne. Cette expression évite de redéfinir la concentration réduite comme si c'est nul à $t=0$. On a ainsi, si c_0 n'est pas fonction de x :

$$\frac{\partial C}{\partial N} = \frac{1}{4P} \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} - \frac{\partial C}{\partial X}$$

Le programme utilise la solution numérique de cette équation (Laudelout et al., 1994) :

$$C_{i,j} = \frac{1}{2} [C_{i,j-1} + C_{i+1,j}]$$

Où :

- I : indique l'indice espace,
- J : indique l'indice temps.

PRESENTATION DU LOGICIEL

Classes et procédures

Sur la base du modèle présenté et des solutions numériques retenues on a élaboré un logiciel de simulation de la salinisation et de la sodification des sols suite à l'apport d'une quantité d'eau de qualité donnée. Ce logiciel a été développé avec le langage « Pascal » sous l'environnement « Windows 95 ».

A la base du logiciel nous avons défini trois classes d'objets. La première classe nommée « Région » désigne un objet qui représente une région donnée et qui contient la liste des profils de sols étudiés.

La deuxième classe nommée « Profil » désigne un objet qui représente un profil donné et contient la liste des horizons étudiés ; en plus il contient une propriété en lecture seule et qui indique si le profil a atteint un niveau de salinité et/ou de sodicité donné.

La troisième classe nommée « Horizon » désigne un objet qui représente un horizon donné et contient les composantes suivantes : la procédure « Init » d'initialisation qui initialise les propriétés d'un horizon donné, la procédure « Equilibre » d'équilibration physico-chimique et d'échange ionique s'opérant dans l'horizon en cours et enfin la procédure « Mouvement » de simulation de la diffusion avec convection de la solution dans le sol.

Ainsi le programme peut traiter plusieurs profils à la fois, et pour chaque profil, effectuer des simulations sur l'ensemble de ses horizons. Cette technique nous permet par la suite d'établir des cartes d'évolution de la salinisation et / ou de la sodification pour une région donnée, en assimilant plusieurs points géo-référencés à des profils.

Utilisation du Programme

Le programme se présente sous forme d'une fenêtre (figure 2) comportant 6 pages, les quatre premières pour entrer les données et la dernière pour afficher les résultats :

Page 1 : Information : accepte un texte qui servira de titre pour les sorties.

Page 2 : Paramètres : accepte les paramètres suivantes :

- (a) Produit de solubilité de Gypse.
- (b) Produit de solubilité de la Calcite.
- (c) Constante de sélectivité $Ca^{++} - Mg^{++}$.
- (d) Coefficients de la régression polynomiale (d'ordre 3) du coefficient de sélectivité $Na^{+} - Divalent$ sur la fraction de divalent adsorbé.
- (e) Nombre de couches théoriques.
- (f) Option de calcul :

fi simulation pour un volume d'eau d'irrigation exprimé en nombre de volumes poreux.

fi calcul du volume d'eau nécessaire pour atteindre un seuil de Conductivité électrique et / ou de ESP (sodicité) données.

Page 3 : Eau d'irrigation : accepte les paramètres suivants :

- (a) La pression partielle de CO_2 (ATM) ou le pH de l'eau.
- (b) La concentration de Ca^{++} en méq/l.
- (c) La concentration de Mg^{++} en méq/l.
- (d) La concentration de Na^{++} en méq/l.
- (e) La concentration de Cl^{-} en méq/l.
- (f) La concentration de SO_4^{--} en méq/l.

Page 4 : Horizons : accepte le paramètre global suivant :

(a) L'unité de mesure de la solution du sol :

Fi méq/l ;
Fi ou meq/100 g.

Et pour chaque horizon les paramètres suivants :

- (b) Le nombre de couches.
- (c) Rapport sol sec/solution en g/l.
- (d) La pression partielle de CO₂ (ATM) ou le pH de la solution.
- (e) Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄ - - en solution.
- (f) Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ adsorbés sur le complexe d'échange en meq/100 g.
- (g) Le contenu en Gypse et Calcite en meq/100 g.

Page 5 : Résultats : page où s'affiche les résultats.

Page 6 : Graphique : page où s'affichent les graphiques montrant par horizon l'évolution de la conductivité électrique, de l'ESP et du SAR.

Le programme offre aussi un système de menus pour effectuer diverses opérations :

- Fichier :
 - Nouveau : annule les données en cours
 - Ouvrir : ouvre un fichier de données
 - Sauver données : sauvegarde les données en cours
 - Sauver Résultats : sauvegarde sous forme de fichier texte les résultats obtenus.
- Saisie de données : permet d'accéder à une page de données.
- Calculs : lance les procédures d'initialisations et de calculs.
- Graphiques : ouvre une autre fenêtre d'affichage graphique.
- Fin : termine l'application.

Exemple d'utilisation

Le Tadla est une des régions d'agriculture irriguée du Maroc, elle dispose d'un périmètre irrigué à l'eau du barrage Bine Al Ouidane (peu chargée en sels) ou utilisant l'eau de nappe (plus chargée en sels) (tableau 2). L'exemple suivant illustre l'utilisation de ce modèle pour comparer l'impact de l'irrigation avec les deux types d'eaux sur le sol. L'unité du volume d'eau d'irrigation utilisé est le volume poral (VP). 1 VP correspond à la quantité d'eau nécessaire pour remplir le réservoir sol. Nous avons sélectionné une simulation avec 7 VP qui s'effectuent durant une campagne agricole.

Tableau 2 – Composition brute de l'eau d'irrigation

	Eau de barrage	Eau de la nappe
pH	8,6	7,4
Ca ⁺⁺ (méq/l)	2,4	14,4
Mg ⁺⁺ (méq/l)	1,4	22,6
Na ⁺ (méq/l)	1,2	21,5
Cl ⁻ (méq/l)	2,25	23,0
SO ₄ - - (méq/l)	0,20	26,0

Paramètres généraux

- Produit de solubilité du Gypse = 4,8 (Laudelout et al., 1994)
- Produit de solubilité de la Calcite = 8,4 (Laudelout et al., 1994)
- Constante de sélectivité Ca-Mg=1 (Badraoui 1998)
- Coefficients de la régression polynomiale du coefficient de sélectivité 'Na-divalent' sur la fraction de divalents adsorbés : $-11,5+X*328,1-X^2*1910+X^3*3674,4$ (Aniba K. 1997)
- Nombre de couches théoriques=5.

la composition initiale de chaque horizon est reportée dans le tableau 3 ci-après.

Résultats de la simulation

Les résultats de la simulation sont illustrés dans les figures 3 et 4 et dans le tableau 4. ils montrent que l'irrigation avec l'eau de barrage tend à améliorer la salinité et la sodicité du sol (baisse de la conductivité électrique de ESP et du SAR). Par contre, l'irrigation avec l'eau de la nappe augmente la salinité du sol (augmentation de la conductivité électrique) tout en diminuant sa sodicité (diminution de la sodicité).

Figure 3 – Evolution de la conductivité électrique en fonction du volume d'eau d'irrigation.

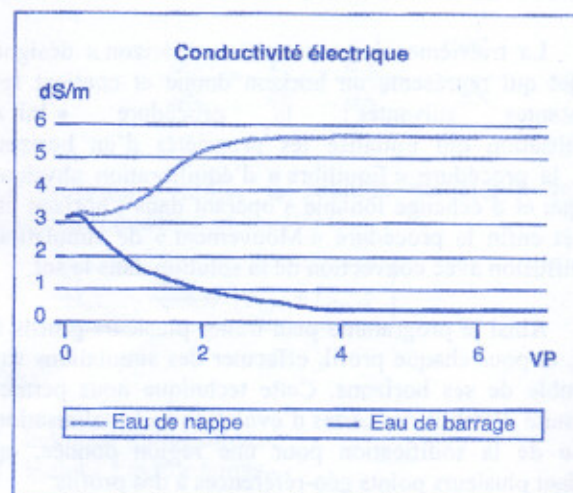


Tableau 3- Composition brute des horizons du sol

Horizon Nb	Rapp.	PH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ --	Ca surface	Mg surface	Na surface	Gypse	Calcite	
couches	Sol sec/solution	Solution (mécq/100 G)	Solution (mécq/100 g)	Solution (mécq/100 g)	Solution (mécq/100 g)	Solution (mécq/100 g)	(mécq/100 g)	(mécq/100 g)	(mécq/100 g)	(mécq/100 g)	(mécq/100 g)	(mécq/100 g)	
1	1	8,4	2326	2,62	1,38	5,2	4,5	2,7	21,2	11,2	1,0	0	271,4
2	1	8,3	2128	3,0	6,0	8,1	11,0	4,7	20,8	5,2	1,2	0	289
3	11	8,2	2128	9,0	9,0	10,7	18,0	8,3	14,4	18,4	2,0	0	377,6
4	1	8,2	1370	12,75	17,25	12,8	17,5	21,9	17,6	4,0	2,6	0	560,6
5	1	8,4	1724	7,0	10,0	12,3	9,5	17,4	15,2	4,4	4,2	0	670,2

Tableau 4 – Tableau de sortie du programme. Evolution des paramètres de sol après un apport de 7 volumes poreux.

Horizon CE	ESP (dans/m)	SAR	PH (mécq/l)	Solution (mécq/l)				Bases échangeables (mécq/100 g)						
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ --	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Gypse (%)	Calcite (%)	
Avant irrigation														
1	1,03	2,36	21,11	8,4	0,36	0,1	10,09	4,5	2,7	21,36	11,26	0,79	0	0,58
2	1,77	2,86	25,02	8,3	0,79	0,14	17,07	11,0	4,7	20,95	5,48	0,78	0	0,68
3	2,87	3,42	31,83	8,2	0,87	0,68	27,95	18,0	8,3	14,82	18,79	1,19	0	0,89
4	4,12	3,23	30,0	8,2	2,49	0,67	37,7	17,5	21,9	18,21	5,21	0,78	0	2,05
5	3,19	12,71	68,46	8,4	0,4	0,06	32,57	9,5	17,4	15,8	4,98	3,02	0	1,93
Irrigation avec eau de barrage														
1	0,41	0,09	1,09	8,4	1,59	0,82	1,2	2,25	0,2	21,03	12,34	0,03	0	0,57
2	0,41	0,09	1,09	8,3	1,93	0,48	1,2	2,25	0,2	21,19	5,99	0,02	0	0,65
3	0,41	0,1	1,09	8,2	1,27	1,15	1,2	2,25	0,2	16,74	18,03	0,03	0	0,84
4	0,41	0,09	1,09	8,2	1,82	0,59	1,2	2,25	0,2	17,83	6,35	0,02	0	2,03
5	0,41	0,1	1,09	8,4	1,94	0,47	1,2	2,25	0,2	18,54	5,23	0,02	0	1,82
Irrigation avec eau de nappe														
1	5,65	0,57	5,73	8,4	9,42	18,76	21,5	23	26	11,28	21,93	0,19	0	0,79
2	5,66	0,59	5,73	8,3	13,88	14,29	21,5	23	26,01	13,78	13,26	0,16	0	0,68
3	5,67	0,6	5,73	8,2	15,09	13,08	21,5	23	26,01	18,37	16,22	0,21	0	0,88
4	5,67	0,59	5,73	8,2	16,15	12,01	21,5	23	26,01	13,67	10,39	0,14	0	2,05
5	5,67	0,6	5,73	8,4	17,89	10,26	21,5	23	26,01	15,02	8,64	0,14	0	1,9

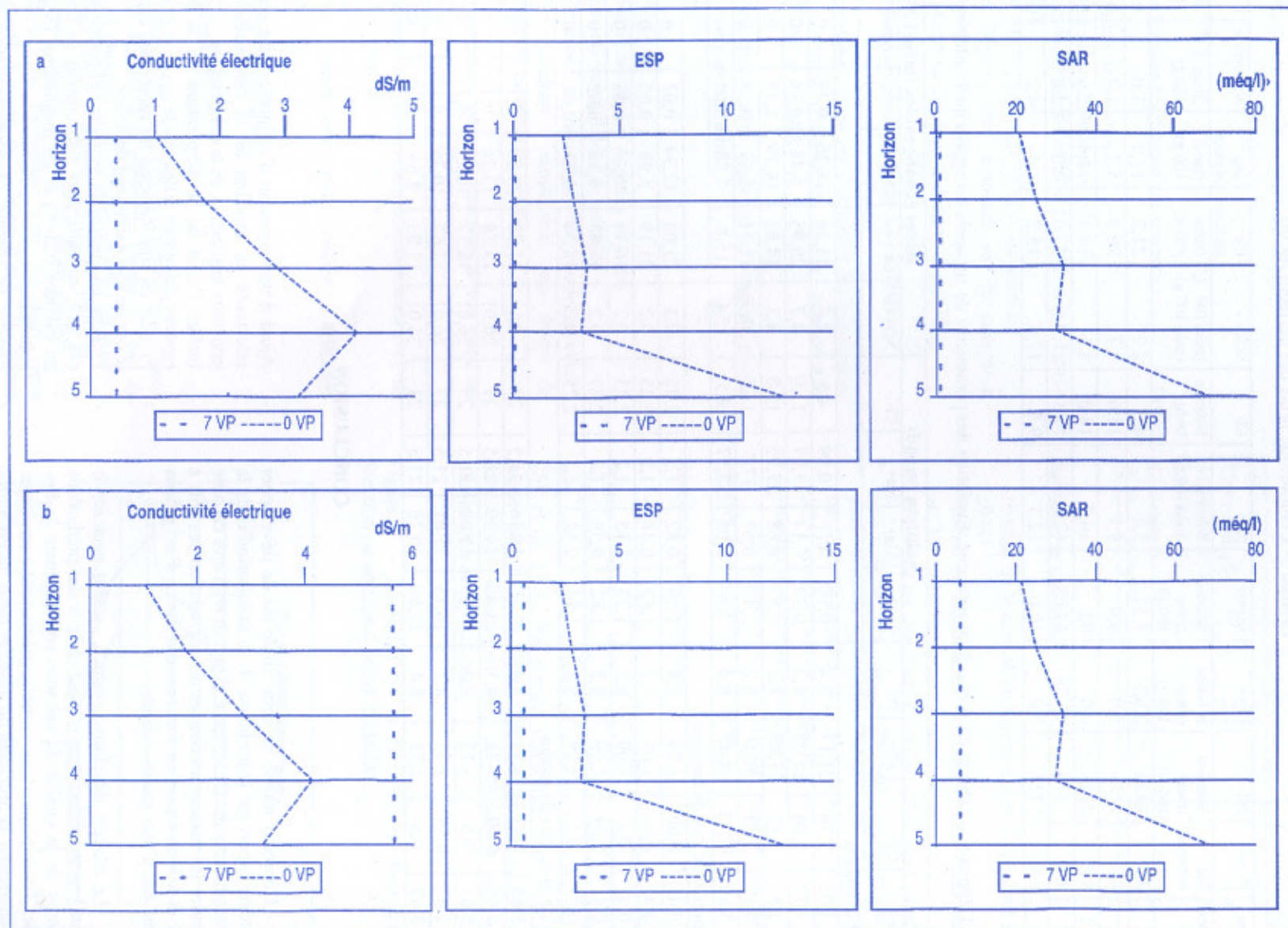
CONCLUSION

L'objectif ultime de cette étude est de développer un système expert sur le problème de la salinisation et de la sodification des sols. Ce système expert devrait être capable de mesurer les risques de dégradation des sols à moyen et à long terme en fonction des doses d'irrigations avec une eau d'une qualité donnée.

Le modèle développé jusqu'à présent peut servir pour des besoins didactiques et pour réaliser des prédictions du devenir de la qualité du sol sous aménagement hydro-agricole. Toutefois, certaines améliorations sont à envisager afin d'augmenter la précision du modèle. Nous citons à titre d'exemple quelques-unes de ces améliorations :

- Ajout d'une équation d'estimation des coefficients de sélectivité en fonction de la composition du sol en minéraux argileux et de la température.
- Inclure l'effet de la température sur la solubilité des espèces chimiques telles que le gypse et la calcite.
- Prendre en considération les remontées capillaires dans le cas de sols à drainage déficient.
- Prendre en compte le système sol-plante dans le bilan des sels, en particulier l'absorption du sodium (Na⁺), du calcium (Ca⁺⁺) et du magnésium (Mg⁺⁺) par les cultures.
- Prendre en compte l'évapotranspiration dans le bilan d'eau.

Figure 4 - Évolution des paramètres de salinité après un apport de 7 volumes poraux d'eau du barrage (a); 7 volumes poraux d'eau de nappe (b)



BIBLIOGRAPHIE

Aniba., 1997 – Effet de l'irrigation sur la salinisation des sols dans le périmètre irrigué des Doukkala. Mémoire de troisième cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 113p.

Badraoui M., Soudi B., Merzouk A., Farhat A. et Mhamdi A., 1998-Changes of soil qualities under pivot irrigation in Bahira region of MOROCCO : Salinization. *Advances in Geocology* 31, 503-508.

Badraoui M., 1998 – Notes de cours, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Butler J.N. 1964 – Ionic equilibrium, A mathematical approach. Addison-Wesley Co., Reading Mass. P.438.

Garrels R.M. and Christ C.H. 1965 – Solutions minerals and equilibria. Harper and Row. Chapter 2.

Griffin R.A. and Juinak J.J., 1973 – Estimation of activity coefficients from the electrical conductivity of natural aquatic systems and soil extracts. *Soil Sci.* 116 : 26-30.

Laudelout H. et Chiang C., 1995 – Modélisation du mouvement des sels dans les sols du Maroc. *Homme Terre et Eaux*, Vol. 25, 100 : 57-61.

Laudelout H., Cheverry C. et Calvet R. 1994 – Modélisation Mathématique Des Processus Pédologiques, Actes Editions, 264p.

McNeal B. L., Oster J.D., and Hatcher J.T., 1970 – Calculation of electrical conductivity from solution composition data as an aid to in-situ estimation of soil salinity. *Soil Sci.* 110 : 405-414.

Richard L., 1954 –Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USSSL., USDA, Handbook 60.

Stumm W. et Morgan J.J, 1981 –Aquatic Chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. 2nd Edition, John Wiley et sons, 780p.

The Soil and Water Testing Lab (S.W.T.L.), 1998 – Irrigation water quality standards and salinity management. Site Web, Texas AetM University, <http://agnews.tamu.edu/drought/drghtpak/salinity.htm>

ASSOCIATION MAROCAINE DES SCIENCES DU SOL A.M.S.SOL



**Siège de l'association
INSTITUT AGRONOMIQUE ET
VETERINAIRE HASSAN II - RABAT**

Boîte Postale 6202

RABAT - INSTITUTS

Tél. : (037) 77 17 58 / 59

Fax : (037) 77 58 38 / (037) 77 12 85

VISITE TECHNIQUE A L'ORMVA DES DOUKKALA

Le 24 Juin 2000

A l'invitation du Directeur de l'ORMVA des Doukkala, l'ANAFID et l'AIGR ont organisé le 24 juin 2000 une visite technique du périmètre du Haut Service des Abda-Doukkala.

Environ 60 personnes représentant les différents organismes, aussi bien publiques que privés, ont participé à cette visite. Les ouvrages visités sont:

- Station de pompage du périmètre du Haut Service;
- Canal principal et ses ouvrages annexes;
- Les réseaux d'irrigation et d'assainissement interne ainsi que le nivellement du secteur 14;
- L'équipement du secteur Br2.1 en réseau d'irrigation en basse pression.

I- PRESENTATION DE L'ORMVAD

Créé par Décret Royal n° 827-66 du 7 Rajab 1386 (22/10/66) l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole des DOUKKALA est un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière et placé sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes.

L'ORMVAD est administré par un conseil d'administration présidé par le Ministre de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes et assisté d'un comité technique présidé par les Gouverneurs des provinces concernées (EL JADIDA & SAFI).

Les principales missions de l'ORMVAD depuis sa restructuration en 1993 sont les aménagements des terres agricoles, gestion de réseau d'irrigation et de drainage et le développement agricole.

Le fonctionnement et la gestion de l'ORMVAD repose sur :

- Direction générale regroupant le service de l'Audit interne et Contrôle de Gestion et le service des Moyens Généraux
- 3 départements opérationnels : Aménagement, Gestion de Réseau et Développement Agricole.
- 2 départements fonctionnels : Ressources Humaines et Planification et Finances.
- 5 Arrondissements et 26 Centres de Développement Agricole sur le terrain.

MISSIONS

Aménagements : Réalisation des travaux de remembrement, et équipement des réseaux d'irrigation et de drainage en irrigué et de travaux d'aménagements fonciers en zone non irriguée.

Service de l'eau : Gestion des ressources en eau et fourniture de l'eau d'irrigation aux exploitations agricoles et maintenance des infrastructures d'irrigation et de drainage.

Mise en valeur agricole :

- Encadrement des exploitants agricoles pour améliorer la productivité agricole et animation des organisations professionnelles.
- Réalisation des missions de service public.

la zone d'action de l'Office s'étend sur une superficie totale de 573.000 ha subdivisée en quatre zones distinctes:

- Le littoral ou zone côtière : 3.800 ha
- Le Sahel : 126.000 ha
- La plaine centrale : 373.200 ha
- Le piémont de Rhamna : 70.000 ha

Cette superficie relève administrativement de deux provinces, 7 cercles et 47 communes rurales.

Province d'EL JADIDA : 533.000 ha
Province de SAFI : 40.000 ha

La population totale de la zone d'action de l'ORMVAD est de 750.000 habitants caractérisée par une forte densité de l'ordre de 140 habitants/km².

II- PROJET D'AMENAGEMENT ET DE MISE EN VALEUR EN BOUR DANS LA ZONE SAHEL DES DOUKKALA

Ce projet intégré, d'un coût estimé de 185 millions de dirhams, est financé dans le cadre d'un don de l'Union Européenne à concurrence de 15 millions d'Euro (165 millions de dirhams). Il prévoit les opérations de remembrement et d'épierrage sur une zone de 14.000 ha, la réalisation des équipements sociaux, le transfert de technologie en matière de mise en valeur agricole ainsi que l'animation féminine

La zone du projet s'étend sur cinq communes rurales dépendant de la province d'EL JADIDA; il s'agit de:

- Sidi Smaïl
- Zaouïat Saïss
- Sebt Saïss
- Ouled Ghanem
- Sidi M'Hamed Akhdim.

Le Projet a pour objet la stabilisation de la propriété foncière, le désenclavement de la zone, l'amélioration des conditions de vie des populations, la protection de l'environnement, l'intégration de la femme dans le processus de production, la création d'emplois qui passera de 114.000 J.T/an à 200.000 J.T/an et l'amélioration de la valeur ajoutée qui passera de : 406 à 3.465 DH/ha.assolé.

Les composantes du projet sont:

- L'aménagement Foncier:
 - Le remembrement : 14.000 ha
 - Le défoncement et épierrage : 14.000 ha
- L'aménagement des pistes : 280 Km
 - Les pistes Stabilisées : 230 Km
 - Les pistes revêtues : 50 Km
- L'alimentation en eau potable : 45 Douars (Réseau - Points d'eau...)
- L'électrification
 - 200 Kits pour usage collectif: écoles, dispensaires, mosquées...
 - 3 Groupes Electrogènes : équipement de trois villages.
- L'aménagement sylvo-pastoral : 200 ha
- L'intensification de la production agricole et vulgarisation
- La vulgarisation féminine

Les travaux de remembrement et d'épierrage ont déjà touché une superficie de 8500 ha et continueront avec la réalisation des autres composantes au cours des prochains exercices.

III- AMENAGEMENT HYDRO-AGRIcoles DANS LA ZONE D'ACTION DE L'ORMVAD

Le plan directeur d'aménagement de la plaine des Abda - Doukkala prévoyait l'irrigation à terme de 125.000 Ha à partir de l'Oued Oum Er-Rbia, répartie entre deux périmètres :

- Périmètre Bas-Service : 61.000 Ha
- Périmètre Haut-Service : 64.000 Ha

2- 1 - Périmètre bas-service

Le périmètre Bas-Service des Doukkala est desservi à partir de la retenue d'Imfout (Capacité de stockage 85 millions de m³) implantée sur l'oued Oum Er-Rbiâ (débit moyen annuel est de 117 m³/s) et contrôlée par le barrage d'Al Massira (capacité de stockage 2.800 millions de m³)

Les principaux ouvrages qui assurent l'irrigation du périmètre Bas-Service sont :

- La galerie d'Imfout: 16,7 Km de longueur, 5,3 m de diamètre et 36 m³/s de débit;
- 2 stations de relevage et 11 stations de mise en pression;
- Le canal principal d'une longueur totale de 111 Km et de 42 m³/s de débit en tête.
- Le canal intermédiaire d'une longueur de 24 Km et 7,2 m³/s de débit de tête.

Le périmètre Bas-Service se compose des casiers suivants:

Casier	Superficié (Ha)	Mise en eau
Gravitaire		
Faregh	8.900	1958
Sidi Smaïl	8.000	1963-68
Sidi Bennour	9.300	1975
Cuvette Sidi Smaïl	1.500	1991
Total	27.700	
Aspersion		
Boulaouane	1.100	1970
Zemamra	16.000	1977-80
Gharbia	13.000	1982-84
Extension Faregh	1.900	1986
Extension Sidi Smaïl	1.400	1986
Total	33.400	

Du point de vue mise en valeur agricole, le périmètre Bas-Service a une orientation de contribution à l'autosuffisance alimentaire du pays qui privilégie la production des produits alimentaires de base : céréales, sucre, lait, viande, maraîchage...

Les productions animales annuelles sont 200 millions de litres de lait dont 108 millions de litres commercialisés et 15.000 tonnes de viandes rouges.

L'irrigation du périmètre Bas-Service a généré une valeur ajoutée annuelle de l'ordre de 1.024 millions de Dirhams, soit près de 16.000 DH/ha/an. Le revenu par hectare est passé de 800 DH (en bour) à 13.300 DH après irrigation.

L'irrigation du périmètre Bas-Service a contribué également à résorber le sous-emploi en milieu rural dans la zone, par la création de 11,55 millions de journées de travail par an.

2-2- Périmètre haut-service

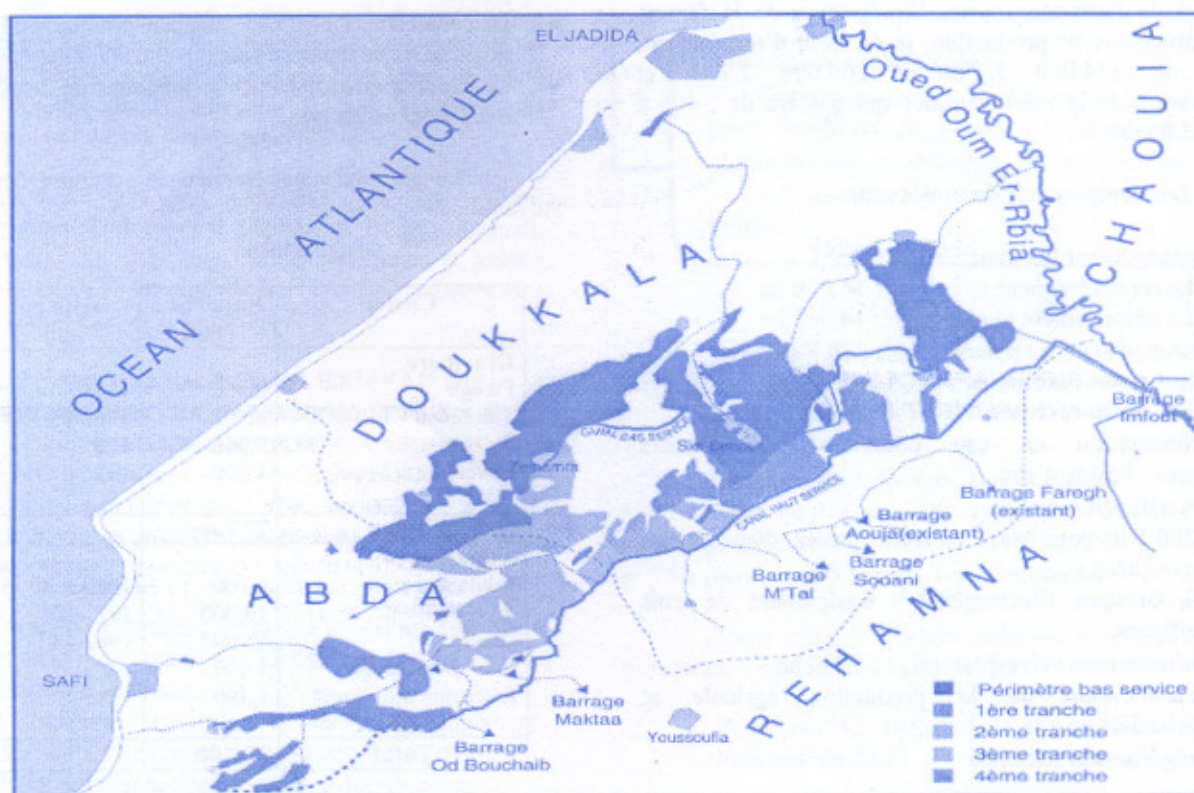
Le projet du Haut Service des Abda-Doukkala qui prévoit d'aménager en vue de l'irrigation une superficie de 64.000 ha, représente en terme de superficie 25% du Programme National d'Irrigation (PNI) et constitue de ce fait l'une des composantes essentielles de ce programme.

A terme, la réalisation de ce projet permettra de porter la superficie irriguée du Périmètre des Abda-Doukkala à 125.000 hectares contre 61.000 ha actuellement irriguée.

Territorialement, les superficies nouvellement irriguées dans le cadre de cet aménagement seront également réparties entre les provinces de SAFI et d'EL JADIDA.

L'aménagement du périmètre du Haut Service est prévu en quatre tranches:

Tranche	Province d'ElJadida	Province de Safi	Total
Première tranche	16.000	-	16.000
Deuxième tranche	16.000	3.000	19.000
Troisième tranche	-	16.000	16.000
Quatrième tranche	-	13.000	13.000
Total	32.000	32.000	64.000



Les ouvrages de mobilisation des eaux communs à l'ensemble des quatre tranches dont les travaux ont démarré en début de l'année 1994, sont achevés. Ces infrastructures sont :

- La galerie d'amenée d'eau: 13 Km de long, 6,4 m de diamètre et 38 m³/s de débit;
- La station de pompage, équipée de 12 groupes électropompes de 24 Mw de puissance totale, assure un débit de 38 m³ / s sur une hauteur de refoulement de 41 m;
- Le canal principal d'une longueur totale de 136 Km, est réalisé sur 78 Km.

Les travaux d'équipement du périmètre (réseaux d'irrigation, d'assainissement, de pistes et aménagements fonciers), se déroulent à présent sur 33.400 hectares correspondant aux deux premières tranches du projet (non compris 1.600 ha de terrains agricoles non dominés gravitairement par le canal principal). Ces travaux quasiment achevés sur 14.400 ha de la première tranche, avancent d'une manière satisfaisante sur les 19.000 ha de la seconde tranche.

La mise en eau de ces deux tranches se fera selon l'échéancier suivant :

Date prévisionnelle de mise en eau	Superficie irriguée (Ha)	Superficie cumulée (Ha)
Sup. mise en eau	14.226	14.226
Sept. 2000	3.875	18.101
Mars 2001	4.609	22.710
Sept. 2001	10.690	33.400

Du point de vue mise en valeur agricole, le projet a une orientation de contribution à l'autosuffisance alimentaire du pays qui privilégie la production des produits alimentaires de base : céréales, sucre, lait, viande, maraîchage...

L'irrigation de la zone du projet, associée à l'intensification de l'encadrement, permettra de réaliser en croisière les productions annuelles suivantes :

Culture	Production (tonnes)
Betterave à sucre	1.200.000
Blé	100.000
Maraîchage	400.000
Fourrages	1.750.000
Maïs grain	21.000
Oléagineux	2.000

Les productions animales annuelles attendues sont estimées à 140 millions de litres de lait et 8.700 tonnes de viandes rouges.

Le projet générera une valeur ajoutée annuelle de l'ordre de 1.000 millions de Dirhams, soit près de 16.000 DH/ha/an. Le revenu par hectare passera de 800 DH (en bour) à 13.300 DH après irrigation.

Le projet contribuera également à résorber le sous-emploi en milieu rural dans la zone, par la création de 7 millions de journées de travail par an.

Le coût global du projet du Haut Service (64.000 ha) est estimé à 8.050 millions de Dirhams; celui des deux premières tranches s'élève à 4.720 millions de Dirhams. Le financement de ces deux premières tranches (33.400 ha) est assuré, à hauteur de 77%, par des prêts directs contractés par l'ORMVAD auprès de plusieurs bailleurs de fonds internationaux :

- La Banque Africaine de Développement (1040 millions de Dirhams);
 - Le Fonds Arabe de Développement Economique et Social (750 millions Dirhams);
 - La Banque Européenne d'Investissement (640 millions de Dirhams);
 - La Banque Japonaise de la Coopération Internationale (1.200 millions de Dirhams).
- Le complément (1.090 millions de Dirhams) est supporté par le budget de l'Etat.

AUTO-HALL

Avenue Lalla Yacout - Casablanca
Tél. : (022) 44 21 21 / 31 70 44
Fax: (022) 31 89 15

JONVAL

RECHERCHE DE TECHNIQUES D'IRRIGATION ADAPTEES AL'IRRIGATION DE COMPLEMENT DU BLE DANS LA ZONE DU GHARB

Majida BOUBAGRA¹
Yahaya SOULEY¹

Le présent travail a été effectué dans le cadre de la deuxième année d'un projet de soutien au développement agricole (PSDA). L'étude qui s'étale sur deux ans est réalisée par la collaboration entre les chercheurs du groupement INRA-IAV Hassan II et les cadres de l'ORMVAG.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont (i) déterminer le ou les modes d'irrigation gravitaire le (s) mieux adaptés aux aménagements hydro-agricoles du Gharb pour les apports de complément des céréales (ii) comparer le/les modes d'irrigation gravitaire au mode d'irrigation par aspersion et (iii) valider l'approche d'avertissement à l'irrigation de complément.

Pour atteindre ces objectifs, un essai en plein champs a été conduit dans le domaine expérimental de l'INRA à Sidi Tazi où des bassins à fond plat, des planches de largeur 6,12, et 18m ; des raies d'écartement 1,2 et 4 m et une parcelle d'aspersion ont été testés. Le matériel végétal est le blé tendre de variété Achar, la date et la dose de semis, la fertilisation, les traitements contre les maladies ainsi que les doses et les dates de l'irrigation ont été identiques pour les quatre modes d'irrigation. Ces mêmes techniques, à part l'apport d'eau par irrigation, ont été appliquées au niveau des parcelles "témoins".

La gestion de l'irrigation a été basée sur l'estimation du déficit hydrique par bilan hydrique du sol à l'aide du calcul de l'évapotranspiration de référence par la formule de Penman Monteith. Un suivi de l'humidité du sol par gravimétrie et des relevés des températures de surface par radiothérométrie infra-rouge ont servi comme base de vérification des calculs du bilan hydrique. Ainsi pour la campagne nous avons eu recours à deux irrigations : une du 19 au 23 décembre pour favoriser le pourcentage de la levée, et l'autre du 14 au 19 avril en phase de remplissage des grains. L'analyse du rendement a été faite à travers ses composantes : nombre d'épis/m², nombre de grain/épi, poids de 1000 grains, rendement en grain et en matière sèche totale.

Il ressort des résultats de l'essai que :

- La campagne 98-99 s'est caractérisée par des précipitations qui n'ont pas dépassé 205,7 mm. La demande climatique calculée par la méthode de

Penman Monteith a été de l'ordre de 580 mm sur la période allant de décembre à mai.

- Pour toutes les parcelles, les déficits hydriques mesurés par gravimétrie sont proches de ceux estimés par l'approche climatique. L'écart moyen entre ces deux déficits était de l'ordre de 7,78 mm par période de mesure. L'indice thermique CWSI calculé à partir des mesures de température de surface a évolué de 0.13 à 0.42 avant irrigation et est négatif après irrigation pour la plupart des parcelles.
- Les meilleures performances de l'irrigation à la parcelle ont été enregistrées au niveau des planches de largeur 6 m et 18 m et à la parcelle d'aspersion.
- Le rendement grain, obtenu au niveau des huit (8) parcelles irriguées a varié de 41.9 (parcelle aspersion) à 67.4 qx/ha (parcelle bassin). Quand à l'efficacité d'utilisation de l'eau par la production grain la variation est de 8.9 (parcelle R 1 m) à 13.3 Kg/mm (parcelle aspersion). Le gain de rendement grain est de 33.1 ; 32.2 ; 27.5 ; 27.5 ; 30.3 ; 31.3 ; 26.9 qx/ha par rapport aux parcelles "témoins" respectivement pour les parcelles P 6 m, P 12 m, P 18 m, R 1 m, R 2 m, R 4m, bassin et aspersion.
- La marge réalisée au niveau des parcelles irriguées après une analyse économique a varié de 5049 (parcelle aspersion) à 9991.5 Dh/ha (parcelle bassin). Les parcelles témoins ont donné un bénéfice de 1269 Dh/ha et 4566.5 Dh/ha respectivement pour le témoin des raies - planches - aspersion et le bassin témoin.

Parallèlement à l'essai sur les modes d'irrigation, un suivi du déficit hydrique au niveau de 3 parcelles est effectué en vue d'évaluer les apports de complément de blé chez les agriculteurs. Les résultats montrent la nécessité de mieux cibler les arrosages en fonction du stress réel du couvert du blé. La mise en œuvre d'un système d'avertissement devra tenir compte des contraintes dont le nivellement du terrain, le tour d'eau et le risque d'inondation. Cet aspect reste à approfondir dans l'avenir.

Mots clés :

Gharb - irrigation - blé - déficit hydrique - rendement

¹ Elèves Ingénieurs du Génie Rural / Mémoire de 3^{ème} cycle de L.T.A.V. Hassan II

I- PROBLEMATIQUE

Près de 211000 hectares sont annuellement emblavés en céréales dans la zone du Gharb dont 78 % en blé tendre, 14 % en blé dur et 8 % en orge. Parmi les 211000 ha, 30000 ha sont équipés dont une faible proportion (25 %) est effectivement irrigués à cause d'une technique adaptée à l'irrigation de complément. La production totale reste toutefois tributaire des aléas climatiques, notamment la mauvaise distribution des précipitations qui caractérisent le périmètre. A côté de cette donnée structurelle viennent se greffer des techniques culturales inappropriées. Effectivement, les travaux du sol sont très simplifiés et se résument dans 65 % des cas aux travaux superficiels (Karmoussi, 1996, cité par Ambri et Lahlou 1998), l'usage des intrants et des semences sélectionnées et faible et l'irrigation est mal gérée par les quelques agriculteurs qui la pratiquent. D'après Karmoussi (1996), cité par Ambri et Lahlou (1998), 9 à 12 % des emblavements céréaliers sont irrigués en année sèche et seulement 1 % en année normale.

Toutefois, les aménagements hydro-agricoles de la zone permettent de conduire des irrigation de complément.

Les études entreprises par les chercheurs de l'IAV Hassan II et ceux de l'INRA démontrent qu'une seule irrigation d'appoint de 60 mm, engendre une augmentation de 50 à 100 % par rapport au témoin pluvial et peut produire jusqu'à 80 % du potentiel permis par l'irrigation à l'ETM. Les apports hydriques au début du cycle comparés à ceux du milieu et le fin de cycle sont 4 fois sur 5 les plus productifs et 3 fois sur 5 les plus efficaces (Lahlou, 1988 ; Boutfirass, 1989 ; Belbsir, 1994 ; Laaroussi, 1991 et El Ghali, A, 1992).

L'irrigation d'appoint s'avère donc importante mais sa faisabilité est tributaire d'un certain nombre de facteurs :

- Au problème de nivellement du terrain qui peut entraîner la mauvaise uniformité de distribution de l'eau dans la parcelle.
- A la faiblesse des débits disponibles en tête de la parcelle et donc des durées d'irrigation excessivement élevées allant jusqu'à 25 h/ha pouvant engendrer les coûts de main d'œuvre élevés.
- A la mauvaise gestion de l'irrigation en terme de date d'apport liée au « tour d'eau ».
- Aux faibles quantités distribuées jugées déficitaires ne couvrant pas les besoins en eau de la culture.

Dans quelle mesure l'irrigation d'appoint permettrait-elle d'améliorer et de stabiliser les rendements dans la zone du Gharb ?

Par ailleurs, et tenant compte des données pédologiques et des caractéristiques des équipements hydro-agricoles du périmètre du Gharb, les problèmes liés à la conduite de l'irrigation d'appoint des céréales se posent avec une plus grande acuité : La recherche de dispositifs adéquats pour mener à bien ces irrigations de complément est une étape indispensable et primordiale. De même que la validation de l'approche d'avertissement à l'irrigation de complément.

C'est dans cet optique que ce travail a été entrepris. Les objectifs que nous nous sommes fixés sont les suivants :

- Déterminer le/les modes d'irrigation gravitaire le(s) mieux adapté(s) aux aménagements hydro-agricoles du Gharb pour les apports de complément des céréales.
- Comparer les modes d'irrigation gravitaire avec le mode d'irrigation par aspersion.
- Suivre le déficit hydrique au niveau de quelques exploitations représentatives en vue d'évaluer la possibilité de mise en œuvre d'un avertissement à l'irrigation d'appoint des céréales dans le Gharb.

II- LES BASES DE L'IRRIGATION DE COMPLEMENT

2-1- Introduction

Aussi bien l'ingénieur que l'agriculteur cherchent depuis toujours à augmenter la production. Cette dernière est généralement tributaire d'un certain nombre de facteurs dont l'eau peut être citée en première place.

La régularisation et l'augmentation des rendements sont donc directement liées à la bonne maîtrise du cycle de l'eau et du matériel végétal.

Pour rationaliser et programmer les irrigations, il faut bien connaître les caractéristiques hydriques du sol et de la plante, car tout apport excessif ou déficitaire se répercute négativement sur la production et/ou sur l'économie de l'eau.

La maîtrise de la technique d'irrigation reste primordiale, elle repose principalement sur la détermination des besoins en eau des céréales et la connaissance du moment opportun d'apport de cette eau.

Vu la rareté de l'eau et son prix élevé au Maroc les recherches se sont orientées vers la valorisation du mètre cube d'eau surtout dans les zones arides et semi-arides du pays, d'où la naissance du concept de l'irrigation de complément.

2-2- Concepts et définitions

L'irrigation classique consiste à apporter l'eau pour satisfaire les besoins en eau de la plante tout au long du cycle de la culture. Ceci pour lui assurer un développement dans des meilleures conditions et pour améliorer et stabiliser les rendements. Cependant, l'eau est une ressource rare. Par conséquent, l'irrigation pérenne devrait disparaître pour céder la place à l'irrigation d'appoint où la quantité d'eau, la fréquence des apports et les phases d'apports sont contrôlées.

Bien que l'application soit récente, le concept de l'irrigation de complément (limitée) semble être très ancien.

En effet, Stewart et Musick (1982) cité par El Massaouidi (1993) rapportent que cette technique a été pratiquée dans les hautes plaines de Texas durant la sécheresse des années trente.

Plusieurs définitions ont été émises pour classifier le concept de l'irrigation d'appoint. Selon Aït kadi (1985), l'irrigation de supplément est l'eau nécessaire pour combler les déficits pluviométriques de façon à ce que la pluie plus l'irrigation puissent assurer un régime hydrique dans le sol permettant d'obtenir de hauts rendements.

Arar (1987), Perrier et Salkini (1987), ont défini l'irrigation d'appoint comme étant l'apport d'eau dans les conditions où les cultures peuvent croître par la pluie seule, mais où l'eau supplémentaire permettra de stabiliser et d'améliorer le rendement.

Pour Saleh(1987), l'irrigation d'appoint est définie comme étant l'application de petites quantités d'eau pendant la période où les cultures sont sujettes à un déficit hydrique suite à une sécheresse inattendue.

Zaghloul (1987) a défini l'irrigation supplémentaire comme étant la satisfaction des besoins en eau des cultures durant les phases critiques de leur développement.

D'après El Mazouzi (1988), l'irrigation de complément est une technique qui vise la bonne utilisation des ressources naturelles en apportant à la plante les doses d'eau fixes à des moments préétablis et réguliers de son cycle.

Pour clarifier ce concept la neuvième session de la commission régionale du moyen orient de la F.A.O., (tenue le 7 et 9 décembre 1987 à Rabat sur l'utilisation de l'eau et de la terre), a décidé de définir l'irrigation de complément comme suite : « L'irrigation de complément est le processus d'apporter un supplément d'eau en vue de stabiliser et /ou d'augmenter les rendements en quantité et en qualité dans les sites où les conditions de cultures

pluviales, normales, sont réunies et où l'irrigation de complément seule, ne permet pas de réussir la culture ». C'est cette définition qui sera adoptée.

En résumé, plusieurs définitions ont été données à ce concept, mais le sens général reste toujours le même. En effet, toutes ces définitions convergent vers un même point qui est l'augmentation et la stabilisation des rendements par des quantités limitées d'eau.

Ceci laisse donc supposer que la stratégie de l'irrigation d'appoint est d'optimiser la production par unité d'eau appliquée plutôt que de maximiser le rendement par unité de surface.

2-3- Intérêts de l'irrigation de complément

Selon Perrier et Salkini (1987), l'intérêt d'une irrigation de complément pour une culture pluviale peut être résumé en les points suivants :

- Augmentation et stabilisation des rendements.
- Amélioration de la qualité de la production.
- Augmentation de la superficie des terres cultivées.
- Conservation de l'eau et réduction du coût de la culture.

Les études antérieures de l'irrigation d'appoint se sont intéressées à deux aspects concernant :

- La dose d'apport :

Il a été démontré qu'une application de 60 à 150 mm d'eau s'insère dans le cadre des irrigations limitées et engendre une augmentation considérable du rendement (plus que le double dans certaines situations). (Ambri et Lahlou, 1998).

- Le stade d'apport :

L'irrigation d'appoint ne consiste pas à apporter l'eau à chaque stade sensible, mais à irriguer au moment où l'efficacité de son utilisation est la plus grande. (Ambri et Lahlou, 1998).

Quant une seule irrigation d'appoint peut être administrée et tenant compte de la physiologie du blé, la plupart des auteurs recommandent le début ou le milieu de cycle. Dans des cas rares la fin du cycle est recommandée.

Il y a donc des divergences entre autres sur la phase la plus sensible qui dépend de l'environnement et de la procédure expérimentale adaptée. Il faut donc faire une approche analytique qui consiste à voir l'effet d'une irrigation (ou d'un déficit hydrique) sur les composantes du rendement et ses répercussions sur le rendement final.

2-3-1- Effet de l'irrigation d'appoint sur les composantes du rendement

2-3-1-1 Effet de l'irrigation d'appoint en début du cycle (ou tallage).

Dans certaines études effectuées au Maroc, les chercheurs ont mis en évidence la supériorité de l'irrigation en début de cycle par rapport à celles du milieu et de la fin du cycle et ce, dans différentes zones agro-climatiques du pays, Chaouia, Saïs, Doukkala. (Ouattar et Lahlou, 1991), (Ouattar et Belbsir, 1990), (Bazza et Laaroussi, 1991) et (Bazza et El Ghali, 1992).

L'amélioration des rendements par rapport aux témoins pluvieux a varié de 20 à 35 qx/ha pour le grain et de 35 à 100 qx/ha pour la biomasse totale. Comparés avec le régime irrigué à l'ETM, les traitements irrigués en début de cycle (tallage) ont permis d'obtenir 80 % en moyenne de ce dernier. La supériorité des régimes irrigués au tallage a été également mise en évidence dans d'autres pays (Hooker et al., 1983 ; Prihar et al., 1989) aussi bien en ce qui concerne le rendement grain la biomasse totale que l'efficacité d'utilisation de l'eau.

Dans des études de modélisation menées par El Mourid et al en 1992, il a été prouvé que l'effet de la date de l'irrigation varie selon la région et selon la profondeur du sol. Ainsi, pour la région de Khouribga, une meilleure stabilité interannuelle des rendements grain est obtenue avec l'irrigation de complément en début de cycle. A Jmaa shim, ce résultat a été obtenu aussi bien sur sol profond que sur sol peu profond.

Dans la plupart de ces recherches, il a été démontré que ce sont les composantes nombre d'épis/m² ou nombre de grain/m², améliorées par les irrigations précoces, qui sont à l'origine des résultats obtenus.

D'autres auteurs trouvent leurs explications quant à l'intérêt des irrigations précoces dans le fait qu'il existe des corrélations entre le rendement et le niveau de matière sèche produite à l'anthesis ; l'augmentation de ces niveaux est permise surtout par les apports d'eau en début de cycle. C'est ainsi que Fischer et Kohn (1966), Kohn et al, (1970) ; Doyle et Fischer (1979) Dunphy et al. (1984) ; Turner et al. (1987), ont rapporté des corrélations positives entre le rendement et la matière sèche à l'anthesis.

Un modèle a d'ailleurs été élaboré par Fischer (1979) où il a été démontré le besoin d'un niveau élevé de matière sèche à l'anthesis pour la production d'un bon rendement grain chez le blé.

Tenant compte de ces résultats de recherches, la théorie selon laquelle le développement végétatif se fait au détriment du développement reproducteur n'est pas justifiée (rapport de la première phase).

2-3-1-2 Effet de l'irrigation d'appoint en milieu du cycle (ou épiaison).

Dans une étude conduite par Boutfirass dans la zone de Settat (1990), le meilleur résultat en terme de rendement global est obtenu par le régime irrigué en milieu de cycle (épiaison), suivi du régime irrigué en début du cycle et en fin de celui irrigué en fin de cycle.

De même Guerdouh et al (1987) soulignent que l'irrigation durant l'épiaison est prioritaire et devient obligatoire dans le cas d'absence de pluie. Beaucoup d'auteurs recommandent d'appliquer les irrigations d'appoint autour de l'épiaison. Nous citons : vis (1978), Dorenboss et Kassem (1979), Lawlor et al (1981) et Aggarwal et al (1986).

Lelievre (1981) en procédant à une estimation des rendements en fonction du déficit hydrique autour de la phase épiaison a démontré que les chutes de rendement de 30 %, 70 % et 100 % sont associées respectivement à des déficits hydriques de 30, 100 et 150 mm. Autrement dit, une seule irrigation pendant la phase de montaison-épiaison permettrait de presque doubler le rendement.

En outre, Lelievre et al, (1982) ont trouvé, pour une large période entourant l'épiaison, une relation étroite entre le rendement et le rapport ETR/ETM.

Ainsi, une irrigation pendant cette phase permet de favoriser la consommation en eau et par suite le rendement.

L'explication donnée par ces auteurs réside dans le fait que le nombre de grain peut être affecté irréversiblement si un manque d'eau se produit durant cette phase. En effet, la phase montaison est caractérisée par la différenciation des organes floraux (anthèses, stigmates...) ainsi que la formation des gamètes (pollen et ovules) et la phase épiaison est caractérisée par la fécondation.

2-3-1-3. Effet de l'irrigation d'appoint en fin du cycle (ou grossissement du grain)

L'analyse des données climatiques au Maroc montre que dans la plupart des régions, la fin du cycle de blé est la plus sujette au déficit hydrique (El Qortobi, 1987 ; Fezzat, 1986 ; Ouattar, Ameziane et Baidada, 1989 cité par Ambri et Lahlou 1998).

Ainsi, une irrigation d'appoint pendant cette phase est recommandée.

L'effet du déficit hydrique pendant la phase grossissement du grain réduit l'activité photosynthétique et la translocation des assimilats vers le grain (source principale de l'accumulation de la matière sèche dans le grain) et l'apport d'eau durant améliore le poids de 1000 grains, ce qui augmente le rendement d'une manière non négligeable.

Passioura (1977), Richards (1983) rapportent qu'un déficit hydrique en post-anthèse réduit l'indice de récolte, lequel détermine le rendement grain.

Hamdy (1987), en étudiant l'effet du régime hydrique sur la phase de remplissage du grain, a conclu que l'irrigation supplémentaire à l'anthèse améliore de 30 % le nombre d'épis fertiles.

Tableau 1: Effet de l'irrigation d'appoint sur les composantes du rendement du blé dans le Gharb.

Régime	Nombre d'épis/m ²	Nombre de grains/épis	Nombre de grains/m ²	Poids de 1000 grains
I010	340.00 B	32.28 B	10972 B	46.15 B
I001	320.83 B	33.85 A	10865 B	48.62 A
I011	381.17 A	34.58 A	13162 A	47.73 A
I000	243.83 C	26.13 C	6386 C	43.17
Moyenne	321.46	31.71	10346	46.42

Source : Ambri et Lahlou, 1998

Avec :

I010 : Régime irrigué en milieu du cycle (épiaison).

I001 : Régime irrigué en fin de cycle (grossissement du grain).

I011 : Régime irrigué en milieu du cycle et en fin de cycle.

I000 : témoin pluvial non irrigué.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5 %. On constate que le régime irrigué en milieu et en fin du cycle a donné les meilleures composantes de rendement. Il est suivi par le régime irrigué en fin du cycle, et en dernier lieu le régime irrigué en milieu du cycle.

2-3-2- Effets du déficit hydrique sur la qualité du grain

La sécheresse agit sur la composition chimique du grain dont dépendent les qualités technologiques liées surtout à la nature des protéines qu'il contient.

Un déficit hydrique entraîne en général une augmentation de la teneur en protides et une diminution des glucides. Ainsi, Soluski et Paul, cités par Laaroussi (1991), ont montré qu'à tous les stades de développement, un stress hydrique augmente la teneur en azote de la farine et que le grain contient le maximum de protéines quand il subit un flétrissement périodique. Le déficit hydrique détériore donc la qualité du grain.

2-3-3- Rentabilité économique de l'irrigation de complément

En terme économique, toutes les dépenses engendrées par l'irrigation de complément doivent être prises en considération et comparées au gain réalisé pour pouvoir juger de sa rentabilité. Ainsi l'irrigation d'appoint

n'est rentable que lorsque le gain de production est supérieur au coût de l'irrigation.

En Syrie, le bénéfice réalisé sur une culture de blé a été augmenté de 98 % à 191 % malgré le coût élevé de l'irrigation par les forages privés (Bailey, 1982 ; cité par Boutfirass, 1990).

Au Pakistan, l'irrigation d'appoint a permis un revenu net 6 à 10 fois supérieur à celui obtenu en sec (Rafiq, 1987).

Au Maroc, même si le prix actuel du mètre cube d'eau dans les périmètres irrigués augmente substantiellement, une irrigation pendant la phase la plus critique restera rentable et hautement justifiée (Ouattar et Ameziane 1989).

Cette déclaration est soutenue par la conclusion de Ambri (1987) qui a rapporté, pour une culture de blé, des augmentations du revenu net à l'hectare 4 à 6 fois supérieures au sec, selon les régions.

Tableau 2 : Effet de l'irrigation supplémentaire sur les rendements du blé dans quatre régions du Maroc.

Régions	Rendement sans I.S* (Qx/ha)	Rendement avec I.S* (Qx/ha)	Pluie (mm)	Nombre d'irrigations
Aïn Taoujdate	15 à 20	30 à 45	500	2 à 3
Aït Ourir	10 à 12	30 à 40	450	2 à 4
Berrechid	10 à 12	35 à 45	400	2 à 3
Taurirt	4 à 10	20 à 25	275	5 à 6

*I.S : irrigation supplémentaire source : Ambri et Lahlou, 1998

Selon Bazza et Stockten (1990), cités par El Masaoudi, l'apport de faibles quantités d'eau (50 à 100 mm), pendant la période de fin du cycle (mars - avril - mai) ; sous forme d'irrigation de complément aurait une très grande rentabilité et améliorerait considérablement les rendements.

El Alami 1992, cité par El Massaoudi 1993, dans une étude sur la rentabilité économique de l'irrigation supplémentaire a conclu, pour la culture du blé, que :

- Pour un niveau de production faible (15 Qx/ha), d'irrigation d'appoint est non rentable quelle que soit la superficie de l'exploitation considérée.
- Pour un niveau de production moyen (30 Qx/ha), l'irrigation d'appoint n'est rentable que pour des superficies supérieures à 20 ha avec la rampe et 60 ha avec le pivot.
- Pour un niveau de production élevé (60 Qx/ha), l'irrigation d'appoint est largement rentable quelle que soit la superficie considérée et la technique envisagée.

Conclusion

En définitive, nous remarquons que la question de la phase la plus critique reste controversée, mais la variabilité interannuelle des précipitations conduit à adapter chaque année à un programme d'irrigation de complément différent. La gestion des arrosages tenant compte du déficit hydrique permis (DHP) est donc plus que jamais indispensable s'il faut atteindre l'objectif fixé sur le plan national, c'est à dire celui d'obtenir 50 Qx/ha.

2-4- Besoins en eau des céréales

Les besoins en eau d'une culture, pendant une période donnée, sont définis comme étant la quantité d'eau nécessaire pour satisfaire l'évapotranspiration (ET) pendant cette période dans les conditions où la culture est exempte de maladies, sous les conditions non restrictives notamment de l'alimentation en eau et de la fertilité du sol et atteignant une production optimale dans le milieu de croissance considéré (Doorenbos et Pruitt, 1977).

Donc la maîtrise des besoins en eau des cultures passe par la détermination expérimentale de leur évapotranspiration maximale (ETM) et ce, généralement, n'est pas requis pour tous les bioclimats du pays. Ainsi, on utilise une approche théorique de ces besoins en eau par une évaluation utilisant l'une des expressions de ET climatique qui sont, en fait des approximations de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Selon Doorenbos et Kassam (1987), les besoins en eau du blé correspondant à des bons rendements varient entre 450 et 650 mm/an suivant le climat et le type de variété (précoce ou tardive).

Les études menées à Settat et au Tabla ont montré que les besoins totaux d'une culture de blé se situent autour de 550 mm pour un cycle de 150 jours. Les besoins sont plus faibles (480 mm) pour les variétés à cycle court et les semis précoces, et relativement plus élevés (630 mm) pour les génotypes à cycle long et pour les semis tardifs (Ouattar et Ameziane, 1989).

El Baghati (1983) rapporte que les besoins totaux sont de l'ordre de 500 mm/saison en zones arides et de l'ordre de 400 mm en zones semi-arides avec un maximum en période de mars-mai.

Ouattar et Bouaziz (1985) cités par El Massaoudi (1993), ont inclus, à travers des essais expérimentaux sur le comportement du blé vis à vis de différents régimes hydriques, que pour assurer une production de grain il faut un seuil minimum de 180 mm. En cas de consommation inférieure à ce seuil la production en grain est pratiquement impossible, et seule la paille peut être récoltée.

Tableau 3 : Besoins en eau mensuels du blé en zones semi-arides et arides du Maroc.

Zones	Besoins en eau Déc-Fév en (mm/mois)	Besoins en eau Mars-Mai en (mm/mois)	Total de la saison en (mm)	Période du déficit hydrique
Zones arides	40 à 50	46 à 120	500	Nov-Mai
Zones semi-arides	40 à 50	60 à 120	400	Mars-Avril

Source : El Baghati (1983) cité par El Massaoudi (1993)

2-5- Disponibilité en eau et développement du système racinaire

Plusieurs auteurs rapportent que l'eau, parmi d'autres facteurs, constitue le facteur le plus important dans la croissance et le fonctionnement racinaire. Il peut agir directement, en modifiant l'état de la croissance et de la turgidité de la plante, et indirectement, en modifiant les autres facteurs physiques du sol du fait que les racines trouvent moins de difficultés à pénétrer dans un sol humide que dans un sol sec.

Certains auteurs rapportent qu'un déficit hydrique modéré est bénéfique au début du cycle car il permet un développement et une croissance très importante des racines. Il s'agit là d'une adaptation immédiate aux conditions de sécheresse. Généralement les plantes préfèrent utiliser l'eau des horizons superficiels avant de recourir aux couches profondes en cas de besoin.

Tableau 4 : Distribution de l'absorption de l'eau du sol par le blé en fonction de la profondeur racinaire.

% d'absorption d'eau	50 à 60	20 à 25	10 à 15	< 10
Profondeur (cm)	0 à 30	30 à 60	60 à 90	90 à 120

Source : Doorenbos et Kassam, 1987

2-6- Efficience d'utilisation de l'eau et irrigation de complément

L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) permet une quantification des liaisons entre la production des cultures et leurs consommations hydriques. Autrement dit, c'est une grandeur qui caractérise le coût de la production végétale ("output"/ "input"). Les outputs peuvent être le rendement grain ou la biomasse totale. Les inputs peuvent être la transpiration, l'évapotranspiration ou la quantité totale d'eau reçue (pluie + irrigation) (Rapport de la première phase 1998).

Ainsi, les efficacités d'utilisation de l'eau, calculées sur la base des quantités totales d'eau reçues, ont varié entre 5.82 et 8.35 kg de grains produits par chaque mm d'eau reçu.

Tableau 5 : Effet de l'irrigation d'appoint sur l'efficacité d'utilisation de l'eau du blé dans le Gharb (campagne 1996-97).

Régime	Rendement grain (kg/ha)	Pluie + irrigation (mm)	EUE (kg/mm)
I010	5262	648.4	8.11
I001	4979	648.4	7.68
I011	5916	708.4	8.35
I000	3428	588.4	5.82

Source : Ambri et Lahlou, 1998

I010 : irrigation en milieu du cycle
 I001 : irrigation en fin du cycle
 I011 : irrigation en milieu du cycle et en fin du cycle
 I000 : témoin sans irrigation
 Dose d'irrigation = 60 mm.

En effet, sans le recours à l'irrigation d'appoint, l'efficacité permise a été de 5.82 kg de grains pour chaque mm d'eau reçu durant le cycle de la culture. L'apport d'une irrigation d'appoint en milieu du cycle fait passer cette efficacité à un niveau de 8.11 et en fin de cycle à un niveau de 7.68.

Lorsque deux irrigations d'appoint sont apportées, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau est encore plus grande et passe à 8.35 kg de grains par mm d'eau.

El Mourid (1988) a rapporté, dans une étude comparative entre différentes doses d'une part, et différents géotypes d'autre part, que ce ne sont pas les plus fortes doses d'irrigation (150 mm) qui assurent les grandes efficacités, mais plutôt les doses intermédiaires (60 mm).

Belbsir (1990) a conclu que EUE s'améliore avec l'irrigation d'appoint et que toute augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau implique une augmentation du rendement grain. Ainsi il a trouvé une relation très hautement significative entre le rendement grain et EUE avec un coefficient de corrélation de 0.99. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec les régimes ayant une irrigation au tallage.

2-7- Productivité du blé et techniques culturales

A part les disponibilités en eau, le rendement du blé en culture pluviale est contrôlé par d'autres facteurs en particulier le travail du sol, la date et la dose des semis, la

fertilisation, l'utilisation des semences sélectionnées, le contrôle des mauvaises herbes, la conduite des rotations des cultures et la technique de l'irrigation (nivellement...).

Jouve 1979, cité par Laaroussi (1991) a constaté que la date de semis précoce produit plus de talles herbacées par mètre carré, plus d'épis par mètre carré et aboutit à un poids de mille grains plus élevé. Par contre, le semis tardif a un effet négatif sur la hauteur des plantes et le nombre de pieds levés par mètre carré.

Concernant les doses de semis, Benbella 1975 cité par Laaroussi (1991) avance qu'en cas de semis précoce et au semoir, la moyenne densité et probablement même la faible densité pourront conduire à un rendement élevé équivalent à celui de forte densité (nombre de plantes par mètre carré).

Quand les précipitations sont suffisantes et bien distribuées, la fertilisation (surtout azotée) devient le facteur majeur limitant les rendements (Stout et al. 1988 cités par Boutfirass 1990).

Quant au mode de conduite des rotations, sous les conditions arides et semi arides au Maroc, les résultats obtenus par Mazhar 1987 cité par Boutfirass 1990 montrent une nette amélioration de EUE pour le grain et la matière sèche lorsque le blé est cultivé après une jachère traitée chimiquement.

Le contrôle des mauvaises herbes également ne manque pas l'importance comme technique culturale dans la production des cultures.

La compétition que les adventices exercent pour l'eau est souvent considérée le facteur le plus important en agriculture pluviale. Les rendements sont affectés et les chutes dans le cas du blé peuvent atteindre 63 % dans les zones semi-arides du Maroc et augmentent chaque fois que l'on passe dans les zones plus arides (Tanji 1987 cité par Boutfirass 1990). L'utilisation des semences sélectionnées est aussi un facteur qui conditionne le rendement des cultures, il faut donc en tenir compte pour l'amélioration de la production.

III- ESSAI EXPERIMENTAL

3-1- Situation géographique

L'essai a été conduit en plein champ à la station expérimentale de Sidi Allal Tazi de l'institut national de la recherche agronomique (INRA). Le domaine expérimental de Sidi Allal Tazi est situé sur la rive gauche de l'oued Sebou au kilomètre 9 de la route principale n°1 Rabat-Tanger à Mechraa Belksiri. Il se trouve sur une plaine à une altitude de 10.5 m.

3-2- Matériels et méthodes

3-2-1- Matériel végétal et densité de semis

La variété de blé tendre (Achtar) a été utilisée pour le présent essai. La dose de semis utilisée est de l'ordre de 2 Qx/ha.

Le choix de cette variété a été fondé sur les résultats de l'enquête réalisée en première phase de ce projet. En effet, 91% des agriculteurs enquêtés ont cultivé le blé tendre, le reste (9%) ont semé le blé dur. L'agriculteur choisit la variété à semer en fonction des critères tels que la productivité, la qualité boulangère et l'appréciation de la variété par les clients (couleur et grosseur de la graine). Les principales caractéristiques de la variété «Achtar» sont données ci dessous :

- **Obtenteur** : INRA- MAROC
- **Année d'inscription** : 1988
- **Zone d'aptation** : bour favorable et zone semi-aride.
- **Cycle végétatif** : moyen (levée-épiaison 86j) date de semi étalée.
- **Paille** : moyenne, structure creuse.
- **Epis** : à bords parallèles, demi-lâche à demi compact, blanc ; barbe courte, divergente, blanche.
- **Comportement à l'égard des maladies** : résiste à la verse et tolère la septoriose et les rouilles.
- **Productivité** : très bonne (% de la valeur de référence Nasma).
- **Caractéristiques technologiques** : grain rond, petit de taille ; poids spécifique bon 80 kg/hl ; taux de protéine : moyen.

3-2-2- Le dispositif expérimental

Pour répondre aux objectifs déjà cités, trois modes d'irrigation gravitaire : Bassin à fond plat, planche et irrigation à la raie seront testés et comparés entre eux, et puis par rapport à un quatrième mode d'irrigation par aspersion. Outre les quatre traitements irrigués (modes d'irrigation), une parcelle d'une superficie d'un hectare sera conduite en sec et servira comme témoin. Un levé topographique a été réalisé pour juger de la qualité du nivellement, les parcelles retenues pour l'essai présentent une pente longitudinale de 0.5% et transversale de 0.4%. Le dimensionnement des parcelles à irriguer par mode gravitaire tiendra compte des caractéristiques du sol (vitesse d'infiltration) et des aménagements hydro-agricoles du périmètre du Gharb (débit).

Un surfaçage des parcelles a été effectué et suivi des travaux de préparation du sol pour le semis, Le matériel végétal, la date et la dose de semis, la fertilisation, les traitements contre les maladies ainsi que les doses et les dates d'irrigation sont identiques pour les quatre modes d'irrigation. Ces mêmes techniques, à part l'apport d'eau par irrigation, seront appliquées au niveau de la parcelle "témoin".

La gestion de l'irrigation sera basée sur l'estimation du déficit hydrique par bilan hydrique du sol à l'aide du calcul de 'évapotranspiration de référence ET₀ par la méthode de Penman-Montheith. A cet effet une station automatique du Département Génie Rural (DGR) a été installée à proximité des parcelles de l'essai. Les paramètres mesurés sont : la température (max, moy, min), l'humidité relative (max, moy, min) , le vent (de 24h, de jour et de nuit), le rayonnement solaire. Un suivi de l'humidité du sol par gravimétrie servira comme base de vérification des calculs du bilan hydrique.

Les dates d'apport d'eau d'irrigation tiendront compte également des phases critiques du blé tendre au déficit hydrique à savoir : le tallage, l'épiaison et le remplissage des grains. Les dimensions des différentes parcelles, leurs débits d'alimentation ainsi que leurs systèmes d'irrigation sont donnés en détails dans le plan expérimental.

3-2-3- Installation de l'essai et conduite de la culture

Le précédent cultural de toutes les parcelles de l'essai est la jachère. Le semis a été réalisé sur un sol sec avec un semoir ordinaire. Après le semis, une irrigation de 30 mm a été apportée entre le 18 et le 22 décembre en vue d'améliorer le pourcentage de la levée.

La levée a eu lieu le 23/12/1998 et ceci suite à la première irrigation qui a complété les pluies de la première semaine du même mois. Les semences utilisées dans notre essai sont traitées avant semis pour lutter contre les maladies qui peuvent apparaître à la germination (carie et le charbon).

IV- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

4-1- Résultats des essais expérimentaux

Au terme de cette étude, il est utile de souligner l'objectif principal qui est la recherche, de la technique d'irrigation la plus adaptée à l'irrigation de complément des céréales dans le Gharb. Les résultats auxquels nous avons abouti sont les suivants :

a)- Résultats issus de l'analyse des données climatiques

Les résultats, issus de l'analyse des données climatiques, ont montré que le climat de la zone d'étude s'est caractérisé par son aridité. La campagne agricole 98-99 n'a totalisé qu'une pluviométrie annuelle de 205.7 mm, largement inférieur à celle d'une année moyenne qui s'élève à 535.77 mm (moyenne de la période 1980-1998). Cette pluviométrie a été très insuffisante pour compenser la demande climatique imposée à la culture (580 mm) d'où le recours à l'irrigation. Les températures, le rayonnement solaire et l'évapotranspiration journalière (ET₀) ont augmenté progressivement vers la fin de cycle de la culture tandis que l'humidité relative a diminué.

b)- Déficits hydriques

Pour toutes les parcelles les déficits hydriques mesurés par gravimétrie sont proches de ceux estimés par l'approche climatique, en effet l'écart moyen entre ces deux déficits était de l'ordre de 7 mm par période de mesure. La gestion de l'irrigation basée sur l'estimation du déficit hydrique par bilan hydrique du sol à l'aide du calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_o) par la formule de Penman-Monteith est donc valable dans le contexte du Gharb.

Les courbes d'évolution des déficits hydriques ont permis de voir que dans la totalité des parcelles de l'essai, les irrigations sont déficitaires.

Les relevés de température de surface avant et après la deuxième irrigation, ont permis de calculer l'indice thermique CWSI. Il a été aussi utilisé dans notre analyse comme base de vérification de l'état du stress hydrique de la même manière que la méthode gravimétrique. Notons que ce paramètre a évolué de 0.3 à 0.42 avant l'irrigation et est négatif après irrigation dans la plupart des parcelles. Les résultats ainsi obtenus se rapprochent aussi de ceux de la méthode gravimétrique. Ce qui met encore en valeur la méthode de Penman-Monteith pour la gestion de l'irrigation.

c)- Résultats obtenus des performances de l'irrigation à la parcelle

Les essais d'uniformité de l'irrigation par aspersion ont montré que, pour l'écartement 12x12, le coefficient d'uniformité (CU) et l'uniformité de distribution (UD) sont supérieurs à ceux relatifs l'écartement 18x18.

Pour les parcelles irriguées par le mode gravitaire, nous avons utilisé les 3 indices : l'efficacité d'application (Ea), l'uniformité de distribution (UD) et le coefficient de stockage (Cs). Les résultats obtenus sont les suivants :

- Ea est de l'ordre de 70% pour les planches, 60% pour les raies et 50% pour les bassins.
- UD est de 85% pour les planches et 80% pour les raies et les bassins.
- Cs par contre, est de l'ordre de 80% pour les planches, 65% pour les raies et 50% pour les bassins.

Les résultats obtenus ont permis de conclure que les planches ont présenté les meilleures performances de l'irrigation à la parcelle. Les plus faibles performances ont été enregistrées au niveau des bassins.

d)- Résultats sur les rendements des parcelles

L'analyse des rendements a montré qu'ils étaient variables d'une parcelle à l'autre : ils ont varié de 50.4 à 67.4 qx/ha pour les parcelles irriguées par gravitaire. Par contre il est seulement de 41.9 qx/ha pour la parcelle

irriguée par aspersion. Les parcelles, bassin témoin et témoin RPA ont donné respectivement un rendement de 40.5 qx/ha et 24.9 qx/ha.

A travers ces résultats nous pouvons conclure que des bons rendements ont été obtenus au niveau des parcelles irriguées, et que le bassin suivi de la planche P 6m, P 12m, R 4m et R 2m ont présenté le meilleur rendement même si toutes les parcelles irriguées n'ont pas reçu les mêmes quantités d'eau.

Quant au suivi de production de blé, il a servi à analyser le rendement et ses composantes. De cette analyse, il a été trouvé que le nombre d'épis par mètre carré et le nombre de grains par épi ont été les paramètres les plus déterminants pour l'élaboration du rendement en grain.

e)- Résultats sur l'efficacité d'utilisation de l'eau

Les EUE calculées sur la base des quantités totales d'eau reçues (pluie et irrigation) ont varié de point de vue grain de 8.9 à 10.3 Kg/mm pour les parcelles irriguées par mode gravitaire. Les parcelles P6m, P12m, R 4m et bassin ont donné les plus grandes efficacités d'utilisation de l'eau avec une valeur de l'ordre de 10 Kg/mm.

L'étude a montré que, parmi les parcelles irriguées, l'aspersion a conduit à l'EUE la plus élevée (13.3 Kg/mm). La parcelle R 1m a présenté l'EUE la plus faible de l'essai.

L'EUE matière sèche totale a suivi la même attitude que l'EUE grain. Elle a varié de 24.6 à 38.4 Kg/mm pour les parcelles irriguées.

f)- Résultats sur l'analyse économique

Dans le cadre de notre essai, les résultats issus de l'analyse économique ont montré que les charges totales sont maximales au niveau des parcelles irriguées par mode gravitaire. Elles ont oscillé entre 6263.5 et 6863.5 Dh/ha, les plus faibles charges ont été enregistrées au niveau de la parcelle aspersion parce qu'elle n'a pas besoin d'un surfaçage qui génère un coût supplémentaire. Les marges brutes réalisées en confrontant les charges totales aux recettes obtenues à partir du rendement grain seulement, ont varié entre 5804 Dh/ha et 9991.5 Dh/ha pour les parcelles irriguées par mode gravitaire et sont de 5049 Dh/ha pour la parcelle d'aspersion. La faible marge brute réalisée au niveau de l'aspersion est expliquée par le faible rendement dû aux faibles doses apportées qui ont fait de cette parcelle la plus déficitaire. De ces résultats, nous pouvons avancer la supériorité des parcelles irriguées par mode gravitaire par rapport à celle irriguée par aspersion contrairement aux résultats obtenus de point de vue EUE.

Parmi aussi les parcelles irriguées par mode gravitaire, la marge brute la plus élevée a été observée au niveau du bassin (9991.5 Dh/ha) ensuite viennent les

b)- Déficit hydriques

Pour toutes les parcelles les déficits hydriques mesurés par gravimétrie sont proches de ceux estimés par l'approche climatique, en effet l'écart moyen entre ces deux déficits était de l'ordre de 7 mm par période de mesure. La gestion de l'irrigation basée sur l'estimation du déficit hydrique par bilan hydrique du sol à l'aide du calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_o) par la formule de Penman-Monteith est donc valable dans le contexte du Gharb.

Les courbes d'évolution des déficits hydriques ont permis de voir que dans la totalité des parcelles de l'essai, les irrigations sont déficitaires.

Les relevés de température de surface avant et après la deuxième irrigation, ont permis de calculer l'indice thermique CWSI. Il a été aussi utilisé dans notre analyse comme base de vérification de l'état du stress hydrique de la même manière que la méthode gravimétrique. Notons que ce paramètre a évolué de 0.3 à 0.42 avant l'irrigation et est négatif après irrigation dans la plupart des parcelles. Les résultats ainsi obtenus se rapprochent aussi de ceux de la méthode gravimétrique. Ce qui met encore en valeur la méthode de Penman-Monteith pour la gestion de l'irrigation.

c)- Résultats obtenus des performances de l'irrigation à la parcelle

Les essais d'uniformité de l'irrigation par aspersion ont montré que, pour l'écartement 12x12, le coefficient d'uniformité (CU) et l'uniformité de distribution (UD) sont supérieurs à ceux relatifs l'écartement 18x18.

Pour les parcelles irriguées par le mode gravitaire, nous avons utilisé les 3 indices : l'efficacité d'application (Ea), l'uniformité de distribution (UD) et le coefficient de stockage (Cs). Les résultats obtenus sont les suivants :

- Ea est de l'ordre de 70% pour les planches, 60% pour les raies et 50% pour les bassins.
- UD est de 85% pour les planches et 80% pour les raies et les bassins.
- Cs par contre, est de l'ordre de 80% pour les planches, 65% pour les raies et 50% pour les bassins.

Les résultats obtenus ont permis de Conclure que les planches ont présenté les meilleures performances de l'irrigation à a parcelle. Les plus faibles performances ont été enregistrées au niveau des bassins.

d)- Résultats sur les rendements des parcelles

L'analyse des rendements a montré qu'ils étaient variables d'une parcelle à l'autre : ils ont varié de 50.4 à 67.4 qx/ha pour les parcelles irriguées par gravitaire. Par contre il est seulement de 41.9 qx/ha pour la parcelle

irriguée par aspersion. Les parcelles, bassin témoin et témoin RPA ont donné respectivement un rendement de 40.5 qx/ha et 24.9 qx/ha.

A travers ces résultats nous pouvons conclure que des bons rendements ont été obtenus au niveau des parcelles irriguées, et que le bassin suivi de la planche P 6m, P 12m, R 4m et R 2m ont présenté le meilleur rendement même si toutes les parcelles irriguées n'ont pas reçu les mêmes quantités d'eau.

Quant au suivi de production de blé, il a servi à analyser le rendement et ses composantes. De cette analyse, il a été trouvé que le nombre d'épis par mètre carré et le nombre de grains par épi ont été les paramètres les plus déterminants pour l'élaboration du rendement en grain.

e)- Résultats sur l'efficacité d'utilisation de l'eau

Les EUE calculées sur la base des quantités totales d'eau reçues (pluie et irrigation) ont varié de point de vue grain de 8.9 à 10.3 Kg/mm pour les parcelles irriguées par mode gravitaire. Les parcelles P6m, P12m, R 4m et bassin ont donné les plus grandes efficacités d'utilisation de l'eau avec une valeur de l'ordre de 10 Kg/mm.

L'étude a montré que, parmi les parcelles irriguées, l'aspersion a conduit à l'EUE la plus élevée (13.3 Kg/mm). La parcelle R 1m a présenté l'EUE la plus faible de l'essai.

L'EUE matière sèche totale a suivi la même attitude qt[c EUE grain. Elle a varié de 24.6 à 38.4 Kg/mm pour les parcelles irriguées.

f)- Résultats sur l'analyse économique

Dans le cadre de notre essai, les résultats issus de l'analyse économique ont montré que les charges totales sont maximales au niveau des parcelles irriguées par mode gravitaire. Elles ont oscillé entre 6263.5 et 6863.5 Dh/ha, les plus faibles charges ont été enregistrées au niveau de la parcelle aspersion parce qu'elle n'a pas besoin d'un surfaçage qui génère un coût supplémentaire. Les marges brutes réalisées en confrontant les charges totales aux recettes obtenues à partir du rendement grain seulement, ont varié entre 5804 Dh/ha et 9991.5 Dh/ha pour les parcelles irriguées par mode gravitaire et sont de 5049 Dh/ha pour la parcelle d'aspersion. La faible marge brute réalisée au niveau de l'aspersion est expliquée par le faible rendement dû aux faibles doses apportée qui ont fait de cette parcelle la plus déficitaire. De ces résultats, nous pouvons avancer la supériorité des parcelles irriguées par mode gravitaire par rapport à celle irriguée par aspersion contrairement aux résultats obtenus de point de vue EUE.

Parmi aussi les parcelles irriguées par mode gravitaire, la marge brute la plus élevée a été observée au niveau du bassin (9991.5 Dh/ha) ensuite viennent les

parcelles P 6m, P I 2m, et R 4m. Les autres parcelles ont enregistré une marge brute plus faible.

4-2- Suivi du déficit hydrique chez les agriculteurs en vue d'évaluer la possibilité de mise en œuvre d'un système d'avertissement à l'irrigation

Au cours de notre étude, nous avons voulu joindre un troisième objectif qui est celui d'évaluer la possibilité de mise en place d'un système de conseil la gestion de l'irrigation en suivant le déficit hydrique mesuré chez quelques exploitations représentatives du secteur Nord 9 à Souk Larbaa. Malheureusement cet objectif fixé n'a pas été atteint pour les raisons suivantes :

- Difficulté de convaincre les agriculteurs sur la nécessité d'irriguer les céréales parce que c'est le premier essai de démonstration dans ce secteur. C'est ainsi qu'au moment d'irriguer, seulement trois agriculteurs ont répondu à l'appel de l'office ORMVAG/ADA/ Souk Larbaa qui avait déjà commencé le travail dans ce sens.
- Problème d'inondation car, parmi les trois agriculteurs qui ont irrigué, un a apporté la première irrigation et le lendemain la pluie est tombée. Ce qui fait que sa parcelle est totalement inondée et il était obligé de la laisser en pâturage. Ce point a surtout augmenté le degré de réticence des agriculteurs pour irriguer les céréales. La sensibilisation s'impose à ce niveau.
- Le problème de tour d'eau entraînant une difficulté à irriguer au moment voulu.
- Le problème de nivellement du terrain que les agriculteurs jugent très cher.

Notons que les semences, les travaux du sol et les engrais ont été fournis gratuitement par l'office pour stimuler les agriculteurs à irriguer. Notre travail s'est donc limité à l'observation et à la vérification de la gestion de l'irrigation par la simple mesure directe (gravimétrie) du déficit hydrique. Les résultats auxquels nous avons abouti ont montré que la campagne agricole 98/99 a totalisé une pluviométrie annuelle de 251.7 mm répartie de décembre 98 à avril 99 (Station CDA Sidi Med LAHMAR). Le déficit hydrique mesuré 92 JAS a varié de 28.67 mm (parcelle Agri-1) à 75.38 mm (parcelle Agri-2). Le déficit hydrique mesuré deux semaines avant la deuxième irrigation a oscillé

de 119.59 à 157.66 mm. 15 jours après l'irrigation ce déficit a été de 32.41 et 3.9 mm toujours pour les parcelles Agri-1 et Agri-2 respectivement. A la même date la parcelle Agri-3 a enregistré un déficit de 155.12 mm parce qu'elle n'a pas reçu la deuxième irrigation. Ceci a été confirmé par la mesure de la température de surface.

L'analyse du rendement grain obtenu à partir du nombre d'épis par mètre carré et du nombre de grains par épi a montré que ce dernier a varié de 39.6 qx/ha à 27.6 qx/ha pour les parcelles Agri-1 et Agri-2. Le faible rendement obtenu au niveau de la parcelle Agri-2 est expliqué par le fort déficit hydrique mesuré et que l'arrosage de complément en fin de cycle a été tardif. La parcelle Agri-3 a donné un rendement grain de 36.1 qx/ha. EUE grain a varié de 6.3 Kg/mm (parcelle Agri-2) à 8.3 Kg/mm (parcelle Agri-3). La parcelle Agri-1 a enregistré une EUE de 6.9 Kg/mm. EUE matière sèche totale a évolué de la même manière soit de 19.5 à 29.7 Kg/mm.

A travers ces résultats on peut noter une mauvaise gestion des arrosages de complément au secteur Nord 9. L'arrosage de fin de cycle a été tardif et donc il n'a pas amélioré le rendement.

L'agriculteur 2 qui n'a pas irrigué en début de cycle a un faible rendement, malgré l'arrosage de fin de cycle.

Suite à cette analyse de recherche de la technique d'irrigation la plus adaptée l'irrigation de complément des céréales dans la zone du Gharb, nous recommandons :

- Parmi les modes d'irrigation gravitaire, la vulgarisation du bassin à font plat aux endroits où le nivellement et l'eau ne posent pas problème. Sinon les planches de largeur 6 à 12m peuvent être conseillées. La raie d'écartement 4 m peut être une alternative.
- L'aspersion peut être utilisée avec une bonne maîtrise de ses paramètres notamment la dose.
- Renforcer la sensibilisation et la formation des usagers et agents de l'office sur l'intérêt du nivellement du terrain et des irrigations des céréales en général.
- Multiplier les visites des agriculteurs dans des essais de démonstration pour toucher du doigt l'intérêt de l'irrigation comme il a été le cas cette année dans notre essai installé au domaine expérimental de l'INRA à Sidi Allal Tazi.
- Reprendre cette expérience à grande échelle.