

N°7 - 2<sup>e</sup> TRIMESTRE

# HOMMES TERRE & EAUX

Revue de l'Association Nationale des Améliorations Foncières de l'Irrigation et du Drainage 5 DH  
et l'Association Nationale pour la Production Animale

Discours d'ouverture  
de  
Monsieur le Ministre  
de l'Agriculture et de  
la Réforme Agraire

---

Messieurs les Ministres,  
Messieurs les Ambassadeurs,  
Messieurs les Gouverneurs,  
Monsieur le Président,  
Mesdames, Messieurs,

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le Ministre, Messieurs les Gouverneurs de Rabat-Salé et de Kénitra, ainsi que Messieurs les Ambassadeurs des pays participants, d'avoir bien voulu honorer de leur présence la première manifestation internationale organisée par l'Association Nationale des Améliorations Foncières de l'Irrigation et du Drainage.

Je tiens également à remercier les nombreux experts étrangers et nationaux, qui, en répondant à notre invitation, vont, je n'en doute pas, apporter une contribution précieuse et efficace à la recherche de solutions, dans un domaine particulièrement difficile. Leur haute compétence et leur expérience garantissent d'ores et déjà l'intérêt capital des débats qui vont s'ouvrir aujourd'hui.

Je tiens enfin à féliciter l'A.N.A.F.I.D., et tout particulièrement son Président, pour cette heureuse initiative qui ne fait que confirmer, si cela était encore nécessaire, le dynamisme de notre jeune association.

En effet, dès sa création en décembre 1970, l'A.N.A.F.I.D. a su réunir, dans une ambiance amicale qui ne nuit en rien à la réflexion, tous les techniciens intéressés par les problèmes d'hydraulique agricole et de génie rural, qu'ils appartiennent à l'Administration ou au secteur privé.

Ainsi, les cadres du Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, appartenant notamment à la Direction de la Mise en Valeur et à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, ceux de la Direction de l'Hydraulique en ce qui concerne le Ministère des Travaux Publics et des Communications, et ceux des Sociétés d'Etudes et de Travaux, comprenant l'intérêt de réunir et confronter leurs expériences respectives, ont répondu massivement à l'appel lancé par les promoteurs de l'Association.

En marge de leurs lourdes responsabilités quotidiennes, ces techniciens se sont fixés pour objectifs :

— D'apporter leur concours à toutes les actions d'intérêt général concernant les améliorations foncières, le génie rural, l'irrigation et le drainage.

— De faciliter les échanges entre spécialistes et maîtres d'œuvre de ces techniques.

— De centraliser la documentation y relative et de favoriser la publication des travaux s'y rapportant.

— De contribuer à améliorer la formation de ses membres.

— D'encourager en ce domaine la recherche scientifique et l'expérimentation.

— D'organiser toutes manifestations susceptibles de promouvoir ces objectifs.

Dès la première année de fonctionnement, des conférences portant sur les sujets les plus variés se succédaient à un rythme soutenu et recueillaient l'attention de nombreux auditeurs, tandis que les comités techniques siégeaient régulièrement, donnant lieu à d'intéressants débats.

En 1971, la revue trimestrielle de l'A.N.A.F.I.D. établissait entre les différents membres de l'Association un lien permanent, autorisant l'échange des expériences acquises et permettant de compléter la formation de chacun. Cette publication est aujourd'hui diffusée à l'échelon national et international. La qualité et l'intérêt technique des sujets traités lui garantissaient, dès les premiers numéros, un succès certain, qui, j'en suis persuadé, ne pourra que contribuer au rayonnement scientifique de notre pays.

Je tiens d'ailleurs à rappeler que l'A.N.A.F.I.D. a adhéré à la « Commission Internationale du Génie Rural » et à la « Commission Internationale de l'Irrigation et du Drainage », et qu'elle représente officiellement le Maroc au sein de ces organismes.

Ainsi, en 1971-1972, soit en la personne de son Président, soit par l'envoi de délégations, l'A.N.A.F.I.D. a représenté notre pays dans toutes les manifestations internationales traitant des problèmes relatifs au Génie Rural, à l'Irrigation ou au Drainage, et notamment :

— A la réunion du Comité Directeur de la C.I.G.R., qui s'est tenue à Paris en mars 1971.

— Aux 8<sup>es</sup> Journées européennes de l'I.C.I.D. qui se sont tenues à Aix-en-Provence, en juin 1971.

— Au séminaire F.A.O.-P.N.U.D. et à la 3<sup>e</sup> session de la Commission Régionale de la F.A.O. sur

l'utilisation des terres et des eaux au Proche-Orient, qui ont eu lieu à Damas, en décembre 1971.

— Au Congrès de l'I.C.I.D. qui s'est tenu à Varna en mai 1972.

Qu'il me soit donc permis de rendre hommage aux efforts déployés par l'A.N.A.F.I.D. au cours des deux dernières années, efforts qui ont permis à la technique marocaine d'accéder à un niveau international. Je tiens également à assurer l'A.N.A.F.I.D. que le Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire la considère comme un précieux instrument de réflexion et de formation, qui ne peut que faciliter la résolution des problèmes qui se posent aujourd'hui au niveau des vastes aménagements hydro-agricoles sur lesquels reposent le développement de notre agriculture.

L'organisation d'un colloque international sur les problèmes de drainage au Maroc, dont j'ai l'honneur de présider aujourd'hui la séance d'ouverture, permet à l'A.N.A.F.I.D. de franchir une étape importante dans le cadre de l'élargissement de ses activités.

Le thème retenu me semble particulièrement intéressant : d'abord parce que les problèmes qui seront examinés sont communs à l'ensemble des pays d'Afrique du Nord, et que les idées directrices qui pourront être dégagées au cours de vos travaux seront vraisemblablement applicables en Algérie et en Tunisie. Il s'agit donc d'un colloque international, certes, mais qui aura à traiter un sujet essentiellement maghrébin.

La présence des meilleurs experts de ces 2 pays frères permet d'ailleurs de confirmer ce que je viens de dire, et il m'est particulièrement agréable de constater en cette occasion la volonté d'échange et de coopération manifestée par nos techniciens.

Ensuite, parce que le Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire accorde un intérêt considérable à ce qui pourra se faire ici, le Maroc ayant entrepris des opérations de drainage à très grande échelle auxquelles demeure subordonnée, dans de nombreuses régions, la réussite de nos efforts de mise en valeur.

En effet, pour situer dans leur contexte les problèmes dont vous aurez à débattre, il me semble indispensable de rappeler que le Gouvernement de Sa Majesté le Roi, dans le combat qu'il mène en faveur du développement de notre agriculture et de notre paysannerie, a toujours recherché les moyens d'améliorer et d'intensifier la production agricole. Or l'on sait depuis fort longtemps que, dans ce pays, cette intensification ne peut se concevoir sans irrigation. Les déficits en eau inhérents à l'existence d'une longue saison sèche, l'irrégularité des précipitations en saison humide, ainsi que

l'importance des zones arides ou semi-arides à déficit quasi permanent rendent évident ce postulat.

Aussi, l'agriculteur marocain a toujours cherché à compenser les rigueurs de son climat en tirant profit des richesses hydrauliques naturelles qu'il pouvait mobiliser. Cette tradition de l'irrigation a donné naissance à de nombreux périmètres de petite et moyenne hydraulique, qui représentent à l'échelon national un potentiel fort important, mais dont les dimensions et la dispersion n'autorisent pas le développement de spéculations à caractère industriel.

Soucieux de créer le plus rapidement possible un secteur hautement productif, le Maroc a donc opté pour la grande hydraulique. Depuis 1960, un effort gigantesque a été consenti dans le domaine de la construction des barrages et de l'équipement de grands périmètres d'irrigation, recevant toute la gamme d'interventions propre à assurer une production optimale.

La petite et moyenne hydraulique, qui ne pouvait évidemment recueillir, à l'origine, la même attention, bénéficie aujourd'hui de l'expérience acquise dans les grands périmètres. L'Etat consent en faveur de ce secteur des efforts très importants, en vue de compenser les déséquilibres qui pourraient naître au niveau des régions à production marginale.

Au total, les potentialités nationales, estimées à 7,5 milliards de mètres cubes utilisables, doivent permettre d'irriguer plus d'un million d'hectares. Ces perspectives constituent l'objectif essentiel de la politique agricole du Maroc.

En fin d'année 1972, on pouvait estimer à environ 600.000 hectares la superficie totale irriguée chaque année, dont 400.000 ha de façon pérenne et 200.000 ha d'irrigation aléatoire.

Dans le cadre des futurs plans, nous pensons étendre cette superficie selon un rythme annuel de 25.000 à 30.000 ha.

Ne pouvant aborder de façon détaillée, je le regrette d'ailleurs, un sujet qui mériterait pourtant de larges développements, je voudrais toutefois rappeler que l'équipement ne constitue qu'une étape indispensable, mais que le véritable objectif poursuivi est celui de l'amélioration effective de la production et du niveau de vie des agriculteurs. L'intervention s'inscrit donc systématiquement dans le cadre d'un aménagement intégré de l'espace rural, adapté aux exigences de la terre et de ceux qui la cultivent. En conséquence, au delà des problèmes relevant de l'art spécifique de l'ingénieur, il nous faut résoudre ceux relatifs à la transformation des structures foncières, à la vulgarisation de techni-

ques culturelles nouvelles, à l'organisation et à l'encadrement des exploitations agricoles, à la mobilisation du crédit, à l'octroi de subventions et d'encouragements recouvrant une gamme très étendue, ou à la valorisation de la production au niveau de la transformation et de la commercialisation des récoltes.

Ce rapide exposé montre l'importance vitale que revêt pour notre pays le développement de l'irrigation. Aussi, un auditoire moins averti pourrait considérer comme paradoxal que le drainage puisse présenter chez nous une importance non moins capitale. Pourquoi faut-il songer à éliminer de nos sols une eau dont nos cultures ont tellement besoin ?

Vous le savez mieux que moi, Messieurs, ces 2 problèmes sont liés. Je dirai même qu'il convient de penser au drainage avant de penser à l'irrigation !

Compte tenu de l'importance des déficits hydriques inhérents à l'aridité de notre climat, les volumes d'eau apportés annuellement sont extrêmement élevés. La pratique de l'irrigation gravitaire, imposée par les vocations et les nécessités locales, ne permet pas, malgré les efforts consentis par nos services d'expérimentation, de limiter à un niveau satisfaisant les pertes par infiltration. Les remontées de nappes phréatiques sont donc inévitables, et nécessitent une intervention efficace dès que celles-ci affectent les horizons superficiels.

Eu égard à l'importance de l'évaporation, l'évolution de ce phénomène est d'autant plus grave qu'elle entraîne inexorablement la salure de ces horizons superficiels.

Dans de nombreuses régions, le lessivage préalable des sols conditionne toute mise en valeur future.

Dans tous les cas, l'intervention doit porter sur d'immenses superficies et intéresse des réservoirs souterrains de grande étendue.

Je crois donc que l'originalité des problèmes que vous aurez à examiner repose, d'une part, sur le fait que les opérations de drainage sont subordonnées à une connaissance approfondie de l'hydrogéologie, d'autre part sur l'interdépendance très fréquente du drainage et de l'évolution de la salure des sols.

Bien sûr, il existe de nombreuses variantes et chaque périmètre peut être considéré comme un cas particulier. Bien sûr nous avons à résoudre des problèmes plus classiques, celui du Gharb par exemple. Mais je suis persuadé que cette diversité, bien qu'elle accroisse nos difficultés présentes, sera

de nature à rendre ce colloque particulièrement intéressant.

Les thèmes retenus me paraissent très judicieux. Ils illustrent bien les principaux aspects caractéristiques de nos problèmes de drainage :

D'abord celui du Gharb, basse plaine côtière de notre bordure Atlantique, où l'abondance des ressources en eau de l'Oued Sebou doit permettre, grâce à la construction de grands barrages régulateurs, l'irrigation intensive de vastes superficies dont les potentialités agronomiques sont très diversifiées.

Or, le Gharb souffre pendant l'hiver d'un excès d'eau superficielle dû au régime des précipitations, à l'importance du bassin versant et à la morphologie de la plaine.

Dans les parties basses, la présence de sols lourds à faible perméabilité et l'absence quasi-totale de pente naturelle entraînent déjà, malgré la sous-irrigation actuelle, des remontées de nappe à moins de 1 m. de la surface du sol, et même des stagnations superficielles qui persistent souvent durant plusieurs semaines.

On peut également constater dans ces zones des taux de salure élevés et un dépérissement manifeste des cultures. La pratique d'une irrigation gravitaire intensive ne pourra qu'aggraver ces phénomènes, et la mise en valeur demeure subordonnée au drainage préalable.

Aussi, avons-nous décidé, au cours du Plan Quinquennal 1973-1977, de traiter quelque 35.000 hectares en vue de prévenir les remontées de nappe phréatique, d'éviter la salinisation des sols, et de lessiver les sols déjà salés. Outre les travaux d'assainissement de surface, il sera réalisé un réseau de drainage souterrain, que vous pourrez étudier de façon détaillée dès demain matin.

Ensuite, la plaine du Bou-Areg, située dans la partie occidentale du grand périmètre irrigué de la Basse Moulouya, en bordure d'une lagune de 25 km. de long qui communique avec la Méditerranée. Bien que l'on se trouve en présence de sols moins lourds et moins imperméables que dans le Gharb, bien que la pente générale du terrain soit nettement plus marquée, on y constate depuis 1963 une remontée aussi régulière qu'inquiétante de la nappe phréatique. Dans la basse zone côtière, cette nappe est déjà très proche du sol (moins de 2 mètres) et la concentration en sels des horizons superficiels est fort élevée.

Sans aucun doute, la mise en irrigation contribue fortement à cette évolution défavorable, et l'on est en droit de penser que la situation sera encore plus grave lorsque l'équipement sera complètement achevé et que les volumes d'eau prévus par les projecteurs seront effectivement distribués.

Mais il est également probable que les interférences entre la nappe phréatique et la nappe marine viennent compliquer les phénomènes, et qu'il conviendra d'approfondir et préciser nos connaissances dans ce domaine particulièrement difficile. Vous aurez donc, Messieurs, matière à réflexion.

En dernier lieu, aux confins des zones désertiques de notre Sud marocain, la plaine du Tafilalet offrira à vos investigations des horizons passionnants.

Enfermé à l'intérieur d'une cuvette, l'aquifère est pratiquement dépourvu d'exutoire. Essentiellement alimentée par infiltration des eaux superficielles des oueds Ziz et Rhéris, et notamment celles qui sont utilisées pour l'irrigation des palmeraies et les épandages de crue, la nappe se trouve à moins de 5 m. de profondeur sur 40 % de la superficie. Sa décharge ne peut s'opérer que par évapotranspiration.

Ainsi se trouvent donc réunis les principaux facteurs de salure des sols : climat chaud et sec, apport de sels extérieurs par l'eau d'irrigation, nappe salée et peu profonde.

Pourtant, dans les zones actuellement cultivées, les sols vraiment salés n'occupent que 4 % de la superficie totale et sont d'ailleurs essentiellement localisés dans la partie aval de la plaine.

Cela n'a rien de surprenant lorsque l'on sait que nos paysans locaux, depuis des temps immémoriaux, ont adapté leurs techniques culturales aux rigueurs de leur région, et qu'ils ont toujours pratiqué un lessivage efficace de leurs sols en administrant par épandage des doses massives d'irrigation.

La mise en service du barrage Hassan-Addakhil, l'augmentation très sensible des volumes d'eau distribués annuellement ainsi que la réduction des doses unitaires, risquent de rompre l'équilibre qui s'était instauré entre l'homme et la nature.

Peut-être encore plus qu'ailleurs, l'aménagement de la plaine du Tafilalet repose donc en grande partie sur l'efficacité du drainage.

Je ne voudrais pas m'étendre plus longuement sur des sujets qui vous seront exposés de façon très détaillée par nos différents rapporteurs, et je suis persuadé qu'il vous a déjà été permis de constater que vos travaux seront d'une importance capitale pour les pays maghrébins, et pour le Maroc en particulier. Ils donneront lieu, je n'en doute point, à des débats passionnants qui constitueront pour vous une expérience enrichissante.

Avant de nous séparer, je tiens à souhaiter aux délégations des pays amis un agréable séjour au Maroc, et déclare ouvert ce premier colloque international sur le drainage, organisé par l'A.N.A.F.I.D.

---

DEROULEMENT DU  
COLLOQUE

Vues de l'assistance lors des séances à l'Amphithéâtre  
de l'I.A.V. Hassan II



## 8 avril

Arrivée des participants représentant les pays ou organismes suivants :

Algérie, Espagne, France, Belgique, Hollande, R.F.A., F.A.O., C.I.G.R., Poclain, Tunisie.

## 9 avril

9 h. 30 : ouverture du Colloque par Monsieur le Ministre de l'Agriculture et de la Réforme Agraire en présence de Monsieur le Gouverneur de la Préfecture de Rabat-Salé, Monsieur le Gouverneur de la Province de Kénitra et de représentants de différentes Ambassades.

Discours d'ouverture de M. Berrada.

Discours de M. Bekkali, Président de l'A.N.A. F.I.D.

Discours de M. Regamier, représentant de la C.I.G.R.

Discours de M. Daves Bornez, porte-parole de la délégation française.

Discours de M. Sine, porte-parole de la délégation belge.

Discours de M. Liria, porte-parole de la délégation espagnole.

Discours de M. Aounallah, représentant le Ministère de l'Agriculture tunisien.

11 h. : cocktail au foyer des Elèves de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

14 h. 30 : sous la présidence de M. Regamier, exposé de M. Chraïbi, Secrétaire Général de l'A.N. A.F.I.D. présentant le rapport général exposé suivi de discussions.

17 h. : exposés de caractère général de MM. Landelout et Dielmans.

## 10 avril

Sortie du Gharb.

8 h. : départ de l'Institut.

9 h. : arrivée au point n° 1. Visite d'un périmètre aménagé par assainissement superficiel.

M. Arafa, Directeur de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb, présenta l'Office qu'il dirige.

Puis M. Brun exposa les problèmes d'assainissement superficiel (par ados).

11 h. : étape n° 2. Arrivée à la parcelle expérimentale de drainage de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Présentation de la parcelle par M. Tabet, de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et commentaires par M. Pallix.



Lors de l'exposé de M. Arafa



Aperçu des machines utilisées pour le drainage







A la ferme expérimentale  
de l'Institut Agronomique  
et Vétérinaire

Vue de la parcelle  
expérimentale et de l'installation  
de drainage



13 h. : déjeuner à la ferme de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

15 h. : visite d'un chantier de pose de drain : exposé de M. Laraïchi de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb.

Point 4 : visite de l'ancien périmètre équipé de Sidi-Slimane. Etude d'une fosse pédologique permettant de discuter sur les effets de la salinité.

Travaux dans un chantier de pose de drains

## Commentaires autour d'une fosse pédologique

### 11 avril

Journée Gharb.

Sous la présidence de M. Arafa, Directeur de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb.

Rapport de présentation de M. Pallix.

Communication de M. Carlier, Ingénieur à la Direction des Ressources en Eaux sur le réseau de piézomètres installés dans la plaine du Gharb pour contrôler l'évolution du niveau de la nappe.

Communication de M. Boumans, Ingénieur à la G.R.O.N.T.M.I.J., sur l'évolution du débit à drainer et de M. Born, Ingénieur Conseil à l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb, sur les nouvelles normes de qualité pour les drains en PVC annuelle.

Intervention de M. Cros sur l'analogie des problèmes de drainage en France et de la plaine du Gharb.

Communication de M. M. Lopez sur l'analogie des problèmes de drainage avec la plaine de Guadalquivir.

### 12 avril

8 h. : sous la présidence de M. Faraj, Directeur de la D.R.A. (M.A.R.A.), présentation de la plaine du Tafilalet par M. Fortin, Ingénieur à la D.M.V.

Communication de M. Chiang, de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, sur l'étude de la salinité par modèle mathématique.

12 h. : déjeuner offert par la Direction de l'Hydraulique - visite du chantier de construction du barrage du Bou Regreg.



15 h. : sous la présidence de M. Kabbaj, Chef de la Direction des Ressources en Eaux (Ministère des Travaux Publics et Télécommunications).

Présentation de la plaine du Bou Areg par M. Bars (pédologue de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Basse-Moulouya).

Communication de M. Ranchin, Ingénieur à la D.M.V. (M.A.R.A.).

### 13 avril

9 h. 30 : présentation des rapports de synthèse.

11 h. : remerciements et propositions des différentes délégations.

12 h. : discours de clôture de M. le Ministre de l'Agriculture et de la Réforme Agraire.

13 h. : déjeuner dans les jardins de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

---

CHRAIBI M.

PALLIX G.

---

*Rapporteurs*

---

RAPPORT GENERAL  
DE  
PRESENTATION

---

**PRESENTATION**

Ce rapport général ne constitue par une communication personnelle ni collective au colloque sur le drainage au Maroc. De larges extraits de la première partie ont été empruntés à l'abondante littérature qui traite de la géographie, du climat et des sols du Maroc.

Ce n'est pas non plus un rapport général au sens habituel du terme, c'est-à-dire une analyse critique et une synthèse des communications faites à ce colloque, pour la simple raison que nous n'en avons pas reçues jusqu'à présent. S'il en existe, nous en prendrons tous connaissance au cours des séances qui vont suivre.

Ce rapport se propose essentiellement :

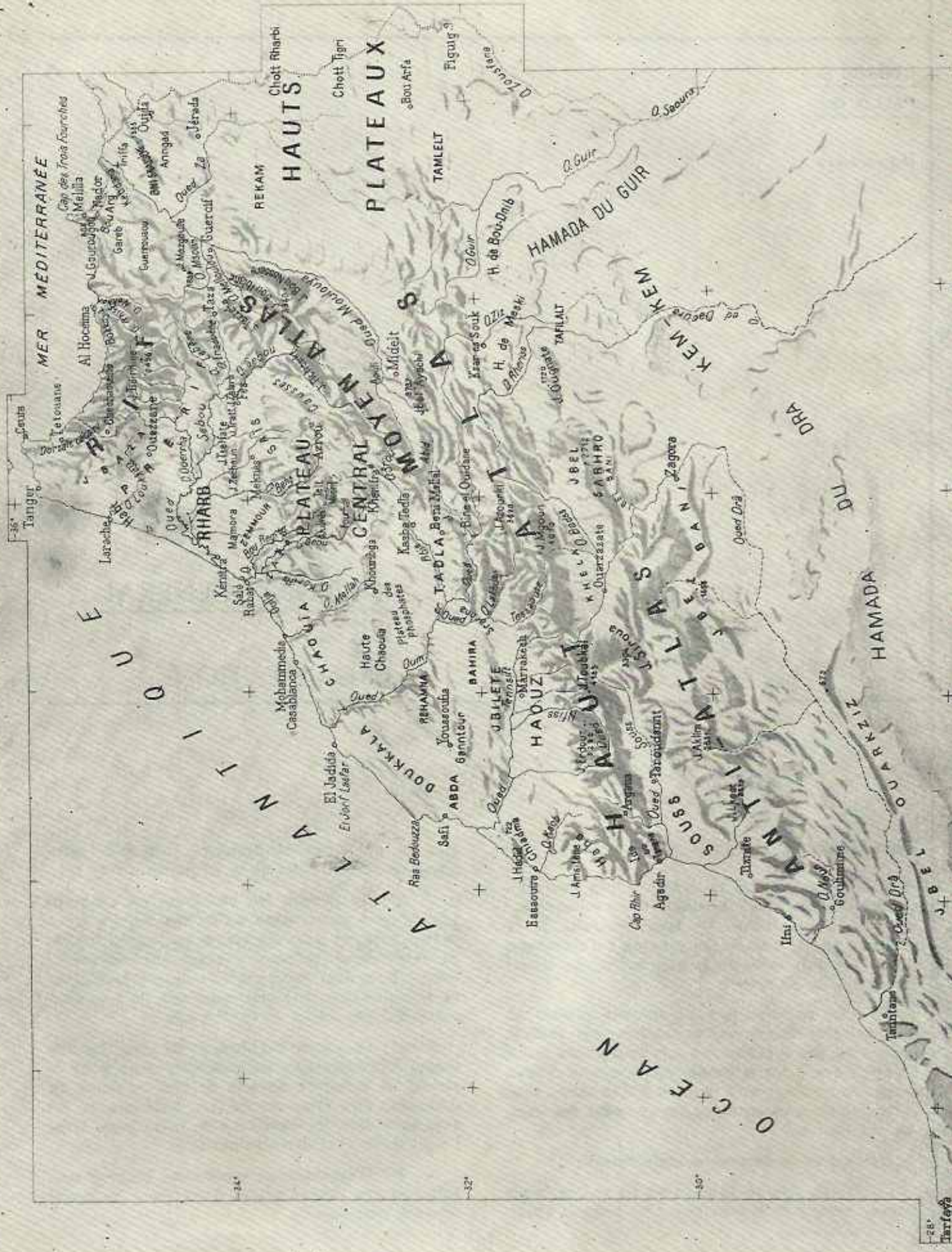
— 1°) De décrire brièvement les cadres (assez larges) naturel et économique dans lesquels s'insè-

rent les problèmes du drainage, thèmes de cette rencontre. C'est l'objet de la 1<sup>re</sup> partie.

— 2°) De décrire les problèmes de drainage tels qu'ils se posent dans différentes régions de ce pays et montrer que les trois cas qui seront étudiés au cours de ce colloque peuvent être considérés comme largement représentatifs de ces problèmes. Ce qui justifiera le choix opéré par les organisateurs. Tel est l'objet de la 2<sup>e</sup> partie.

— 3°) De passer rapidement en revue les méthodes d'investigation utilisées chez nous pour le recueil de certaines données de base relatives au drainage, afin d'en relever les faiblesses et les avantages dans les conditions de notre pays. C'est l'objet de la 3<sup>e</sup> et dernière partie.

— 4°) D'esquisser en conclusion, les axes souhaitables des débats qui se dérouleront au cours de cette rencontre.



MER MÉDITERRANÉE

HAUTS PLATEAUX

MOYEN ATLAS

CENTRAL PLATEAU

Océan Atlantique

Tanger

AN TIL

AN TIL

AN TIL

AN TIL

AN TIL

AN TIL

AN TIL

AN TIL

AN TIL

AN TIL

AN TIL

Cap des Trois Fourches

Melilla

Al Hocama

U. Gouraud

Radou

Bou Arg

Garb

Guersou

Annagad

Marignab

Alou

Guercif

Ze

Alstrada

Chott Rharbi

Chott Tigr

Bou Arfa

Figoug

Loussera

Q. Sebou

Q. Gur

H. de Bou-Dimb

H. de Meck

Kearag Souk

H. de Meck

Q. Bou-Dimb

Q. Bou-Dimb

Q. Bou-Dimb

Q. Bou-Dimb

Q. Bou-Dimb

Larache

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Al Hocama

Mohammed

Casablanca

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

El Jadida

Ras Bouazza

Safi

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Youssef

Basouira

J. Hédou

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

J. Amis

Cap Riv

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Agadir

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Itis

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Tarif

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

Hamada

## PREMIERE PARTIE

LE CADRE NATUREL  
ET LE CADRE ECONOMIQUE

## Avertissement

C'est une tâche délicate que de décrire les conditions naturelles et politico-économiques du Maroc sans rompre la relation avec les problèmes spécifiques objets de ce colloque. En effet :

A vouloir être exhaustif on risque de déborder largement le cadre qu'on veut décrire et la rupture est consommée.

A vouloir ne pas trop s'éloigner des problèmes spécifiques étudiés, on risque alors d'étriquer ce cadre.

Qu'on nous pardonne quand dans cette 1<sup>re</sup> partie, nous aurons péché d'une façon ou de l'autre.

## CHAPITRE I

## CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES

La superficie du Maroc est de l'ordre de 450.000 km<sup>2</sup>. Il est compris entre le 27° et 36° de latitude Nord et 1° à 13° de longitude Ouest.

Le Maroc est parcouru par deux puissantes formations montagneuses qui lui confèrent des caractéristiques géographiques et climatiques très diversifiées.

Dans le Nord, l'arc du Rif de direction NNW-SSE a une structure complexe et un relief accidenté, en bordure de Méditerranée. Le Rif est relativement peu élevé, atteignant 2.450 m. au Jbel Tidirhine dans sa partie centrale, il s'abaisse assez vite à l'Ouest et à l'Est.

Le versant Sud du Rif se complète d'une vaste zone de collines marneuses peu élevées, le pré-Rif.

Au centre, traversant tout le pays dans le sens SW-NE, le Moyen-Atlas et le Haut-Atlas forment un bastion puissant.

Le Moyen-Atlas tabulaire ou Causses est formé de plateaux calcaires étagés de 1.000 à 2.000 m. d'altitude. Le Moyen-Atlas plissé s'oriente du SW au NE et domine le fossé de la Moulouya.

Le Haut-Atlas est allongé sur 700 km. depuis l'Atlantique jusqu'aux confins du Maroc. Il culmine à plus de 4.000 m. et ses régions occidentale, centrale et orientale présentent des différences morphologiques et lithologiques notables.

A l'Ouest du Rif les Atlas encadrent une région tabulaire, la Meseta, disposée en gradins au-dessus de la mer.

Ce plateau central qui culmine à 1.600 m., est très diversifié. Les formes tabulaires des Zaïers font le pendant aux reliefs résiduels du pays des Skhour. Mais le relief du Nord-Est du plateau central est nettement plus accidenté (Massif d'Oulmès) et entaillé de vallées profondes (oued Bou-Regreg, oued Beth). Le contact à l'Est, avec le Moyen-Atlas, laisse apparaître une dépression triangulaire.

Les plaines et plateaux Nord Atlantiques forment un couloir entre le Rif et la Meseta. A l'Ouest, la plaine alluviale du Gharb, ancien golfe colmaté à la fin de l'ère tertiaire, puis le plateau Zemmour et la haute plaine Saïs. Enfin, les plateaux littoraux de schistes arasés localement recouverts d'une couverture calcaire et entaillés de vallées venant du plateau central.

Plus au Sud, les plaines atlantiques moyennes forment un ruban de basses plaines bordées par la mer. Ce sont la Chaouïa, zone céréalière de grande culture, les Abda et Doukkala dont l'altitude reste inférieure à 500 m.

Les plaines et plateaux intérieurs dominent les plaines atlantiques par un escarpement qui correspond soit à une faille, soit à une flexure, soit à une ancienne falaise maritime. On distingue :

a) Le plateau tertiaire des phosphates (exploités dans la région de Khouribga), et le massif des Réhama, pointement du socle.

b) Les plaines du Tadla, des Srarhna et du Haouz. Le Tadla, que traverse l'oued Oum-er-R'bia, est un ancien lac comblé par les alluvions des cours d'eau qui s'y sont encaissés. Les Srarhna ressemblent au Tadla et se prolongent, à l'Ouest, par la plaine inhospitalière de la Bahira. Au Sud, le Haouz de Marrakech, longue plaine synclinale allongée d'Est en Ouest entre le Haut Atlas et le petit massif primaire des Djebilet, est comblé par les alluvions de l'oued Tensift et de ses affluents.

Par ailleurs, le Maroc Oriental présente un relief compartimenté dans le Nord et assez monotone dans sa partie Sud. En effet, dans le Nord, les croupes calcaires de Kehadna et Beni Snassene séparent des couloirs étroits, parallèles, allongés de la plaine des Triffa et de la plaine des Angad. Dans l'Est, les Hauts Plateaux calcaires et tabulaires de plus de 1.000 m. sont localement entaillés de dépressions (ehotts). Puis le pays de la Moulouya, qui s'allonge du SW au NE entre les Hauts Plateaux et le Moyen-Atlas plissé, dessine un grand couloir aride constitué de vastes glaciés. En amont, le fossé de la haute Moulouya, coince entre le Haut et le Moyen-Atlas ; en aval, un chapelet de basses plaines, séparées par des gorges.

Enfin, le Sud présaharien et saharien est accidenté de montagnes, plaines et plateaux en bordure du désert. Quatre unités s'y distinguent :

a) l'Anti-Atlas, bombement parallèle au Haut-Atlas ;

b) le sillon Sud atlantique, long couloir séparant l'Anti-Atlas de l'Atlas et comportant lui-même deux sous-ensembles :

— à l'Ouest, le Souss, zone alluviale bordée de grands glaciers,

— à l'Est, le fossé du Dadès, occupé par un important remblaiement alluvial découpé en plateaux par les vallées venant du Haut-Atlas.

c) un complexe de plaines et de chaînons faisant suite à l'Anti-Atlas. Vers le Sud on rencontre tour à tour des dépressions alluviales comme le Tafilalet, de larges vallées, comme celle du Draâ, et des crêtes dénudées, voire de petits massifs (Taouz) ;

d) l'ensemble de ce domaine du Sud présaharien est entouré de vastes plateaux pierreux désertiques, les Hamada.

## CHAPITRE II

### LE CLIMAT

#### I - LA CIRCULATION GENERALE

Du fait de sa latitude, le Maroc est en général situé au Sud des ondulations du front polaire. De même, en raison de sa longitude, il est situé à l'Est de l'Anticyclone des Açores. Ces deux faits sont essentiels pour la compréhension de l'évolution du temps au Maroc,

Le Maroc reçoit des masses d'air de trois types : arctique, polaire et tropical. L'air arctique maritime se traduit souvent par des orages accompagnés de grêle. L'air polaire parvient au Maroc par vents de Nord et Nord West, s'il est maritime direct, d'W ou NW s'il est maritime indirect. L'air polaire continental, lui, vient par vents Nord-Est et Est à travers l'Espagne ou la Méditerranée ; l'air polaire ancien, atténué par des stagnations sur d'autres régions est maritime ou continental.

De son côté, l'air tropical est soit maritime du SW ou de l'Ouest, soit occidental d'Est (c'est le chergui) ou de Sud-Est (sirocco) ; il est alors très sec et très chaud.

L'action et l'interaction de ces diverses masses d'air déterminent des types de temps qu'il n'est pas inutile de rappeler, sans nous étendre sur la description des mécanismes.

#### 1 - Les types de temps hivernaux

De décembre à février, l'Anticyclone des Açores s'éloigne vers le Sud. Les masses d'air polaire maritime indirect très humides constituant le secteur froid postérieur, sont alors à l'origine d'averses abondantes.

Toutefois, en janvier, une poussée vers l'Est de l'Anticyclone des Açores établit une jonction avec les hautes pressions sahariennes et amène un beau temps sec et froid.

#### 2 - Les types de temps printaniers

De mars à mai, l'Anticyclone remonte vers le Nord cependant que la zone dépressionnaire sur la Méditerranée s'atténue dès avril. La dépression thermique saharienne apparaît par suite de l'échauffement du sol.

Les ondulations du front polaire s'éloignent du Maroc et ne l'atteignent plus après mai, sauf exception : le temps est alors au beau fixe.

#### 3 - Les types de temps estivaux

De juin à août, le Maroc est protégé par l'Anticyclone des Açores qui demeure au large des côtes alors que la dépression saharienne est bien installée vers le Sud-Est du pays.

La plupart du temps une dorsale anticyclonique s'étendant jusqu'à l'Europe ou la Libye établit un régime de beau temps à alizés. Les reliefs sont cependant affectés de manifestations orageuses dues aux remontées vers le Nord du front intertropical. De plus, lorsque l'anticyclone s'éloigne vers le Nord et s'établit sur l'Espagne, la dépression saharienne envahit le Maroc et les vents d'Est et Sud-Est (chergui et sirocco) élèvent fortement la température.

#### 4 - Les types de temps automnaux

De septembre à novembre, l'anticyclone des Açores amorcé son mouvement de repli vers le Sud. Tandis qu'une cellule anticyclonique continentale apparaît à l'Est du 15° méridien Est. Entre les deux, se creuse progressivement une zone dépressionnaire simultanément la dépression saharienne se retire vers le Sud et s'atténue.

Les perturbations de front polaire commencent à intéresser le Nord du Maroc. C'est le début de la saison des pluies.

En conclusion, nous pouvons dire que les situations barométriques et les types de temps qui en sont la conséquence, permettent à la fois de comprendre la très grande homogénéité des climats du Maroc dont la sécheresse estivale est le trait le plus marquant mais aussi leur diversité, conséquence de

conditions géographiques, elles-mêmes très diversifiées.

## II - LES ELEMENTS DU CLIMAT

### 2.1. - Les températures

Janvier est le mois le plus froid ; les moyennes minimales (m.) sont partout inférieures à 10° et descendent à moins de 0° en montagne. L'influence adoucissante de la proximité de la mer existe le long des côtes méditerranéennes et atlantiques sauf dans le Gharb.

Les maxima annuels moyens (m.) se situent le plus souvent en juillet, parfois en août. Ils sont supérieurs à 30°, sauf sur la côte atlantique. Le Tadla s'inscrit dans l'isotherme 40°, une partie du Gharb dépasse 36° alors que la région présaharienne dépasse 42°.

Les températures moyennes annuelles sont très influencées par le relief. Les stations côtières varient entre 17 et 18°, les stations cisatlantiques entre 16 et 18° au Nord du 33° parallèle et entre 18 et 20° permettent de qualifier les climats marocains, à l'exception de ceux des régions présahariennes, de tempérés chauds.

### 2.2. - L'évaporation

L'évaporation physique mesurée à l'évaporomètre Piche est plus faible sur le littoral que dans l'intérieur. Citons les chiffres annuels suivants :

Tanger 881 mm. ; Agadir 1.719 mm. ; Oujda 1.991 mm. ; Marrakech 2.287 mm. ; Kasba-Tadla 3.130 mm. ; Ouarzazate 4.869 mm.

Les maxima ont lieu en juillet sur le littoral (162 mm. à Kénitra), en juillet-août à l'intérieur (757 mm. à Ouarzazate).

Les minima s'observent en janvier généralement (63 mm. à Meknès, 150 à Ouarzazate, mais en décembre).

Les variations quotidiennes sont également importantes.

Les résultats des mesures ne sont pas toujours concordantes entre l'évaporomètre Piche et le Bac Colorado.

L'évaporation naturelle est environ 0,78 fois l'évaporation expérimentale Colorado. L'évaluation de l'évaporation à partir de formules est très importante dans la détermination des caractéristiques de l'irrigation et partant du drainage.

Au Maroc, on utilise plusieurs formules dont la formule de Loup, la formule de Turc et la formule de Thornwaite.

### 2.3. - Les précipitations

S'il n'entre pas spécialement dans le but du colloque d'étudier l'humidité atmosphérique, les brouillards et précipitations occultes qui en résultent, il convient par contre de parler assez en détail des pluies ainsi que, dans une moindre mesure, des précipitations solides.

#### 2.3.1. - Intensité

Les hauteurs recueillies dans 188 stations (qui n'incluent pas le Tangérois et le Rif — ex-espagnol) montrent que l'intensité moyenne journalière se situe entre 4 et 24 mm./j., mais seules 10 % des stations ont enregistré des intensités supérieures à 12 mm./j.

Les méthodes d'interpellation classiques donnent en définitive, pour l'ensemble du Maroc une intensité moyenne de 9 mm./j.

L'intensité sur de courts laps de temps peut être très forte. Bien que les pluies torrentielles soient rares, l'intensité peut atteindre 2-3 mm./minute, d'où des phénomènes d'érosion spectaculaires, surtout lorsque la lithologie et les pentes s'y prêtent comme c'est le cas dans les collines marneuses tertiaires du pré-Rif ou les argiles rouges et liasiques disséminées un peu partout dans les contreforts du Haut-Atlas.

#### 2.3.2. - Totaux annuels

D'une année civile à l'autre, les hauteurs de pluies varient considérablement. Par exemple, pour Marrakech le rapport de l'amplitude des pluviométries observées à la pluviométrie moyenne annuelle (257 mm.) est de 1,4. Pour Casablanca et Tanger, ce rapport est de 1,1 et 1,3. Les pluviométries moyennes sont double des minimales, mais les maximales sont 1,9, 1,6 et 1,8 fois plus fortes que les moyennes.

Le régime pluviométrique, c'est-à-dire la répartition au cours de l'année, montre un minimum absolu en juillet, période particulièrement sèche. On constate généralement deux maximum en février et en décembre, sauf pour les stations très continentales (novembre et mars).

La distribution géographique des précipitations au Maroc semble dépendre de la combinaison de trois facteurs :

— La latitude.

— La continentalité difficile à dissocier de l'influence du relief.

— Le relief : on constate une augmentation de la pluviométrie avec l'altitude jusqu'à un maximum situé vers 2.500-3.000 m. Mais on note également une certaine dissymétrie des versants, les versants E et S.E. recevant moins de pluie que les versants

N. et N.E. bien exposés. L'effet de Föhn explique la relative aridité de certaines cuvettes bien abritées.

On a coutume de distinguer au Maroc quatre domaines pluviométriques.

#### a - *Domaine de la dorsale humide*

Ce domaine englobe toutes les régions montagneuses, mieux arrosées que le reste du pays, bien que l'effet de la latitude soit très marqué.

■ Le Rif reçoit en moyenne plus de 900 mm., certains sommets plus de 1.500 mm., les précipitations diminuent d'Ouest vers l'Est. Les vallées abritées, les versants orientaux et méditerranéens sont par contre plus secs.

■ Le Moyen-Atlas et le massif central reçoivent de 900 à 1.200 mm. La vallée du Haut Sebou forme un couloir de sécheresse.

■ Le Haut-Atlas reçoit environ 500 mm. dans sa partie occidentale. Dans sa partie centrale, le compartimentage par les vallées crée des variations importantes, les maxima atteignent 900 mm. Plus à l'Est, le Haut-Atlas ne dispose que de 400 mm., même moins dans les vallées (200 mm.).

■ L'Anti-Atlas est sec et les maxima atteignent péniblement 400 mm.

#### b - *Domaine atlantique*

Il correspond au domaine cisatlantique. Au Nord d'une ligne Casablanca-Kasba-Tadla, les totaux sont compris entre 400 et 800 mm.; le Gharb et le Tangérois reçoivent plus de 600 mm. Au Sud de cette ligne, les pluies sont inférieures à 400 mm. sauf localement. Certains points du Haouz sont même à moins de 200 mm. Le Souss reçoit 200 à 300 mm.

#### c - *Domaine oriental*

Abrité des influences océaniques, il est assez sec. Les versants NW de reliefs reçoivent de 600 à 900 mm., mais les plaines et dépressions sont au-dessous de 400 mm.; la moyenne Moulouya, très aride, ne dépasse pas 200 mm. cependant que les Hauts Plateaux sont compris entre 200 et 300 mm.

#### d - *Domaine présaharien*

Les précipitations y sont généralement inférieures à 100 mm. sauf pour les piémonts et montagnes (100 à 200 mm.).

Le nombre de jours de précipitations par an dépasse très rarement 100 au Maroc (Ifrane). Plus de 70 jours sont notés dans le Tangérois, le Rif occidental, le Nord du Moyen-Atlas, les causses du Moyen-Atlas, la région de Rabat. Sur le versant Nord du Haut-Atlas, le nombre de jours pluvieux est de 50 à 60 ainsi que dans le Gharb. Ce nombre

diminue quand on passe du Nord au Sud-Ouest (30 jours de pluie dans le Souss).

La variabilité pluviométrique interannuelle est faible dans les régions montagneuses, le massif central, les plaines de la Chaouïa et des Doukkala; les écarts par rapport à la moyenne sont inférieurs à 20 % et permettent des cultures sans irrigation avec les meilleures chances de succès.

Les écarts sont compris entre 20 et 30 % dans le Gharb, les plaines méridionales du Maroc occidental, les plaines du Maroc oriental.

Les écarts sont supérieurs à 30 % dans le Souss et les plaines pré-sahariennes.

Les précipitations solides sont de deux sortes : la neige et la grêle.

La neige ne tombe guère qu'en montagne. Ces fréquences annuelles sont fonction de l'altitude.

Ces chutes de neige se produisent de fin octobre à mai selon l'altitude, mais les plus fréquentes se produisent en janvier-février. L'enneigement au-dessous de 1.500 m. disparaît en quelques jours, mais peut durer plusieurs mois au-dessus de 2.000 m. Il n'y a pas de neiges éternelles; cependant des plaques peuvent, en haute montagne, subsister jusqu'au cœur de l'été dans les couloirs rocheux abrités.

Quant à la grêle elle n'est pas rare au Maroc. Des chutes se produisent 15 à 10 j./an dans le Rif et le massif central, 10 à 15 j./an dans le domaine cisatlantique sauf le Tangérois et une bande côtière au Sud de Rabat (moins de 5 j./an), de 5 à 1 j./an dans l'Oriental et les Hauts Plateaux.

### Résumé des débats sur le chapitre II

Q. — Je voudrais savoir la signification que l'on peut accorder aux termes d'évaporation qui ont été avancés. Par exemple plus de 4.000 mm. observés à Ouarzazate, cela signifie-t-il que c'est une moyenne pour l'ensemble de la province qui pourrait s'appliquer à l'évaporation sur le lac du barrage de Zaouïa N'Orbaz ?

R. — Les chiffres cités, tirés d'une étude de Aron (1957) menée sur 16 stations du Maroc donnent des valeurs d'évaporation physique mesurée au Piche. On peut, en première approximation estimer que l'évaporation sur un plan d'eau de grande étendue, serait environ moitié moindre ce qui est confirmé par des essais menés au Bas Colorado à Ksar-es-Souk (2.300 mm.). Et dans les plantations les valeurs trouvées sont encore plus faibles du fait de l'effet d'oasis (1.200 mm.).

Q. — Qu'entendez-vous par effet d'oasis ?

R. — Dans les mesures au Bas Colorado, on

constate un effet de réflexion considérable du fait que le bac est installé au-dessus du sol. Les vents desséchants aboutissent à une évaporation locale très inférieure à celle observée au-dessus d'une zone irriguée. On élimine ces aléas en utilisant une méthode du type Pellman ou analogue basée sur un bilan énergétique et qui évite précisément l'influence des effets d'oasis sur les résultats.

## CHAPITRE III LES SOLS

### I - HISTORIQUE RAPIDE

Les recherches pédologiques au Maroc datent de 1914. Elles se sont intensifiées au fil des années sous l'impulsion du Centre de Recherches Agronomiques de Rabat, avec la collaboration de l'Institut Scientifique Chérifien et de l'O.R.S.T.O.M. De nombreuses études à caractère pratique, en vue de la mise en valeur agricole, ont également été réalisées par la Division de la Mise en Valeur et du Génie Rural, de 1954 à 1960, puis par l'O.N.I. après 1961, puis enfin par la D.M.V. du Mara, avec l'assistance de l'O.R.S.T.O.M. et de bureaux d'études du secteur privé.

### II - CLASSIFICATION DES SOLS

La classification des sols utilisée au Maroc est directement inspirée des travaux d'Aubert-Duchaufour. Cette classification est fondée sur les conditions et processus d'évolution des sols qui se traduisent par une morphologie particulière. On peut donc dire qu'elle est morpho-génétique.

Elle range les sols dans une série d'unités qui, en passant du niveau général au niveau particulier, sont les classes, sous-classes, groupes, faciès, familles, séries, types, phases.

### III - FACTEURS DE LA PEDOGENESE

Les facteurs de la pédogénèse au Maroc sont les mêmes que partout ailleurs dans le monde : le climat, la végétation, la roche-mère, le relief, l'érosion et l'action de l'homme. C'est l'originalité du milieu méditerranéen réside dans la prééminence des facteurs roches et reliefs.

Les roches alluviales et colluviales meubles, qui nous intéressent particulièrement dans le cadre de ce colloque, par leur texture, leur teneur en calcaire, leur composition minéralogique, leur âge dans le quaternaire, déterminent, en grande partie, la répartition des différents sols isohumiques, des vertisols de plaine, des sols peu évolués d'apport.

Le relief a une action évidente puisqu'il agit par l'intermédiaire du climat, de l'altitude, de l'érosion, de la pente ; il répartit également les alluvions qui formeront les roches-mères des sols de

plaines. Quant aux dépressions, aux ondulations, même de très faible amplitude, elles changent totalement le pédoclimat, provoquant des phénomènes d'hydromorphie et de salure.

Le climat, lui, avec ses alternances de forte humidité et de grande sécheresse, crée des conditions favorables à un engorgement temporaire par l'eau, engorgement dont on voit la marque dans de nombreux sols : sols rouges, sols isohumiques, sols bruns calcaires, sols bruns tempérés ou méditerranéens. Cet engorgement peut s'effectuer dans les régions subarides, lorsqu'une topographie de plaine ou de dépression le permet : ainsi se forment des sols hydromorphes sur les bas plateaux de la Meseta côtière. Même dans des régions plus arides, les pointes de pluviométrie peuvent occasionnellement réactiver et conserver des pédogénèses de ce type, formées anciennement sous un climat plus favorable.

Sauf dans les climats subhumides ou humides ou dans le cas de roches-mères très perméables, les climats actuels du Maroc ne permettent pas le lessivage important des substances solubles, d'abord parce que le sol n'est pas mouillé sur une forte épaisseur, ensuite à cause des remontées de solutions qui se produisent pendant les périodes sèches. Il y a donc tendance à une accumulation dans le profil, en particulier pour le calcaire et les sels.

On voit, par ailleurs, que fréquemment les sols montrent des profils dont les forts caractères d'évolution (par exemple la rubéfaction ou l'enroulement très épais) ne semblent pas compatibles avec les conditions climatiques actuelles. Selon les cas on admet que le faciès est hérité d'une pédogénèse ancienne sous un climat plus humide, plus actif, d'une des périodes du quaternaire, ou bien qu'il résulte de la sommation, sur de longues durées, des effets lents du climat actuel ou analogue à l'actuel. De toutes manières, il semble que s'il y a eu changements climatiques au quaternaire, ces climats anciens sont toujours restés du type méditerranéen.

### IV - PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

#### ET REPARTITION

#### 4.1. - Sols isohumiques

Au Maroc se sont des sols isohumiques de régions méditerranéennes ou subtropicales, à complexe absorbant saturé, évoluant sous un pédoclimat frais en saison pluvieuse. Ces sols sont caractéristiques des plaines, piémonts et plateaux du Maroc Atlantique (à l'exception de la bordure côtière).

Ils sont formés essentiellement sur des alluvions ou colluvions quaternaires, à l'exclusion du gharbien récent. Ils sont donc complexes.

Ils sont caractérisés par une argilisation en profondeur, un profil organique isohumique, une décalcification en surface accompagnée d'accumulation et d'individualisation du calcaire en conglomérations en profondeur. Ce dernier phénomène, lorsqu'il n'y a pas de nappe phréatique battante, suppose des apports latéraux.

#### 4.2. - Les sols rouges et bruns méditerranéens

Trouvés en majorité dans les régions montagneuses, sous végétation climatique forestière, ils ne sont signalés ici que pour mémoire.

#### 4.3. - Les sols calcomagnésimorphes

Ce sont des sols formés sur des roches calcaires ou dolomitiques en place, à pente plus ou moins forte. On en trouve donc un peu partout au Maroc. Ils ne présentent guère d'intérêt pour l'agriculture que lorsqu'ils sont formés sur des calcaires tendres, par exemple dans le cas des rendzines à horizons.

#### 4.4. - Les vertisols

Appelés « Tirs », ils couvrent de vastes superficies dans le Maroc Atlantique, d'autant plus que le littoral est proche. Les Bas Plateaux (Chaouïa, Doukkala, Zaër) et les plaines côtières (Gharb, Loukkos) en portent de très grandes étendues, ainsi que les collines du pré-Rif. Ils ont été très étudiés et il semble que leurs caractéristiques soient trop connues pour qu'il soit permis d'insister ici. Notons simplement que l'on distingue :

— Les tirs de côteau ou lithomorphes formés sur des marnes montmorillonitiques du miocène marin et du crétacé supérieur, ainsi que sur dolérites.

— Les tirs de plaine ou topomorphes formés en zones planes ou déprimées sur alluvions montmorillonitiques. Ils ont une structure large dès la surface et, lorsqu'ils ne sont pas nodaux, passent latéralement à des sols tirsifiés à caractères verticaux moyennement développés, ainsi qu'à des tirs de merja, c'est-à-dire des vertisols hydromorphes à taches de concrétions.

#### 4.5. - Les sols hydromorphes

Ils existent partout où les conditions topographiques et climatiques le permettent, en particulier dans la Meseta côtière, sur le pourtour du Gharb et dans le plateau central.

Dans la Meseta côtière couvrant des superficies importantes dans les Zaër, les Zemmour, les Doukkala, la Chaouïa, un sol hydromorphe minéral à pseudogley de profondeur, à taches et conglomérations ferrugineuses, appelé Merzag, se caractérise par deux horizons de texture très différente favorisant la formation d'une nappe perchée temporaire même sous ce climat semi-aride.

Sur le pourtour du Gharb, des sols à pseudogley appelés Harch, assez analogues aux précédents, forment une auréole au contact des sables villafranchiens de bordure et des alluvions de la plaine.

En dehors de ces sols de la classe hydromorphe, des phénomènes d'hydromorphie moins accentuée affectent souvent les sols de certaines régions littorales, par exemple vertisols peu évolués à texture lourde du Gharb et du Loukkos, sols lessivés de la Mamora.

#### 4.6. - Les sols à mull ou sols brunifiés

Se développant dans des régions à climat humide ou subhumide et sous-végétation forestière, ces sols se rencontrent surtout dans des zones montagneuses, peu agricoles, qui ne concernent pas directement le colloque. Signalons, néanmoins, les sols lessivés sur sable argileux villafranchiens de la Mamora sur lesquels nous reviendrons plus loin.

#### 4.7. - Les sols halomorphes

Bien que les phénomènes de salure et d'alcalisation soient assez fréquents dans les sols des plaines, les vrais sols à morphologie halomorphe sont rares.

Les zones de sols halomorphes les plus notables se situent dans les régions arides et sahariennes. Elles correspondent à des zones déprimées ou à des bassins mal drainés ; la salure est provoquée par la remontée capillaire et la forte évaporation d'une nappe phréatique salée peu profonde. A l'origine le sel provient des bassins versants des oueds alimentant la dépression. Ces sols sont fortement salins, à écorchement superficiel ou à horizon superficiel friable. De plus, ils sont hydromorphes en profondeur, alcalisés et souvent gypseux.

De tels sols s'observent dans le Tafilalet et, plus au Sud, dans la Daoura. Il en existe aussi dans la vallée du Draâ, dans la dépression du Sedd el Mejnoun, au N.E. de Marrakech, dans la Bahira ainsi que sur les hauts plateaux orientaux.

Il y a, par contre, des sols fortement salés et alcalisés, à structure massive dans les basses vallées des estuaires du Mellah, du Bou-Regreg et du Loukkos. L'infiltration de l'eau de mer y joue un rôle actif.

En dehors des sols salés typiques, les phénomènes de salure surimposés à des pédogénèses diverses sont fréquents dans les plaines alluviales et sont dus à une nappe phréatique peu profonde ; ce processus est souvent aggravé, ou même tout simplement provoqué par l'intervention humaine, en zone irriguée. Dans ce dernier cas, à la remontée de la nappe s'ajoute, en zone aride ou désertique, une salinisation superficielle provoquée par l'évaporation de l'eau d'irrigation. De telles salures se

rencontrent dans les sols peu évolués d'apport ou subdésertiques du Tafilalet, des vallées du Guir et du Tadla, dans les vertisols du Gharb et dans les sols peu évolués d'apport du Gharb, du Tensiff, de la Moulouya et de leurs affluents.

Enfin, même en l'absence de nappe et d'irrigation, certains sols isohumiques des plaines et plateaux du Maroc Oriental peuvent être salins et alcalisés grâce à leur roche-mère.

#### 4.8. - Les sols minéraux bruts et les sols peu évolués

##### 4.8.1. - Sols d'origine climatique :

En dehors des sols de haute montagne et des formations de désert (reg, erg), seuls intéressent l'agriculture présaharienne les sols peu évolués subdésertiques formés sur des terrasses d'alluvions du quaternaire récent.

##### 4.8.2. - Sols non climatiques

Les sols d'érosion (peu évolués d'érosion, lithosols, régosols) n'ont guère d'usage agricole.

Par contre, parmi les sols d'apport fluvial, les sols minéraux bruts des basses terrasses à alluvionnement actuel et, plus encore, les sols peu évolués, sont importants pour l'agriculture du fait de leur profondeur et de la proximité de l'eau des oueds. Les sols peu évolués sont généralement du gharbien et forment des bourrelets alluviaux et des terrasses dans le Gharb, dans les vallées de l'oued Sebou et de ses affluents, dans la vallée du Loukkos, de l'oued Faregh (Doukkala), de la Moulouya, dans la plaine du Souss enfin.

En résumé, nous pourrions dire que par la synthèse qu'elle opère entre les éléments de la lithologie, du relief, du climat et de multiples autres facteurs, l'étude des sols, et plus explicitement l'étude de la pédogénèse et des faciès morphopédologiques qu'elle engendre, apparaît comme indicateur de premier ordre pour l'identification des problèmes de drainage. Nous reviendrons sur ce point un peu plus loin et je termine ici la lecture de la première partie du rapport introductif.

#### Résumé des débats sur le chapitre III

Q. — Du point de vue des problèmes de mise en valeur, les différences entre sols évolués ou pas évolués sont d'intérêt secondaire. Les études de sols en France accordent actuellement de plus en plus d'importance aux paramètres analytiques qu'aux données chiffrées. Par exemple, parler de « sols isohumiques » dans des sols où la teneur en matière organique est de l'ordre de 1 %, ou de « sols calcémagnésiens » alors que la plupart des sols pourraient être englobés sous cette rubrique, n'a pas grande signification. Les étiquettes donc sont de portée limitée.

R. — Les études pédologiques au Maroc ont été conçues jusqu'à présent dans le cadre de la classification présentée dans le rapport. Que cette classification ne soit pas toujours adaptée à l'identification des problèmes de mise en valeur en général et de drainage en particulier, les pédologues marocains en sont bien conscients.

## CHAPITRE IV

### LE CADRE POLITICO-ECONOMIQUE

#### I - LA POLITIQUE DE MISE EN VALEUR AGRICOLE

L'agriculture a bénéficié de la priorité dans les 3 plans successifs de développement qu'a connu notre pays depuis son indépendance en 1956 et continuera de jouir de ce privilège dans le Plan Quinquennal qui sera promulgué prochainement. Cette priorité se concrétise dans les faits par la part importante des investissements publics qui est consacrée à ce secteur (environ 30 % pour les 2 premiers plans, 32 % pour le dernier Plan, 45 % si on inclue dans les crédits affectés à l'agriculture ceux alloués au Ministère des Travaux Publics pour l'édification des barrages).

Une part considérable de ces crédits est dépensée pour les aménagements hydro-agricoles, c'est ainsi qu'au cours du dernier Plan 62 % des crédits publics affectés à l'agriculture ont servi à ces aménagements.

C'est cette politique qui a été vulgarisée sous les slogans connus chez nous « de politique des barrages » ou politique du « Million d'ha irrigués » l'objectif à long terme étant en effet d'irriguer de façon pérenne environ 1 million d'ha essentiellement par la régularisation de cours d'eau au moyen de barrages réservoirs. Ce million d'ha est réparti entre, d'une part, 9 périmètres de grande hydraulique totalisant environ 700.000 ha et une profusion de périmètres de moyenne et petite hydraulique englobant le reste.

Les trois périmètres d'irrigation dont il sera question au cours de ce colloque appartiennent à la première catégorie, c'est-à-dire à la catégorie des périmètres de grande hydraulique.

La réalisation de ce programme nécessite l'édification de près de 20 barrages qui fourniront environ 90 % des quantités d'eau nécessaires.

Actuellement 10 barrages sont en service, représentant un volume utile total de 45.000 hm<sup>3</sup> et minant une superficie totale de plus de 400.000 ha, 2 nouveaux barrages seront mis en service au cours de l'actuel quinquennat.

Les superficies aménagées seront schématiquement occupées par les cultures intensives suivantes:

— Céréales .....	1/4
— Cultures industrielles (coton, betterave à sucre, canne à sucre) .....	1/4
— Cultures fourragères .....	1/4
— Arboriculture (agrumes essentiellement) .....	1/8
— Maraîchage .....	1/8

## II - TYPE ET TRACE DU RESEAU.

### MODE D'IRRIGATION

L'adduction de l'eau se fait au moyen d'un réseau de canaux. Les canaux principaux sont de section trapézoïdale, généralement bétonnés. Les canaux secondaires et tertiaires sont en béton précontraint, de forme semi-circulaire, ils sont autoportés.

Les arroseurs enfin sont en terre compactée.

Le canevas de ce réseau est géométriquement simple : les canaux secondaires parallèles entre eux et les canaux tertiaires également parallèles les uns aux autres découpent des parallélogrammes de 30 à 40 ha appelés blocs d'irrigation.

Ces blocs d'irrigation sont divisés en 4, 5 ou 6 bandes de superficies équivalentes parallèlement aux secondaires, appelés soles, chacune est nivelée et dominée par un canal arroseur.

A l'intérieur de chaque bloc d'irrigation, les exploitations préalablement remembrées sont disposées côte à côte parallèlement aux canaux tertiaires. Chacune d'elles se trouve donc sur autant de bandes qu'en comporte le bloc d'irrigation. Chaque bande est destinée à occuper une même culture (sans tenir compte des limites des parcelles) dans le cadre d'un assolement collectif édicté par les services techniques et sanctionné par un arrêté ministériel. D'où le nom de « sole » donné à ces bandes.

Ce type d'implantation des parcelles est appelé tramé B ou tramé rationnelle. Mis au point au Maroc vers 1962, il n'est en fait, appliqué que depuis 1967 quand les conditions du terrain et le parcellaire le permettent, ce qui n'est pas toujours le cas.

Ajoutons enfin que l'assainissement des périmètres est assuré par un réseau de collatures qui double le réseau d'irrigation. Le périmètre du Gharb est le seul où un système de drainage enterré est réalisé en même temps que l'aménagement pour l'irrigation : ce qui est vraisemblablement un tort à en juger par les difficultés que nous connaissons actuellement dans nos deux plus anciens périmètres: le Beht (que nous aurons l'occasion de visiter ensemble demain et les Beni-Amir où la remontée de

la nappe souterraine suite aux infiltrations d'eau, cause de sérieux dégâts aux cultures.

## III - MODE D'IRRIGATION

Vous l'avez deviné à travers la description du réseau : le mode d'irrigation adopté chez nous est l'irrigation gravitaire. Actuellement sur les 250.000 ha aménagés dans les grands périmètres moins de 2.000 ha sont irrigués par aspersion et sauf renversement peu probable de la tendance actuelle nous prévoyons d'équiper pour l'aspersion moins de 100.000 ha sur le million d'ha destiné à être aménagé. Cette option peut étonner à un moment où il se confirme que toute l'Europe se détourne de ce type d'irrigation au profit de techniques plus évoluées : l'aspersion, le goutte à goutte, etc...

Quand on pense également que lorsque vers l'an 2000 nous avons achevé l'équipement de notre million d'ha en réseaux gravitaires il n'en subsistera vraisemblablement pas un seul en Europe.

En fait, ceci n'a rien d'étonnant. Nous avons sciemment choisi cette technique d'irrigation car c'est elle qui répond le mieux aux structures socio-économiques de nos campagnes totalement différentes de celles qui en Europe ont commandé l'abandon de cette technique au profit de techniques, qui présentent l'avantage d'être mécanisées, donc permettent des économies de main-d'œuvre alors que dans nos campagnes nous n'avons nullement besoin de faire des économies de main-d'œuvre.

## IV - CONDUITE DE L'IRRIGATION, EFFICIENCE DE L'IRRIGATION

Evidemment, sur un plan strictement technique et en relation avec les problèmes de drainage qui nous préoccupent ici, l'inconvénient majeur de ce mode d'irrigation reste son rendement faible relativement aux autres modes (l'aspersion notamment) et les pertes lors du transport et la distribution.

Conscients de ce problème nous avons essayé de limiter dans la mesure du possible les effets de ces tares, innés de l'irrigation gravitaire.

— Au niveau du transport par le bétonnage quasi systématique des canaux jusqu'en tête des parcelles.

— Au niveau de la distribution, la trame B permet l'application d'un tour d'eau sans hiatus, c'est-à-dire sans déversement dans les collatures des eaux non utilisées sur une parcelle.

Au niveau de l'irrigation, d'abord nous avons réuni sur l'exploitation les conditions optimales d'une irrigation rationnelle par le nivellement rigoureux des parcelles et la limitation des débits délivrés à 30 l/s. au maximum au moyen de modules à masques perfectionnés.

Ensuite, conscients que l'efficacité d'une irrigation dépend dans une large mesure de la conduite de celle-ci nous avons adopté l'irrigation à la raie et aux calants à deux débits (d'attaque et d'entretien) au moyen de syphons tubulaires qui prélèvent l'eau dans l'arrosoir pour la déverser dans les raies ou les calants.

Différents essais menés par le Centre des Expérimentations de la D.M.V. ont montré qu'une telle conduite de l'irrigation permet d'atteindre des rendements de 0,75 et même 0,90. Ce rendement étant le rapport entre la dose nette et la dose brute appliquée, ceci veut dire qu'on peut limiter à moins de 10 ou 20 % les percolations qui vont alimenter la nappe.

Bien entendu, avec les chiffres que je viens de citer nous nous trouvons à la limite du possible, c'est ce que l'on peut faire de mieux.

Chez le paysan les choses se passent autrement qu'en station expérimentale. Du fait notamment des rythmes de mise à l'irrigation de superficies nouvelles (20.000 ha chaque année) l'encadrement des irrigants en vue de leur apprentissage de la conduite rationnelle des irrigations s'est révélée quasiment impossible.

Si bien que : on peut affirmer sans exagération que l'irrigation à la raie ou au calant à deux débits telle que réalisée dans nos stations n'est, pour ainsi dire, pratiquée par personne. Quelques-uns s'en approchent un peu.

Quant à la grande majorité des irrigants on peut dire que le nivellement du terrain fait plus ou moins évoluer leurs façons de conduire l'irrigation des techniques ancestrales (robta, bassin) vers l'irrigation à la raie et au calant mais à un seul débit (exemple bassin et robta ou billon double). La longueur du bassin ou de la robta dépend de la pente du terrain, il/elle est d'autant plus longue que la pente est moins forte : le nivellement leur a donc permis d'allonger les bassins/robtas. A la limite on passe à des raies qui sont celles que nous préconisons mais l'irrigation continue d'être une irrigation par submersion et non pas par ruissellement comme nous le souhaitons.

#### DIAPPOSITIVES

1 - Irrigation sur cotonnier dans la station expérimentale du Tadla.

Irrigation à la raie à deux débits : le débit d'attaque = 4 fois débit d'entretien.

2 - Préirrigation ou irrigation avant la levée même lieu. Raies en cours d'entretien.

3 - Irrigation au calant en station expérimentale.

4 - Irrigation chez un cultivateur de la Basse-Moulouya.

Une robta qui n'en est plus une. Les sillons sont moins profonds mais presque aussi courts.

A noter que ces billons ne sont pas fait dans le

sens de l'irrigation mais dans le sens perpendiculaire.

L'eau est dérivée au moyen d'un ensemble de syphons : c'est rarement le cas.

5 - Raie qui n'en est pas encore une. C'est un stade avancé de l'évolution de la robta vers la raie.

Le billon possède les caractéristiques souhaitables de longueur et profondeur mais le ruissellement n'a pas supplanté la submersion.

6 - Un calant qui n'en est pas un.

Que dire de l'efficacité de l'irrigation ainsi conduite ?

Indéniablement, l'allongement des billons, la profondeur moindre des sillons améliorent le rendement de l'irrigation et diminuent donc les percolations vers le sous-sol, par rapport aux méthodes traditionnelles. Mais quantitativement ? Quels chiffres avancer ? Honnêtement nous n'en n'avons pas.

#### DEBATS :

Plusieurs interventions ont été faites sur cette partie du rapport, ayant traité notamment à la conduite de l'irrigation, à l'économie de terrain et de main-d'œuvre permise par le passage de la robta à la raie, et au prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau. Toutes ces questions, bien que soulevées dans le rapport général, n'étant pas en relation directe avec le thème central du colloque ne seront pas reproduites ici.

Une seule question étroitement liée à ce thème a été soulevée, elle concerne l'irrigation au goutte à goutte en tant que méthode permettant :

- a) d'irriguer à l'eau saumâtre,
- b) d'appliquer de très faibles doses,
- c) et partant, de rendre superflu le drainage.

Selon le rapporteur : cette technique qui représente un degré d'évolution plus avancé que l'aspersion dans la voie de la mécanisation de l'irrigation en vue essentiellement d'économiser la main-d'œuvre par la réduction de l'intervention de l'irrigant, n'est pas, à fortiori, envisagée au Maroc dans un proche avenir, d'autant plus qu'il paraît que le coût des équipements soit nettement plus élevé que dans le cas de l'irrigation de surface.

Ce à quoi l'intervenant a répondu en signalant que le système en cours d'expérimentation par la C.N.A.B.R.L. (France) est d'un coût inférieur à un système classique d'irrigation par aspersion. Par ailleurs, la comparaison avec un système d'irrigation de surface risque fort de ne pas être à l'avantage de ce dernier si on y inclue le coût du système de drainage qui n'est pas nécessaire dans le cas de l'irrigation au goutte à goutte ou tout autre système apparenté.

A cette dernière affirmation un intervenant a répondu que, à sa connaissance, les expériences d'irrigation au goutte à goutte à l'eau saumâtre, n'ont pas été faites sur des sols lourds ni sur des cultures à enracinement profond. Ce qui incite à une certaine prudence.

## DEUXIEME PARTIE

### LES PROBLEMES DE DRAINAGE AU MAROC

L'examen relativement détaillé des conditions de relief, climat et sols qui prévalent au Maroc permet de dégager l'essentiel des informations constituant la diagnose des problèmes de drainage.

En effet, on pourrait classer ceux-ci schématiquement, bien qu'artificiellement, de la manière suivante :

- 1°) Zones à problèmes actuels de drainage.
- 2°) Zones à problèmes potentiels de drainage.

Les zones à problèmes actuels de drainage sont celles où l'agriculture, irriguée ou non, subit des contraintes négatives du fait précisément des problèmes de drainage.

Au contraire, dans le second cas, les problèmes ne sont susceptibles d'apparaître que suite à l'intensification de la mise en valeur agricole par l'irrigation.

Il est évident que cette distinction ne repose pas sur l'identification de problèmes de nature différente mais bien plutôt sur une notion d'intensité et d'actualité.

Par exemple, les sols lourds argileux de type « tirs », parfaitement aptes à une céréaliculture extensive en sec portent en eux les germes d'un engorgement interne qui les rendent peu favorables à une agrumiculture intensive.

L'important est de disposer des méthodes d'investigation capables de détecter et de définir ces problèmes potentiels.

Dans la première hypothèse, le drainage intervient à titre curatif. Dans la deuxième hypothèse, son rôle est préventif.

#### NATURE DES PROBLEMES DE DRAINAGE

On distingue :

1°) Les cas où l'excès d'eau est le facteur négatif prédominant. Il y a :

- des excès d'eau en surface,
- des excès d'eau dans le sol (engorgement, nappe phréatique).

2°) Les cas où l'excès de sels est le facteur essentiel.

3°) Les cas où l'excès simultané d'eau et de sels se manifeste.

#### REGIONS OU SE RENCONTRENT LES PROBLEMES DE DRAINAGE

##### 1 - Excès d'eau

##### 1.1. - Excès d'eau de surface

Bien que la plus grande partie du Maroc soit située en milieu semi-aride ou aride, les excès d'eau

de surface ne sont pas rares, soit que la saison hivernale apporte des précipitations concentrées sur une trop courte période, soit que les impluviums de ruissellement rassemblent sur des superficies limitées des quantités d'eaux incompatibles avec la capacité d'exhaure des exutoires naturels, provoquant ainsi le débordement des voies habituelles de cheminement de l'eau.

L'assainissement de surface est nécessaire partout où les apports, soit pluviométriques, soit de crue, provoquent des stagnations en l'occurrence sur les sols lourds et les zones en dépression. C'est le cas de tous les vertisols de plaine, de pratiquement tous les sols d'alluvions de zones humides, subhumides et, éventuellement, semi-arides et d'une manière générale des sols lourds argileux de bas-fonds.

De grands périmètres, tels que la plaine du Gharb et la vallée du Loukkos, sont systématiquement intéressés à la protection contre les excédents d'eau de surface aussi bien au niveau régional (protection contre les crues) qu'au niveau du champ (façonnage du terrain).

Mais de nombreuses zones, couvrant chacune de quelques centaines à quelques milliers d'hectares et disséminées à travers tout le pays, souffrent d'excès d'eaux superficielles hivernales et réclament des solutions généralement coûteuses, mais toujours complexes et délicates.

Nous pouvons citer le périmètre de Berguent, sur les Hauts Plateaux de l'Oriental, où, en dépit du climat aride, il n'a pas été raisonnable de penser à l'aménagement agricole que moyennant la création préalable :

1°) d'un lit artificiel destiné à maîtriser dans la cuvette les apports d'épandage dévastateurs d'un oued divagant ;

2°) d'un drain de ceinture, afin de capter les sources artésiennes du pourtour qui jaillissent à une cote supérieure à celle de la cuvette.

Nous pouvons également citer à la limite des provinces de Tanger et de Tétouan, les quelques milliers d'hectares des plaines des oueds Hachef, Maraar et Ayacha, dans lesquelles toute mise en valeur passe par l'obligation d'évacuer des eaux de crue actuellement freinée par la remontée du plan d'eau de la mer. Le freinage de l'écoulement des eaux météoriques par la mer en basse plaine côtière se retrouve identiquement dans la basse plaine de Saïdia (au nord de Berkane) et dans la partie aval de la vallée de l'oued Nekor, près d'Al-Hoceïma.

##### 1.2. - Excès d'eau en profondeur

La formation d'une nappe phréatique peu profonde ou la remontée d'une nappe phréatique pré-

existante représente le facteur de drainage insuffisant, le plus fréquent dans les sols du Maroc.

Ce phénomène est dû à un déséquilibre du bilan de la nappe dont la vitesse d'alimentation est plus forte que les sorties par évaporation et écoulements souterrains vers les exutoires.

La formation ou la remontée de la nappe phréatique s'accompagne généralement à terme d'une croissance de sa salure et, par conséquent, de la salure des sols. Les exemples d'action simultanée nappe-sel seront abordés plus loin, ce paragraphe n'étant consacré qu'aux cas où la nappe n'est pas salée.

La formation d'une nappe phréatique haute, donc gênante mais non salée, est directement liée à des conditions locales de sol et de topographie.

C'est le cas des nappes perchées temporaires qui apparaissent dans les sols au contact de deux horizons à texture très dissemblables, donc à perméabilités généralement différentes ; le facteur sol est donc prééminent. Ces nappes perchées sont, compte tenu des conditions climatiques marocaines, très fugaces, mais l'introduction de l'irrigation les met en évidence de manière fulgurante.

Les sols lessivés de la Mamora sont constitués d'une couche très sableuse de un à trois mètres d'épaisseur surmontant un horizon B d'accumulation à texture argilo-sableuse. Au niveau du contact entre les deux couches se forme une nappe perchée temporaire qui peut remonter aisément jusqu'en surface du fait de la capacité de rétention très faible des sables. La topographie de l'horizon d'accumulation ne suit pas celle du paysage et, dès l'automne, se forment des « poches d'eau », en particulier dans les « dayas », dépressions topographiques coïncidant avec des « creux » du toit du niveau argileux. La végétation climatique de chêne-liège s'est bien adaptée à ces conditions et la densité du peuplement reflète l'hydromorphie des sols ; mais l'introduction de plantations d'arbres fruitiers, en particulier d'agrumes, pose à l'exploitant des problèmes que l'irrigation par aspersion, au demeurant obligatoire en raison de la perméabilité des terrains ne peut entièrement résoudre.

Un exemple similaire est donné par les sols lessivés à pseudogley, Harch des bordures du Gharb, Merzag des bas plateaux littoraux de la Meseta, mais la vocation agricole de ces sols est singulièrement limitée par l'épaisseur de l'horizon supérieur perméable, réduite à quelques centimètres.

## 2 - Excès de sels

Hormis les sols dans lesquels le sel provient de la roche-mère, par exemple les sols bruns alcalisés, plus ou moins salés, de la plaine du Zebra

dans la Basse-Moulouya, les excès de sel dans la couche exploitée par les cultures proviennent de l'action combinée du climat et de l'homme.

Du climat, car dans les régions à climat humide ou subhumide et même, dans une moindre mesure, semi-aride, la pluviométrie hivernale provoque un lessivage partiel entraînant les sels à une profondeur suffisante pour n'être pas immédiatement nocifs.

De l'homme, car même en climat aride ou sub-désertique, les sols ne sont jamais tant salins que lorsque l'homme les a dégradés par la pratique d'une irrigation par épandage d'eaux chargées.

Lorsque le pédologue identifie des sols plus ou moins salins et, a fortiori, des sols halomorphes sans pour autant mettre en évidence une nappe phréatique à un niveau tel que puisse être suspectée une remontée capillaire des sels, il doit répondre à la question : d'où vient ce sel ?

Selon les cas on constatera que le sel :

— ou bien a été apporté par des eaux d'épandage mais que la pluviométrie est insuffisante pour le lessiver : il y a accumulation dans les couches supérieures du sol. C'est le cas du Tafilalet si l'on considère le milieu naturel sans interaction avec les actions humaines ;

— ou bien constitue le témoignage de périodes au cours desquelles la nappe phréatique était plus proche de la surface. L'abaissement de la nappe à des profondeurs telles qu'elle demeure désormais sans effet sur les couches supérieures du sol est due soit à des modifications de régime climatique auquel cas la salure observée est fossile, soit à une surexploitation croissante des ressources en eau aboutissant, en quelques siècles, voire en quelques décennies, à l'abandon de régions autrefois irriguées. On citera le cas typique de la Zaouïa de Sidi Zouine, à l'ouest de Marrakech, dont les sols salés et alcalisés portèrent, il y a trois à quatre siècles disent les textes, de riches cultures de canne à sucre. On serait bien en peine, de nos jours, de les réaffecter à cet usage.

## 3 - Excès combiné d'eau et de sel

De ce qui précède, on aura compris que l'excès combiné d'eau et de sel est le cas le plus fréquent si tant est que l'eau transporte généralement du sel et que le sel ne peut être apporté que par l'eau !

Dans une région vierge de toute intervention humaine s'établit entre les éléments naturels, un équilibre qui ne se déplace que très lentement, sous l'influence, par exemple, de modifications climatiques. Les apports d'eau et de sels dans une « unité de drainage », par exemple une plaine ou

une cuvette, ou bien s'éliminent naturellement parce qu'il y a des exutoires d'écoulement où s'éliminent mal et incomplètement. Dans le premier cas la nappe est profonde, les sels non salins : on dira que la zone a un « bon » drainage naturel. Dans le second cas, la fraction des apports qui s'infiltrer vers la nappe s'évacue mal parce que le bassin est endoréique ou parce qu'il y a un seuil rocheux ou parce que son exutoire freine l'écoulement (la mer par exemple) ou parce que son aquifère ne lui autorise que des vitesses de circulation dérisoires ou encore parce qu'une seconde nappe, plus profonde, en charge ou même artésienne, l'alimente par le bas. Ces causes diverses peuvent, malheureusement s'additionner. Quoi qu'il en soit, la nappe s'évacuant mal, remonte ; elle remonte à un niveau tel que l'évaporation constitue enfin le mode d'exhaure qui lui faisait défaut.

Ainsi, sur la quantité de sel arrivant dans le bassin, une partie en ressort par les eaux de surface, une autre s'infiltrer vers la nappe et, de ce fait augmente lentement d'année en année.

L'introduction de la culture irriguée bouleverse inévitablement les données du problème. Il arrive que cet événement se produise sur des terrains dont le drainage naturel paraissait « bon ». Et pourtant, en quelques années à peine, la nappe remonte jusqu'à la surface du sol qui se sale, les cultures souffrent et parfois périssent.

Citons le cas des Béni-Amir, dans le Tadla. Le Tadla est issu d'un vaste lac où se sont accumulés de grandes épaisseurs de dépôts marneux alternant avec des banes de calcaire lacustre, le tout ayant été recouvert de limons quaternaires de 2 à 10 mètres d'épaisseur. Avant la mise en irrigation, la nappe se situait entre 15 et 50 mètres de profondeur. Malgré la création de fossés, d'ailleurs insuffisants, elle gêne tellement la mise en valeur depuis 20 ans que sur les 51.000 ha du périmètre, 29.000 seulement sont équipés, dont 23.800 effectivement irrigués dans des conditions parfois peu satisfaisantes. La qualité médiocre de l'eau d'irrigation (catégorie C3, S3) accélère la salinisation des sols qu'aggrave encore le recyclage partiel des eaux de drainage recueillies par certains agriculteurs dans les fossés. Les difficultés rencontrées sont imputables :

1°) à des facteurs naturels « potentiels » prévisibles, à savoir les marnes du sous-sol qui gênent l'écoulement de la nappe vers l'oued Oum-er-Bia, exutoire naturel ;

2°) à des facteurs techniques, à savoir les pertes excessives sur le réseau d'irrigation non revêtu.

Le type de problème de drainage des Béni-Amir, que l'on peut donc caractériser par :

- sols suffisamment perméables,
- pertes considérables sur les parties non revêtues des réseaux d'irrigation,
- écoulement de la nappe perturbé par des obstacles géologiques.

Se retrouve fréquemment en d'autres régions du Maroc.

La nappe de la partie aval et la plaine des Triffa ou secteur de Madgah, en Basse-Moulouya, est bloquée par le massif des collines des Ouled-Mansour. Jusqu'à la mise à l'irrigation, en mai 1963, la remontée de la nappe due aux précipitations, disparaissait dans les trois mois suivant l'arrêt des pluies. Depuis cette date, la remontée de la nappe est continue et s'accompagne d'une augmentation de la concentration en sels. Sur les 16.400 hectares concernés, les zones de la nappe à résidu sec inférieur à 2 g/l représentaient 56,8 % de la superficie en 1956, 3 % en 1966, pendant que celles à résidu sec de plus de 4 g/l passaient de 0,5 % en avril 1963, à 25,5 % en mai 1964.

Des aménagements ont permis la résorption partielle des problèmes.

On pourrait citer la nappe du Garet, en Basse-Moulouya, dont l'écoulement aisé dans la plaine même est freiné par un seuil rocheux qui la sépare de la nappe du Bou-Areg, dans laquelle elle se décharge. On pourrait citer également la partie aval du cône d'épandage de l'oued Tessaout, dans la plaine du Haouz. La nappe, avant l'irrigation, était peu profonde (3 à 5 m.) en raison d'un seuil rocheux du socle primaire qui en limitait le débit vers le Nord. Les sols, très calcaires, fréquemment encroûtés étaient moyennement salés. L'extension de l'irrigation dans la région est limitée par des ressources en eau, rares ; aussi, pendant que les terres de l'amont font l'objet d'un équipement irrigué par les eaux régularisées grâce au barrage des Aït-Adel, les agriculteurs de l'aval, secteur Freïta, développent leurs irrigations par pompage dans la nappe. Le développement de l'irrigation a eu pour conséquence l'abaissement du niveau de la nappe ; mais une surabondance de ressources aurait eu comme corollaire l'aggravation d'une situation déjà favorable dans les conditions naturelles. Il s'agit donc là d'un problème potentiel.

Cas identique : celui de la nappe du secteur aval du N'Fis, dans la région de Marrakech (Zaouïa Sidi-Zouïne) est freinée dans sa partie aval que collecte l'oued Tensift et si sa modeste alimentation fait qu'il n'y a aucun problème actuel, il n'en fut pas de même dans le passé, comme nous l'avons dit plus haut.

Identique aussi le cas de la nappe de la basse vallée de l'oued Nekor dont l'écoulement vers la mer est gêné par l'étroitesse du goulet que perce

l'oued dans le cordon dunaire et dont la maîtrise demandera une coordination intelligente de l'utilisation de l'eau gravitaire régularisée, et de l'eau de pompage en vue des irrigations. Actuellement trop haute, elle devra être rabattue, préalablement, afin d'assurer le lessivage des sels de la partie aval du périmètre.

D'une certaine manière, le cas du Tafilalt s'apparente à celui des Béni-Amir, bien que les solutions de bonification ne soient, de toute évidence, pas les mêmes. En effet, dans les deux cas, l'eau d'irrigation est très chargée et l'exutoire de la nappe vers le Sud est bloqué en raison de la configuration géologique. Mais là s'arrête la similitude, l'exaspération des problèmes dans le Tafilalt étant sans commune mesure avec celle des Béni-Amir : salinité dramatique puisqu'elle peut aller jusqu'à interdire toute culture, évaporation fantastique, ressources en eau très rares, beaucoup d'éléments concourent à faire du Tafilalt une région où l'équilibre est essentiel, vital. La démesure des milieux subdésertiques se retrouve dans d'autres vallées présahariennes, à une échelle néanmoins plus limitée.

Autre sorte de démesure, le piège à nappe et à sel du Gharb combine, avec une sorte de bonheur, tous les facteurs négatifs dont on puisse rêver : sols lourds où la nappe circule à peine, nappe profonde en charge alimentant la nappe phréatique, cuvette quasiment fermée seulement drainée par un oued surélevé par rapport au niveau de la plaine, enfin terrain très plat favorisant la stagnation et l'infiltration des eaux de pluies et de crues. Il est donc admirable qu'aient pu subsister, dans ces conditions, les cultures arbustives du périmètre irrigué de Sidi-Slimane, situé il est vrai, sur les marges de la plaine à une altitude légèrement plus élevée. La plaine du Loukkos, au Nord du Gharb, dont elle ne constitue qu'un appendice de constitution parfaitement semblable qui n'en est séparé que par de basses collines, fait l'objet d'un projet de mise en valeur dont les précautions peuvent, à juste titre, se référer à celles qui ont été prises pour les nouveaux aménagements du Gharb.

Tout autre est le problème des basses plaines côtières dont la nappe se décharge dans la mer. Qu'il y ait intrusion significative de la nappe marine dans la nappe continentale ou que l'interface soit d'épaisseur très limitée, on constate, dans le Bou-Areg par exemple, que le niveau général de la nappe augmente et que la salure des sols et de la nappe progresse très rapidement, surtout depuis l'introduction de l'irrigation à l'amont des zones les plus menacées.

Ce rapide tour d'horizon nécessairement incomplet, nécessairement superficiel semble néanmoins suffire pour se rendre compte que les problèmes de drainage au Maroc, s'ils ne revêtent pas toujours l'acuité qu'on leur connaît en d'autres lieux, sont à peu près partout présents sous l'une ou l'autre des formes décrites. Quoi qu'il en soit, ils constituent toujours une contrainte négative pouvant aller jusqu'à empêcher le démarrage de toute mise en valeur agricole, au pire, et pouvant au mieux compromettre à terme la rentabilité et le succès de projets qui ont mobilisé des capitaux massifs.

En ce sens, le choix des trois sujets d'études proposés pour ce colloque apparaît tout à fait justifié. Les trois régions reçoivent ou ont reçu un réseau d'irrigation plus ou moins moderne. L'acuité des problèmes est vitale dans le Tafilalt, essentielle dans le Gharb et le Bou-Areg et leur résolution n'est, en aucun cas, évidente. Elle demande des études poussées, une stratégie d'équipement et de mise en valeur coordonnée et rationnelle, une méthodologie sûre et étayée. Enfin, sur le plan scientifique, nous pensons que leur étude présente un grand intérêt.

— Le Gharb, pour les caractéristiques particulières d'écoulement dans les sols lourds.

— Le Tafilalt, pour le difficile équilibre entre les plantes, le sol, l'eau et les hommes et l'adaptation à des méthodes modernes de gestion de l'eau.

— Le Bou-Areg, pour la particularité de sa configuration géomorphologique et la difficulté de mettre au point une solution adéquate.

## TROISIEME PARTIE

### LES METHODES D'ETUDE

Les études qui doivent aboutir à la résolution d'un problème de drainage ont pour but, dans une première phase, de recueillir les données de base habituelles. Une deuxième étape consiste ensuite à traiter ces données de base en vue d'établir des normes et une méthode de drainage adaptées au problème posé.

Les méthodes d'investigation employées au Maroc sont généralement très classiques. Le cas des études de salinité du sol est, à cet égard, significatif.

Les analyses de sols effectuées au cours des études pédologiques comportent, la plupart du temps l'inventaire de ce paramètre, réalisé, bien entendu, au moment de la prospection.

Les sels solubles sont ainsi analysés dans des extraits à saturation ou des extraits au 1/5<sup>e</sup> et, selon l'intensité de la salure décelée, elle figure à des niveaux divers de la classification des sols.

En matière d'interprétation et de classement l'application des normes américaines est la règle ; les recherches d'adaptation de ces normes au Maroc sont l'exception ce qui est certainement regrettable. On objectera avec raison qu'il est difficile de remettre ces normes en discussion sans étude fondamentale longue et coûteuse, mais on remarquera au passage que dans un domaine voisin, celui de la qualité des eaux pour l'irrigation, il est flagrant et reconnu que les normes de l'U.S.D.A. sont inadaptées à l'Afrique du Nord parce que trop sévères. De même, des recherches effectuées ces dernières années en Tunisie sur la tolérance aux sels des cultures ont abouti à des résultats heureusement moins draconiens que ceux antérieurement publiés par les chercheurs américains.

D'autre part, si l'on considère la salinité d'un sol comme le phare qui signale la présence du danger « drainage déficient », l'inventaire pur et simple n'est pas une fin en soi ; il est au contraire nécessaire de suivre l'évolution de cette salinité précédemment détectée et même, encore mieux, de prévoir son évolution plausible sous irrigation.

Or, les études d'évolution expérimentale de la salinité du sol sont très rares au Maroc : la plus complète est celle qui vous sera exposée et qui concerne des essais réalisés au Tafilalet, encore ont-ils été interrompus prématurément. Certes, la lourdeur des dispositifs expérimentaux, leur coût d'équipement et de fonctionnement aussi, sont décourageants. On peut désormais espérer, grâce aux méthodes de simulation, alléger les processus d'expérimentation et surtout, mieux utiliser les données

rassemblées en vue de leur interprétation. Pourtant, la mise au point de cet outil n'est pas une panacée et le recueil de données de base fiables est plus que jamais une nécessité dès lors qu'un périmètre d'irrigation existe.

Nous avons rappelé, tout à l'heure, que la salinité du sol s'accompagne habituellement de la présence d'une nappe phréatique elle-même salée.

Or, à l'exception des phénomènes marginaux, mais néanmoins primordiaux pour l'agriculture que représentent les nappes perchées, ce domaine est étudié par d'autres spécialistes, les hydrogéologues qui appartiennent à une structure administrative différente. On conçoit donc bien que l'appréhension correcte d'un problème de drainage nécessite la confrontation et, si possible, la symbiose, des idées de techniciens dont les préoccupations sont, par définition, différentes sinon divergentes.

Heureusement ce problème n'en a jamais été un au Maroc et l'on pourrait citer plus d'un cas où des hydrogéologues ont apporté au pédologue, à l'agronome la solution à un rabattement de nappe.

Les nappes perchées, qui viennent d'être citées, sont les parentes pauvres des recherches sur le drainage au Maroc. Facteur pourtant essentiel dans la détermination des rendements des cultures, les nappes perchées ne sont connues que des seuls pédologues et, bien sûr des agriculteurs qui sont contraints d'appliquer, lorsqu'il leur en vient l'idée, ce qui est rare, des solutions de fortune, quelquefois heureuses, toujours empiriques.

Un autre type d'investigations indispensables dans l'étude du drainage concerne les paramètres physiques du sol. Les études pédologiques se limitent habituellement à donner des informations sur l'humidité équivalente à la capacité de rétention mesurée par centrifugation. Eventuellement des mesures de l'humidité au point de flétrissement appréciée par la méthode hygrosopique et des mesures de limites Atterberg complètent les informations sur le sujet. La validité des méthodes employées est parfois sujette à caution : on peut, par exemple, formellement déconseiller les analyses d'humidité équivalente par centrifugation. Réalisées sur sols d'alluvions lourdes montmorillonitiques et sur firs. Les résultats obtenus ne correspondent en rien au comportement au champ en raison du gonflement des échantillons remaniés prélevés ainsi que l'ont montré des travaux pourtant connus.

Parmi les paramètres physiques étudiés figure désormais la conductivité hydraulique du sol ou perméabilité horizontale. Les prospections systématiques réalisées en ce domaine dans le Gharb il y a quelques années sont maintenant étendues à d'autres régions où des problèmes similaires se

présentent. Il convient, à ce propos, de formuler les recommandations suivantes qui nous paraissent justifiées dans les conditions du Maroc :

— Une prospection pour l'étude de la conductivité hydraulique des sols doit être systématique, tout au moins dans les alluvions où les critères de classification pédologiques ne recoupent que très imparfaitement les critères de classement pour la conductivité hydraulique. La notion de zone-test n'a donc qu'une signification réduite.

— Des essais par la méthode des piézomètres devraient être réalisés plus souvent, en particulier dans les sols lourds où les écoulements ne peuvent être correctement appréciés de manière ponctuelle.

— La méthode hollandaise du trou de tarière doit être préférée à la méthode Porchet car elle reproduit mieux les caractéristiques d'écoulement en milieu saturé, les corrélations entre les deux méthodes sont hasardeuses.

— La méthode des infiltromètres (méthode Müntz) est inadaptée à l'étude du drainage et doit être exclue car elle détermine, et encore avec des variabilités gênantes, une vitesse d'infiltration verticale et non une conductivité hydraulique. Cette méthode a eu la faveur des études pédologiques pendant de nombreuses années en dépit de son prix de revient élevé. A moins qu'il ne soit prouvé qu'elle serve dans l'élaboration des projets d'irrigation, nous pensons que son emploi devrait être strictement limité à des cas bien spécifiques.

— Les mesures de conductivité hydraulique en laboratoire sur échantillons même non remaniés sont à prescrire quel que soit le système de prélèvement.

Encore dans le domaine de la physique du sol, l'hydraulique du drainage des nappes n'est pas toujours bien précisée. Si les formules classiques s'appliquent sans aucun doute dans des aquifères homogènes et isotropes, il n'en va plus tout à fait de même dans certains des sols du Maroc.

Par exemple, il n'est pas évident, que la partie supérieure de la nappe du Bou-Areg, celle qui intéresse les terrains agricoles, présente les mêmes caractéristiques d'écoulement que celles mesurées par les hydrogéologues en profondeur.

D'un autre côté, le drainage par fossés, dans les Beni-Amir, devra tenir compte de la présence des couches épaisses de calcaires lacustres dans lesquels les écoulements diffèrent sensiblement de ceux déduits de la loi de Darcy.

Enfin, la formule de Hooghoudt utilisée dans les projets du Gharb est certes d'utilisation extrêmement fréquente car elle a été vérifiée en de nombreux pays et sous des conditions de sols dont

nous avons tout lieu de croire qu'elles sont similaires à celles du Gharb mais elle gagnera certainement à être affinée et comparée à d'autres méthodes d'approche dès que cela pourra se faire, par une expérimentation régulièrement suivie.

La définition de normes de drainage se heurte à un autre problème qui est celui de l'estimation du débit apporté à la nappe par l'irrigation. Les difficultés sont de deux ordres :

— Estimation de l'efficacité réelle de l'irrigation.

— Estimation des besoins en eau.

Ces derniers sont généralement calculés dans les projets à partir de l'E.T.P. de la méthode de Turc ou de Thornthwaite. Or ces formules bien que partiellement étayées par les expérimentations sur les besoins en eau des cultures menées sur plusieurs périmètres au Maroc, souffrent du défaut de n'utiliser qu'une très petite partie de la masse d'informations climatologiques existantes et encore sous forme de moyennes. Il serait intéressant d'orienter les recherches comme l'on fait en d'autres pays (U.S.A., Australie) pour la mise au point d'une méthode qui permette une analyse et une compréhension globale des phénomènes climatologiques. L'utilisation des puissants moyens d'exploitation de l'ordinateur permettrait également de définir les caractéristiques fréquentielles des pluies, si difficiles à apprécier correctement en milieu méditerranéen et cependant si utiles.

N.B. — La deuxième et la troisième parties qui, contrairement à la première, sont directement liées au thème du colloque n'ont pas été débattues, faute de temps.

Le Comité d'organisation s'excuse de cette regrettable défaillance dans le minutage du déroulement de la première séance du colloque.

## CONCLUSION

Le problème du drainage n'est évidemment pas pour nous une nouveauté ; nous en vivons, dans les périmètres d'irrigation, la réalité inquiétante. Mais ce n'est que petit à petit que se fait, par la pratique, par les échanges d'informations techniques, par les études, la prise de conscience que le drainage des terres agricoles est une nécessité, un préalable à l'irrigation.

La tenue de ce colloque revêt donc pour nous une importance considérable. Dans certains cas, comme dans le Gharb, des options de mise en valeur et d'équipement ont été prises, appuyées il est vrai sur des recommandations et études sérieuses. Il nous sera néanmoins précieux de recueillir l'avis des participants sur ce délicat problème du drainage

des nappes dans les sols lourds et sur les aspects de recherches expérimentales qu'il nécessite.

Dans le Bou-Areg, l'équipement pour l'irrigation est réalisé et une option drainage par un grand fossé intercepteur retenue. L'efficacité de ce fossé tant sur le niveau futur de la nappe que sur le lessivage des sels pourra être discutée.

Dans le Tafilalt enfin, le problème, peut-être le plus difficile de tous, est d'équilibrer le lessivage des sels en irrigant, sous ce climat très évaporant, avec une eau chargée alors que les ressources en

eau sont strictement limitées. Problème humain, certes, avant tout, mais il est souhaitable et certainement possible de proposer une gestion rationnelle des ressources et, peut-être, un programme d'expérimentation complémentaire.

Je terminerai cet exposé introductif au colloque en souhaitant que les discussions soient animées et que toutes les thèses, même inhabituelles soient débattues avec la plus grande franchise de la part de tous les spécialistes, ici présents, nationaux et étrangers.

## SOCIETE MAROC ETUDES

### INTERVENTIONS :

ETUDES PRELIMINAIRES — AVANT-PROJET — CONTROLE DES TRAVAUX

### DOMAINES :

S O M M E T  
2, rue Pégoud  
RABAT

IRRIGATION — REMEMBREMENT — PEDOLOGIE — AGRONOMIE

ROUTES — GENIE CIVIL — ASSAINISSEMENT — ADDUCTION D'EAU

TOPOGRAPHIE — ETUDES ECONOMIQUES

PLANIFICATION REGIONALE ET SECTORIELLE — ASSISTANCE TECHNIQUE

PALLIX G.

TABET A.

*Rapporteurs de la question n° 1*

Drainage d'une plaine basse  
côtière sur sols lourds  
" le Gharb "

## PREMIERE PARTIE : LE MILIEU NATUREL

- Chapitre I — **Géographie - Géologie - Hydrographie**
- Chapitre II — **Les sols**
1. Etudes réalisées.
  2. Principaux types de sols et leurs caractéristiques.
  3. Salinité des sols du Gharb.
  4. Conductivité hydraulique des sols du Gharb.
- Chapitre III — **L'eau**
1. Pluviométrie.
  2. E.T.P.
  3. Inondations.
  4. Eau d'irrigation.
- Chapitre IV — **Hydrogéologie**
1. La nappe phréatique.
  2. La nappe profonde.
  3. Le réseau d'observations.

DEUXIEME PARTIE : AMENAGEMENT HYDROAGRICOLE DU GHARB -  
SITUATION AGRICOLE ACTUELLE ET PROJETEE

Préambule

- Chapitre V — **L'équipement hydroagricole du Gharb**
1. Ensemble du Gharb.
  2. Premier ensemble irrigué.
  3. Rythme et programme d'équipement de la P.T.I.
  4. Les équipements ultérieurs.
- Chapitre VI — **Mise en valeur agricole**
- Chapitre VII — **Situation agricole actuelle**

### TROISIEME PARTIE : DEFINITION DES NORMES DE DRAINAGE

- Chapitre VIII — **Nature des problèmes de drainage**
- Chapitre IX — **Types de drainage choisis**
- Chapitre X — **Assainissement superficiel**
  - 1. Réseau d'assainissement.
  - 2. Aménagement interne des parcelles.
- Chapitre XI — **Le drainage souterrain**
  - 1. Profondeur moyenne des drains - Tranche de sol assainie.
  - 2. Ecartement entre files de drains.
  - 3. Processus expérimental.
  - 4. Conclusions.
- Chapitre XII — **L'expérimentation de drainage**
  - 1. Dispositif expérimental.
  - 2. L'équipement.
  - 3. Processus expérimental.
  - 4. Conclusions.

### QUATRIEME PARTIE : LES PROJETS DE DRAINAGE SOUTERRAIN

- Chapitre XIII — **Les avant-projets**
  - 1. Zones justifiables d'un drainage souterrain.
  - 2. Elaboration de la trame.
- Chapitre XIV — **Les projets d'exécution**
  - 1. Collecteurs.
  - 2. Drains aspirateurs.
  - 3. Ouvrages.

### CINQUIEME PARTIE : EXECUTION DES RESEAUX DE DRAINAGE SOUTERRAIN

- Chapitre XV — **La planification des travaux**
  - 1. Etablissement des plannings.
  - 2. Contrôle d'avancement des travaux.
- Chapitre XVI — **Caractéristiques des fournitures**
  - 1. Les matières premières.
  - 2. Les matériaux finis.
  - 3. Contrôles de qualité des fournitures.
- Chapitre XVII — **Opérations de pose**
  - 1. Chronologie des opérations.
  - 2. Détail des opérations.
- Chapitre XVIII — **Le problème du filtre**

### SIXIEME PARTIE : LE PERIMETRE IRRIGUE DE L'OUED BEHT (Sidi-Slimane)

- Chapitre XIX — **Généralités**
  - 1. Remembrement.
  - 2. Ouvrages.
  - 3. Consommation d'eau.
  - 4. Assainissement.
  - 5. Nivellement des sols.
- Chapitre XX — **Le problème de drainage**
  - 1. La nappe phréatique.
  - 2. Les sols.
  - 3. La mise en valeur.
  - 4. Les possibilités de drainage.

## PREMIERE PARTIE

### LE MILIEU NATUREL

#### Chapitre I

#### GEOGRAPHIE - GEOLOGIE - HYDROGRAPHIE

La plaine du Gharb, située dans la partie Nord-Ouest du Maroc, est une des rares basses plaines du Maroc Atlantique. D'une superficie globale de 3.000 km<sup>2</sup>, elle est parcourue par le cours inférieur de l'oued Sebou dont le bassin versant couvre environ 40.000 km<sup>2</sup>.

L'altitude du Gharb est comprise entre 4 et 25 m. La plaine, de forme trapézoïdale, est une cuvette basse dont une partie importante se situe au-dessous de la cote 10 m. Elle est bordée de hauteurs qui la privent de tout exutoire naturel :

— Au Sud le plateau de la Mamora dont le socle de marnes miocènes et pliocènes supporte une épaisse série plioquaternaire de grès, galets et sables continentaux dans lesquels circule une nappe importante. La Mamora est recouverte d'une forêt naturelle de chênes-liège, partiellement convertie en eucalyptus.

— A l'Ouest, la séparant de l'Atlantique, le Sahel, succession de dunes de calcaire gréseux et anciens cordons dunaires consolidés, parallèles au rivage, héritages de transgressions et régressions marines quaternaires. Ces dunes s'étendent sur une profondeur d'une vingtaine de kilomètres et constituent une région notable d'infiltration caractérisée par un microrelief particulier à bassins fermés dont l'un est occupé par le lac de Sidi Bou Rhaba près de Mehdia.

— Au Nord et à l'Ouest, les collines de marnes et flysch tertiaires du pré-Rif affectées par le soulèvement orogénique quaternaire du Rif et du pré-Rif.

La plaine proprement dite apparaît comme une cuvette subsidente dont le fond s'est affaissé pendant tout le quaternaire, en prolongement de la subsidence très intense du Miocène. Les sédiments continentaux, généralement très argileux, arrachés pendant les phases pluviales aux montagnes schistes du Rif et aux collines marneuses du pré-Rif ont comblé cette cuvette pendant tout le quaternaire sur une épaisseur considérable : en effet, au centre de la plaine, le toit des marnes miocènes se rencontre à plus de 2.000 m. Toutes les formations quaternaires descendent donc sous la plaine et seules les plus récentes affleurent : Soltanien en bordure sous forme de faciès limoneux rouges et jaunes avec niveaux de cailloutis à la base, Rharbien au centre caractérisé par des dépôts argileux (Rharbien ancien) et plus ou moins argilo-limoneux (Rharbien récent).

Les sondages ont permis d'observer, au-dessus du Miocène, de puissants niveaux à cailloutis du quaternaire ancien dans lesquels circule la nappe profonde, puis des dépôts argileux bruns du quaternaire moyen (Soltanien) dont la surface topographique ondulée correspond à une plaine bien drainée grâce à un océan à niveau eustatique profond puis des dépôts très argileux noirâtres ou quaternaire récent (Rharbien ancien) qui affleurent sur la plus grande partie du Gharb et correspondent à une forme deltaïque de plaine plate aux rivières divagantes. Les pentes, inclinées vers le centre de la plaine, sont inférieures à 1 ‰, quelquefois de l'ordre de 0,10 ‰. Quant aux dépôts alluvionnaires actuels ou subactuels du Gharbien récent, ils s'étalent tout le long des lits des oueds pour former un bourrelet alluvial. La cuvette du Gharb est donc compartimentée en plusieurs dépressions distinctes par les levées de berge entre lesquelles serpentent le Sebou, le Beht, le R'Dom et quelques autres oueds de moindre importance. Les levées de berge se raccordent insensiblement avec le centre de la plaine par des pentes douces, inférieures à 1 ‰.

Entre le confluent avec l'Ouerrha, à l'entrée de la plaine, et l'estuaire du Sebou, la distance à vol d'oiseau n'est que de 85 km. Mais la longueur développée du Sebou sur ce même parcours atteint 237 km. L'oued, dont la pente est extrêmement faible (0,005 ‰ en moyenne), coule lentement dans un lit exhaussé qui ne lui permet pas de jouer son rôle de collecteur général du bassin versant. Sur ce parcours en plaine, il ne reçoit que les apports du R'Dat, affluent mineur de rive droite alimenté par les collines marneuses de la région de Had Kourt et ceux de l'oued Beht (bassin versant 5.417 km<sup>2</sup>) actuellement régularisés par le barrage d'El-Kansera, édifié au début des années 30 pour l'irrigation du périmètre de Sidi-Slimane. Encore ce dernier affluent ne rejoint-il le Sebou que péniblement à Moghrane.

Tous les autres oueds qui devraient normalement atteindre le Sebou à l'aval de son confluent avec l'Ouerrha (et qui le rejoignaient sans doute à d'autres époques), sont privés d'exutoire naturel.

Il s'agit de :

— L'oued M'Da recueillant les eaux de la région d'Ouezzane.

— L'oued R'Dom dont le bassin versant de 1.760 km<sup>2</sup> comprend la partie occidentale du plateau de Fès-Meknès et les collines marneuses situées entre Meknès et Sidi-Kacem.

— Les oueds Hamma et Tibihi qui drainent, en principe, le périmètre de Sidi-Slimane.

— Tous les oueds de la Mamora.

Avant le creusement des canaux constituant le réseau d'assainissement du Gharb, les eaux pluviales, les eaux de ruissellement des collines périphériques et les apports de ces petits oueds se répandaient dans les dépressions du Gharb pour former des « merjas » quasi permanentes qui ne disparaissaient que par évaporation.

Le système de canaux, réalisés après la dernière guerre, permet de collecter une partie de ces apports et de les conduire soit vers l'Océan (canal du Nador, Merdja Zerga), soit vers l'oued Sebou (canaux du Roufeira, Beht-Sebou et Tiflet).

A ces apports s'ajoutent périodiquement les eaux de débordement du Sebou et de ses affluents aval.

## Chapitre II LES SOLS

### 1 - ETUDES REALISEES

Des études pédologiques partielles ont été menées après la guerre, essentiellement dans le périmètre irrigué de l'oued Beht (Sidi-Slimane), mais également dans la plupart des zones de merjas (merjas centrales, merjas côtières). Ces dernières visaient essentiellement à définir les modalités de mise en valeur en sec après assainissement.

A partir de 1963, le Projet Sebou effectue une étude de l'ensemble des sols de la plaine et de ses bordures immédiates à l'échelle du 1/100.000<sup>e</sup>, en vue de définir l'orientation agricole à long terme. Ces investigations s'accompagnent d'un inventaire hydraulique, agronomique, sociologique, économique complet qui doit déboucher sur un plan d'aménagement par la mise en valeur intégrale sous irrigation des 200.000 ha de la plaine dans un délai de 25 ans.

Puis une étude semi détaillée au 1/20.000<sup>e</sup> des levées alluviales du Sebou et du Beht et des zones de transition est menée sur quelque 100.000 ha.

Elle sera suivie, quelques années plus tard, à partir de 1969, d'études de tri des sols au 1/5.000<sup>e</sup> sur la PT1, Première Tranche d'Irrigation de 40.000 ha nets dont l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (O.R.M.V.A.G.) est chargé par le Gouvernement d'assurer l'équipement en vue de la mise en valeur sous irrigation.

a) Les sols des levées alluviales, situés de part et d'autre des oueds Sebou, Beht et Ouerrha sont assez bien drainés ou du moins assez facilement drainables à une mise en valeur intensive et couvrent environ 65.000 ha. Ils sont classés comme sols peu évolués d'apport alluvial (non vernaculaire «dess»).

b) Les sols d'origine alluviale à texture plus argileuse (dess lourds) posant des problèmes de

drainage et situés dans les zones de transition avec les sols de bas-fonds du centre de la plaine, couvrent environ 50.000 ha.

c) Les vertisols (« tirs ») à texture très argileuse, posant des problèmes de drainage et souvent de salure, répartis sur le reste de la plaine, couvrent environ 160.000 ha dont 37.000 spécialement adaptés à la riziculture.

Les caractéristiques essentielles des sols du Gharb, du point de vue mise en valeur, sont donc : la granulométrie des sédiments, la salinité, les possibilités de drainage, facteurs intervenant dans la diversité des aptitudes culturales des « dess » comme des « tirs ».

On n'envisagera pas, dans ce qui suit, les sols des bordures de la plaine (Mamora, Sahel...) leur équipement pour irrigation étant différé ou aléatoire.

### 2 - PRINCIPAUX TYPES DE SOLS ET LEURS CARACTERISTIQUES

A la suite des diverses études réalisées, on a adopté les dénominations granulométriques figurant dans le tableau 1 (les intervalles de variation retenus sont valables pour 95 % des mesures).

TABLEAU 1

Texture	Taux d'argile (%)	Taux de sable (%)
Moyenne à grossière	8 - 30	0 - 56
Moyenne .....	16 - 33	0 - 33
Fine .....	26 - 45	0 - 14
Très fine .....	42 - 66	0 - 8

#### 2.1. - Sols peu évolués d'apport alluvial :

« dess » (Entisol Udent. Orthic. Hapludent)

On peut distinguer trois types principaux qui représentent les tendances extrêmes les plus fréquentes.

2.1.1. - *Le dess léger* (texture moyenne) susceptible de variations granulométriques dans des niveaux (on ne peut parler d'horizons au sens pédogénétique normal) à texture plus légère (texture moyenne à grossière) ou sensiblement plus lourde (texture fine). Les caractéristiques de ce sol sont :

- Faible évolution, structure peu développée de type polyédrique, battance fréquente en surface, indice d'instabilité structurale très élevé (mesurée par la méthode de Henin).

■ Salure faible (< 2 mmhos) grâce à une nappe phréatique actuelle profonde et à un drainage naturel satisfaisant. Des variations de texture dans les sédiments créent des conditions locales d'hydromorphie (taches rouilles) peu graves. Cependant lorsque la nappe salée est à moins de deux mètres, les dess légers sont eux-même très salés.

■ Capacité d'échange inférieure à 20 meq/100 g; prédominance d'argiles du type illite ou chlorite.

■ Taux de calcaire total compris entre 15 et 25 %.

■ La porosité totale est moyenne (45 %) avec un écart-type élevé (10). Elle est déterminée par la formule :

$$P = 100 \frac{D_r - D_a}{D_r}$$

avec  $D_r$  densité réelle.

$D_a$  densité apparente.

■ La porosité grossière  $P_g$  ou macroporosité ou pourcentage de volume occupé par l'air lorsque le sol est à la capacité de rétention, est très variable, de l'ordre de 15 %.

■ L'humidité équivalente mesurée par centrifugation est liée au taux d'argile par la formule  $HE = 0.21 A + 22.36$ .

■ Le régime hydrique est mal connu et très variable du fait que l'extrême hétérogénéité de ces sols.

2.1.2. - *Le dess lourd* (texture fine à très fine) est caractérisé par :

■ Evolution plus marquée de la structure (polyédrique - prismatique) mais l'indice d'instabilité structurale reste élevé.

■ Salure variable selon la position topographique.

■ Capacité d'échange comprise entre 15 et 20 meq/100 g, localement 25. Le rapport Na/T atteignant quelquefois 15 % traduit une légère alcalisation en profondeur.

■ La porosité totale, d'environ 53 % avec un écart-type de 5 est assez semblable à celle des tirs.

■ A l'état humide, le rapport Pf/Pt est de l'ordre de 70 à 80 %. Le sol est compact; la porosité fine (c'est-à-dire la microporosité ou partie occupée par l'eau lorsque le sol est à la capacité de rétention) est caractérisée par une prédominance nette des pores capillaires sur les pores très fins. La porosité grossière représente alors 10 à 15 % du volume total du sol. A l'état sec Pf/Pt tombe à 50-60 %, le sol est peu compact. La porosité fine est caractérisée par une faible prédominance des

pores très fins sur les pores capillaires. La porosité grossière varie de 21 à 26 % du volume total du sol.

2.1.3. - *Le dess lourd* verticale (texture très fine) est susceptible de certaines variations granulométriques mais le taux d'argile ne s'abaisse pas néanmoins au-dessous de 35 %. Par de nombreux côtés, ces sols ont un comportement voisin de celui des tirs. Les autres caractéristiques sont :

■ Evolution de structure plus marquée avec tendance vers le faciès du vertisol dans le niveau hydromorphe (faces planes luisantes, structure prismatique moyenne et fissuration à l'état sec); indice d'instabilité structurale élevé.

■ Néoformation de montmorillonite.

■ Salinité relativement faible (< 4 mmhos) jusqu'à 60-80 cm., plus forte au delà mais ce paramètre est extrêmement variable. La salinité élevée est liée à la présence d'une nappe phréatique salée à moins de 2 mètres en hiver, indice d'un drainage naturel déficient. Il en résulte une mauvaise aération du sol et des conditions temporairement asphyxiantes.

■ Ces trois grandes catégories de dess s'associent très fréquemment entre elles pour former des profils complexes. C'est ainsi que les dess légers recouvriront des dess lourds ou des dess vertiques ou inversement, des dess lourds passeront en profondeur à des niveaux à texture plus légère. Dans les zones de transition avec le centre de la plaine, on note également des dess légers sur tirs, des dess lourds sur tirs, des dess lourds vertiques sur tirs, des dess lourds vertiques sur sols hydromorphes.

2.2. - **VERTISOLS** : « tirs » (Vertisol. Aquet.

Entic grumocquet)

Les principales caractéristiques des vertisols sont :

■ Texture argileuse (supérieure à 45 % d'argile, inférieure à 10 % de sables).

■ Structure bien développée, grossière, prismatique avec gauchissement des faces et formation de slickensides; fentes de retrait notables. La structure est foisonnante en raison de la présence d'argile gonflante du type montmorillonite dans le complexe. Mais le self mulehing de surface ne dépasse généralement pas 3 à 5 cm. d'épaisseur, encore est-il fréquemment réduit ou même inexistant dans les vertisols les plus jeunes.

■ La capacité d'échange est de l'ordre de 25 meq/100 g pour les vertisols jeunes (gris), 35 à 40 pour les vertisols anciens (noirs). Le rapport Na/T est fréquemment supérieur à 15 en profondeur.

■ L'indice d'instabilité structurale est élevé (log 10 IS = 1,6 en surface, 3 en profondeur).

■ L'hydromorphie et la salinité sont très variables.

■ La porosité totale est de l'ordre de 50-55 %, plus faible (45 %) dans les merjas, plus fort (58 %) dans les tirs noirs.

■ La compacité diminue lorsque le rapport de la porosité grossière  $P_g$  à la porosité fine  $P_f$  augmente. Cette compacité est variable selon l'état hydrique du sol. Dans les sols humides, elle est de l'ordre de 0,40 à 0,45 mais elle augmente en profondeur.

A l'humidité correspondant à l'humidité équivalente,  $P_f$  représente 60 à 70 % de  $P_t$ , la compacité est donc nettement élevée.

Dans les sols secs  $P_g/P_f$  est de l'ordre de 1. La compacité diminue du fait de la formation des fentes qui représentent la porosité grossière.

On remarque également qu'à l'état humide, la porosité fine est caractérisée par la prédominance des pores capillaires (vides à  $pF$  4,2) sur les pores très fins (remplis à  $pF$  4,2) : deux tiers de pores capillaires pour un tiers de pores très fins. Par contre, à l'état sec, les phénomènes de retrait se traduisent par une diminution du volume total des pores capillaires : 1/2 de pores capillaires pour 1/2 de pores très fins.

■ Le point de flétrissement permanent déterminé à  $pF$  4,2 par la méthode de la presse à membrane est de 20 à 25 % du poids de terre sèche. Calculé à partir du coefficient d'hygroscopicité maximum, le point de flétrissement n'est que de 17 %.

■ La capacité de rétention (humidité équivalente) varie de 30 à 40 %. Une corrélation significative lie l'humidité équivalente HE au taux d'argile A dans les formules

$$HE = 0,36 A + 15,18 \text{ (Projet Sebou)}$$

$$\text{ou } HE = 0,28 A + 18,9 \text{ (O.R.M.V.A.G.)}$$

En pratique, et pour des raisons de gonflement dues à la nature des argiles, il n'est pas possible

que le taux d'humidité au champ atteigne cette capacité de rétention théorique. Sous irrigation, l'humidité des tirs dépasse rarement 30 % pour tomber jusqu'à 20 % entre les irrigations. L'étude de profils hydriques ne permet d'ailleurs pas de noter le palier correspondant à l'humidité à la capacité de rétention. Dans les tirs à nappe peu profonde, le taux d'humidité constant plusieurs mois, assimilé à la capacité de saturation du sol ou, plus exactement, à la capacité maximum au champ, est d'environ 32 à 35 % sauf dans l'horizon de surface où il est évidemment plus élevé.

Ces anomalies dans le comportement hydrique des tirs s'expliquent par le fait que l'humidité maximum au champ ne remplit sans doute jamais tous les pores capillaires alors que la mesure en laboratoire exerçant des pressions artificielles, réalise cette condition. Ceci est confirmé par les observations de terrain : les tirs ne présentent que rarement des phénomènes de réduction dans la zone où la nappe n'est pas permanente et les profils humides montrent que l'eau circule sous forme de gouttes entre les agrégats alors que l'intérieur même des mottes n'est pas mouillé. Il y a donc occlusion d'air dans les micropores ce qui retarde et gêne la pénétration de l'eau. Mais une fois que l'eau a pénétré dans les pores très fins, les forces de capillarité la retiennent fortement ce qui explique les valeurs élevées de l'humidité au point de flétrissement. Les modifications saisonnières de l'état structural des tirs se traduisent d'ailleurs par des variations notables de la capacité au champ.

### 3 - SALINITE DES SOLS DU GHARB

Le Projet Sebou a établi sur les 90.000 ha d'une vaste zone représentative de l'ensemble du Gharb et où l'on rencontre aussi bien des dess que des tirs, une carte à l'échelle au 1/20.000<sup>e</sup> de la salinité des sols. Cette zone, entité administrative groupant trois communes rurales s'appelle la Première Zone de Développement (ZD 1, cf. carte).

Les résultats suivants ont été recensés (1) :

TABLEAU 2

Salinité : CE de l'extrait de pâte saturée en mmhos	% de la superficie étudiée	
	Horizon de surface (0-100 cm)	Horizon de profondeur (100-200 cm)
$S_0$ : 0-2 .....	88,6	39,1
$S_1$ : 2-4 .....	4,8	10,0
$S_2$ : 4-8 .....	5,2	28,5
$S_3$ : 8-16 .....	1,2	19,6
$S_4$ : > 16 .....	0,2	2,8

(1) En réalité, surtout dans les sols salins à très salins en profondeur, l'horizon de surface, lessivé par l'effet conjugué de la pluviométrie hivernale et des submersions dues aux inondations, ne dépasse guère 50 cm de profondeur. Plus bas, l'effet salinisant de la nappe est prépondérant.

Plus des 9/10<sup>e</sup> des sols étudiés ont un horizon de surface peu ou pas salin et la moitié ont un horizon de profondeur peu ou pas salin.

Si on envisage la répartition de la salinité suivant les relations entre salinité et surface et salinité de profondeur on obtient un autre type de tableau (tableau 3).

TABLEAU 3

Horizon 0-100 cm.

2	39,1	0	$\varepsilon$	0	0
4	9,8	0,1	0	$\varepsilon$	0
8	27,1	1,2	$\varepsilon$	$\varepsilon$	0
16	12,5	2,6	3,5	1	0
	0,1	6,0	1,6	0,1	0,2

Horizon 100-200 cm.

Les sols les plus représentés sont les sols non salins, puis les sols non salins en surface mais salins en profondeur puis les sols non salins en surface, très salins en profondeur.

La salinité des sols se manifeste donc surtout en profondeur en raison des déficiences de drainage naturel liées au mauvais écoulement de la nappe phréatique salée. C'est pourquoi, au niveau de la carte au 1/20.000<sup>e</sup>, il n'y a pas de corrélation entre la salinité *actuelle* d'un sol et sa perméabilité.

En ce qui concerne l'alcalinité des sols sur la même région, on constate que 95 % des sols sont peu ou pas alcalins dans l'horizon de surface, les 2/3 sont peu ou pas alcalins dans l'horizon de profondeur cependant qu'un tiers est alcalin ou très alcalin.

Au total dans la ZDI :

— 45 % des sols sont peu ou pas salins et peu ou pas alcalins.

— 21 % des sols sont salins ou très salins et peu ou pas alcalins.

— 4 % des sols sont peu ou pas salins et alcalins ou très alcalins.

— 30 % des sols sont salins ou très salins et alcalins ou très alcalins.

La question de l'évolution de la salinité sous irrigation sera par contre évoquée plus loin.

#### 4 - CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE DES SOLS DU GHARB (K exprimé en m/j)

C'est la grandeur que l'on désigne communément sous le nom de perméabilité horizontale. Sa

connaissance est absolument nécessaire à l'établissement des projets de drainage. Mais sa détermination, bien que relativement simple, a conduit à des synthèses délicates sur les grandes superficies étudiées dans le Gharb. On utilise essentiellement des techniques de mesure sur le terrain, les méthodes de laboratoire opérant sur des échantillons à structure non perturbée ne fournissent en général qu'un ordre de grandeur du paramètre et les résultats obtenus sont difficiles à interpréter dans les sols lourds du Gharb.

Selon que l'on dispose d'une nappe phréatique ou non, on emploie la méthode hollandaise dite « du trou de tarière » (auger hole method) ou la méthode Porchet. Dans le premier cas l'opérateur extrait du sondage une certaine hauteur d'eau, une fois la nappe stabilisée, et mesure la vitesse de remontée. Dans le second cas, l'opérateur remplit partiellement d'eau le sondage et mesure la vitesse d'infiltration jusqu'à ce qu'elle soit uniforme. Des abaques différents permettent de traduire ces données brutes en conductivité hydraulique.

Les corrélations entre le coefficient K obtenu par la méthode Porchet et la méthode du trou de tarière sont difficiles à établir. Il semble que la méthode Porchet donne des valeurs plus fortes mais de toutes manières du même ordre de grandeur que la méthode du trou de tarière dans les sols légers, ou présentant un horizon léger, alors que dans les sols lourds, la méthode du trou de tarière fournit des résultats de K beaucoup plus élevés que ceux obtenus par la méthode Porchet. Dans ce dernier cas, il n'y a aucune corrélation.

Néanmoins des précautions sont prises pour que les résultats fournis par la méthode Porchet soient le plus possible représentatifs d'un écoulement en milieu saturé. L'uniformité de l'écoulement, indice qui permet à l'opérateur d'effectuer ses mesures intervient après un laps de temps assez court d'environ 5 à 40 minutes mais après mise en saturation préalable. On a calculé que la quantité d'eau apportée était suffisante pour amener à saturation un manchon de sol de 30 cm. autour du sondage.

La dispersion expérimentale n'a été mesurée pour la méthode Porchet. Dans la méthode du trou de tarière elle est de l'ordre de 10 à 20 %.

Dans les études les plus récentes, le processus suivant a été retenu :

Les mesures sont faites en triple, c'est-à-dire dans une série de trois sondages d'une même profondeur (= série de sondages).

Lorsque la nappe est à moins de 170 cm. de profondeur, on utilise la méthode du trou de tarière exclusivement. Chaque station de mesure est constituée de une ou deux séries de sondages distants

de un mètre les uns des autres et de profondeur par série fixée d'après la succession des couches des diverses textures ou structures rencontrées dans le profil. La série de sondages la plus profonde sera, dans tous les cas, creusée à 330 cm. et la description du profil dans un de ces sondages servira de guide dans le choix de la profondeur des autres séries de sondage de la même station.

Si la nappe phréatique est comprise entre 170 et 250 cm. de profondeur, on utilise la méthode Porchet sur une ou deux séries de sondages de moins de deux mètres associée à la méthode du trou de tarière sur une série de sondages creusés à 330 cm.

Si la nappe phréatique est à plus de 250 cm. de profondeur on utilisera la méthode Porchet seule sur une ou deux séries de sondages de profondeur supérieure à 120 cm. La série de sondages le plus profond sera creusée à 220 cm.

Il y a toutefois pas intérêt en général à multiplier les sondages de profondeurs différentes : l'interprétation est malaisée, et souvent sans conséquences pratiques.

Une mesure de perméabilité représente à peu près la perméabilité moyenne des couches du sol comprises entre le niveau de l'eau et le fond du

trou. Pour la réalisation du drainage, il importe de connaître les variations verticales de perméabilité : couche perméable sur couche imperméable ou inversement. On découpe donc artificiellement le sol en trois « tranches » fictives de un mètre d'épaisseur (deux seulement pour la méthode Porchet) : 0-100, 100-200, 200-300, et on indique pour chaque station, la catégorie de perméabilité à laquelle se rattache chaque tranche. Cette découpe du sol en trois tranches de 1 m. sert uniquement d'artifice pour la présentation d'une légende cartographique simple. Il est bien évident que, lors des mesures, il est tenu le plus grand compte du profil de sol rencontré et de la texture des horizons pour la détermination de la profondeur des sondages de mesures. Mais il serait impossible de faire une synthèse sans simplifier les résultats ponctuels. L'extrême hétérogénéité des sols d'alluvions, perceptible aussi bien verticalement (hétérogénéité entre couches) qu'horizontalement (hétérogénéité d'un endroit à un autre) rend illusoire l'identification d'un horizon spécifique perméable ou imperméable. Il n'est possible de raisonner qu'en termes d'ensembles de résultats.

Les classes de perméabilité, correspondant aux besoins des avant-projets, figurent dans le tableau 4.

TABLEAU 4

P <sub>1</sub> .....	Inférieure à 0.10 m/j	Drainage difficile
P <sub>2</sub> .....	Comprise entre 0.10 et 0.2 m/j	Drainage moyennement difficile
P <sub>3</sub> .....	Comprise entre 0.2 et 0.5 m/j	
P <sub>4</sub> .....	Comprise entre 0.5 et 1.0 m/j	
P <sub>5</sub> .....	Comprise entre 1.0 et 2.0 m/j	Drainage facile
P <sub>6</sub> .....	Supérieure à 2 m/j	

On trace ainsi une carte intermédiaire dite carte de synthèse par points. Puis on trace une carte dite de synthèse par zones à l'échelle du 1/20.000<sup>e</sup>, limitant les zones équiperméables. Chaque zone est définie par la classe de perméabilité de chacune des trois « tranches » de sol.

De l'étude de ces cartes plusieurs idées se dégagent :

— Les sols alluviaux légers ou « dess » sont généralement faciles à drainer. Les hétérogénéités dans le détail infèrent des difficultés locales de drainage faciles à résoudre.

— Les sols alluviaux lourds, hydromorphes (« ferchef ») dont le taux d'argile est supérieur

à 50 % sont généralement très peu perméables et très difficiles à drainer.

— La relation de causalité entre la perméabilité d'un sol et sa texture implique que la plupart des terrains à texture lourde sont peu perméables. Mais dès qu'une (ou plusieurs) couche plus légère apparaît dans le profil, l'ensemble se comporte comme un sol relativement perméable.

— Les vertisols ou « tirs » et les sols de bas-fonds (« merjas ») dont le taux d'argile dépasse fréquemment 60 % ne sont jamais faciles à drainer, quelquefois très difficiles mais souvent « possibles » moyennant une technique soigneusement élaborée et un contrôle permanent du bilan de l'eau.

Leur drainage est hétérogène et complexe car :

— A proximité d'une zone perméable, les sols argileux sont souvent eux-mêmes perméables.

— En certains points, l'argile rouge soltanienne apparaît sous l'argile grise gharbienne. Cette argile rouge est assez perméable ( $P_4$ ). En d'autres endroits, l'argile sous-jacente, jaune et graveleuse constitue fréquemment un niveau drainant.

— Les discontinuités de texture ne sont pas rares dans les sols argileux, même si aucune couche vraiment légère n'existe, ces discontinuités se manifestent constamment par une perméabilité plus forte.

— Les sols argileux à montmorillonite sont caractérisés par des fissures, conséquences des phénomènes de gonflement-retrait qui se maintiennent parfois sous le niveau de la nappe phréatique. Cette particularité confère aux « tirs » une perméabilité « en grand » non négligeable.

Bien que la plupart des cartes établies l'aient été à l'échelle de 1/20.000<sup>e</sup>, on peut, à la lumière des prospections effectuées dans le Gharb, distinguer trois niveaux d'études pour lesquelles les normes suivantes sont proposées :

— Les études de reconnaissances : qui se contentent d'environ une station par 50 ha. Elles apparaissent surtout valables dans les sols lourds et homogènes.

— Les études semi-détaillées : présentent une densité optimale d'une station pour 20 ha (locale-

ment 10 ha) et permettent l'élaboration d'avant-projets de drainage.

— Les études détaillées : sont rarement entreprises en raison des délais et des moyens qu'elles exigent. L'optimum semble osciller autour d'une station pour 5-10 ha.

Les études réalisées dans le Gharb, essentiellement au niveau du semi-détail, n'ont pas montré de corrélations aisées entre cartes de perméabilité et cartes des sols.

La raison primordiale en est que la perméabilité d'un sol ne dépend pas uniquement de sa texture. Les études de corrélation K-texture entreprises par divers auteurs n'ont jamais fourni que des résultats approchés : encore s'agissait-il, dans la plupart des cas, de sols très sableux. Dans les sols du Gharb, où le pourcentage d'argile est de moyennement fort à fort, la perméabilité est fonction de nombreux paramètres, non indépendants entre eux, tels que texture, structure, matière organique, densité racinaire, type d'argile. Il est donc vain de vouloir corréler de manière simple la perméabilité à la texture d'autant que l'anisotropie du sol accentue les imperfections des résultats.

On note enfin que la perméabilité d'un sol n'est pas une donnée statique, immuable. Un sol efficacement drainé, voit sa structure donc sa perméabilité, se modifier en quelques années.

Sur les 51.600 ha étudiés par la méthode du tron de tarière dans la ZDI, la répartition des catégories de perméabilité selon la profondeur, exprimée en % de la superficie totale, est la suivante (tableau 5).

TABLEAU 5

Classe de perméabilité	Répartition des sols en % de la superficie étudiée		
	De 0 à 100 cm de profondeur (A)	De 100 à 200 cm de profondeur (B)	De 200 à 300 cm de profondeur (C)
P <sub>1</sub> .....	28.8	28.5	32.9
P <sub>2</sub> .....	6.2	7.1	6.3
P <sub>3</sub> .....	21.9	21.7	18.8
P <sub>4</sub> .....	10.9	10.2	10.4
P <sub>5</sub> .....	21.9	21.2	17.6
P <sub>6</sub> .....	10.3	12.3	14.0

Pour une estimation globale des problèmes, on peut estimer, en première approximation, que sur les secteurs auxquels se rapporte le tableau ci-dessus, la mesure de la perméabilité sur la tranche B ou sur la tranche C est indifférente : l'utilisation de la tranche B seule est suffisante au niveau général.

Ce tableau serait pessimiste si on voulait l'appliquer à l'ensemble de la ZDI (90.000 ha). En s'aidant des cartes pédologiques et des mesures par d'autres méthodes, on y obtient la répartition suivante entre sols faciles et difficiles à drainer :

45 % faciles.

31 % moyennement difficiles.

24 % difficiles.

En extrapolant à l'ensemble du Gharb hydrauliquement dominable, au moyen des secteurs étudiés hors ZD1 (26.000 ha) et des cartes pédologiques, on peut estimer que :

33 % de la superficie ne pose pas ou peu de problèmes de drainage.

24 % pose un problème plus ou moins difficile.

43 % pose un problème difficile.

### Chapitre III

## L'EAU

### 1 - PLUVIOMETRIE

Le Gharb est la plus arrosée et la plus tempérée des grandes plaines du Maroc occidental. Le climat actuel est un climat méditerranéen dont l'irrégularité

interannuelle est modérée par l'influence océanique. La pluviométrie annuelle de 600 mm. dans la zone côtière (Kénitra) descend à 470 mm. à Sidi-Kacem. Ces précipitations tombent pour 30 % entre mi-octobre et mi-avril, sur en moyenne 70 j., surtout en novembre-décembre.

Janvier constitue en général une période de moindre pluviosité du fait d'un déplacement vers l'Est de l'anticyclone atlantique qui protège alors le Maroc entre le courant polaire. Les écarts inter-annuels sont considérables et varient, pour Kénitra, de 330 à 880 mm. Les études antérieures du Projet Sebou, conformes aux opinions admises parmi les climatologues, ont montré que la succession des années sèches et humides obéit aux règles du hasard.

L'intensité-durée des pluies est également très variable. Voici dans le tableau 6 pour la station de Rabat-Salé, la plus proche et la plus semblable qui soit équipée d'un pluviographe, et sur la période 1954-1967, les relevés des plus fortes précipitations :

TABLEAU 6

13 et 14-12-1957 .....	85,7 mm en 26 heures 17 minutes, soit 3,25 mm/b
8-4-1959 .....	150,5 mm en 9 heures 20 minutes, soit 16 mm/h
5 au 8-11-1962 .....	133,8 mm en 32 heures 51 minutes, soit 4,05 mm/h
4 au 8-1-1963 .....	99,3 mm en 60 heures 08 minutes, soit 1,65 mm/h
1 et 2-12-1963 .....	50,1 mm en 15 heures 49 minutes, soit 3,16 mm/h
20 et 21-12-1962 .....	50,5 mm en 16 heures 05 minutes, soit 3,14 mm/h

Par ailleurs on note que sur une période théorique de dix ans, les précipitations dépasseront cinq fois 17,4 mm/h, dix fois 14,6 mm/h et vingt fois 12,2 mm/h, la précipitation médiane étant de 4,5 mm/h.

Les indices d'Emberger placent l'Est du Gharb dans l'étage pluviothermique semi-aride, mais la majorité de la plaine dans le subhumide à hiver tempéré.

### 2 - E.T.P.

L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) calculée par la formule de Turc atteint 1.280 mm/an pour les stations de Souk-el-Arba-du-Gharb et Sidi-Slimane, 1.270 pour Kénitra.

Par ailleurs on définit le déficit hydrique du sol  $DH = ET - P$ . Par l'analyse statistique des données climatiques sur une longue période, on établit les valeurs de DH mois par mois en considérant que :

■  $ET = ETP$ .

■ La tranche de sol intéressée à un mètre d'épaisseur.

■ La réserve en eau facilement utilisable (RFU) du sol est de 50 m.

La moyenne des déficits hydriques sur 30 ans fournit une estimation correcte du besoin en eau BE à apporter à la plante pour combler le déficit hydrique. Les différentes données sont synthétisées dans le tableau 7.

Le DH annuel est de 846 mm à Souk-el-Arba, 851 à Kénitra, 900 à Sidi-Slimane.

— De novembre à février, la pluie compense l'évaporation et laisse apparaître un fort excédent qui doit s'évacuer par drainage naturel ou artificiel.

— De mai à septembre, le déficit hydrique est important (85 % du total), relativement stable d'une année à l'autre.

— En mars-avril et en octobre, la pluie ne compense qu'une partie de l'évapotranspiration et

d'une année à l'autre, la variabilité du déficit hydrique, liée au régime des pluies, est très importante.

### 3 - INONDATIONS

Le Gharb est le déversoir d'un bassin hydrographique qui fait partie de trois grandes unités morphologiques du Maroc : le Rif le Moyen-Atlas, la Meseta. La situation septentrionale de ce réseau et l'ampleur du volume montagneux qui l'encadre font que la pluviosité y atteint des valeurs très fortes pour le Maroc (maximum supérieur à 2.000 mm). Le lit du Bas-Sebou est incapable d'évacuer les volumes d'eaux écoulés qui dépassent 5 milliards de m<sup>3</sup> par an et même 10 milliards en année très humide.

Le régime de l'ensemble des rivières est de type pluvial. L'influence nivale, réduite, se traduit néanmoins par une certaine récession des débits au cœur de l'hiver et en conséquence, une augmentation des maxima de printemps. Sauf cas exceptionnel, c'est l'Ouerrha qui est la cause des inondations dans la plaine.

La capacité de transport de l'oued Sebou en aval de confluent Sebou-Ouerrha est inférieure à 2.000 m<sup>3</sup>/s. En rive droite le débordement principal a lieu immédiatement en amont de Ksiri. La superficie inondée peut atteindre 50.000 ha.

En rive gauche, par des chenaux perpendiculaires à l'oued l'eau converge vers les merjas centrales ; l'inondation peut affecter 100.000 ha.

Le réseau d'assainissement, construit entre 1946 et 1960, bien que prévu pour l'évacuation des excès d'eau de pluie ou des crues d'oueds secondaires, s'est révélé être un auxiliaire précieux pendant les inondations en accélérant la vidange du Gharb.

Mais il est bien entendu insuffisant pour assurer l'assainissement des terres saturées d'eau pendant de longs mois en hiver.

Les inondations sont en général fréquentes (63, 70 et 71) et provoquent des dégâts énormes dans les cultures et parfois assez conséquents pour les aménagements réalisés, (emportement des berges dépôts parfois atteignant quelques dizaines de cm, comblement des canaux d'assainissement...). Enfin le régime du Sebou provoque des effondrements de berges, des attaques lentes mais continues et des ensablancements de ces mêmes berges compliquant, ainsi, le choix des sites des stations de pompage.

### 4 - EAU D'IRRIGATION

L'intensification de la mise en valeur agricole passe par l'irrigation.

Les besoins en eau des cultures sont déterminés comme suit :

— L'ETP a été calculée mois par mois en mm selon la formule de Turc bien adaptée aux conditions climatiques du Maroc.

— L'évapotranspiration réduite (ETR) est définie par rapport à ETP pour les principales cultures par voie expérimentale et par le biais de formules

— Le besoin en eau d'irrigation des principales cultures est calculé d'après l'équation du bilan d'eau :

$$BEI = ETR - P \Delta (RFU)$$

— Ces besoins mensuels moyens (calculés d'après une séquence de données climatiques sur 30 ans) sont des volumes nets, effectivement consommés. En tête de parcelle, les besoins doivent prendre en compte les pertes par infiltration ou ruissellement. Ces besoins sont ensuite intégrés dans le cadre des assolements préconisés pour définir les besoins par assolement.

La qualité des eaux a été étudiée sur le Sebou et la plupart de ses affluents.

— Les CE rentrent en général dans la classe C3 (750-2.500 micromhos/cm) de l'USDA (risque de salinisation élevé).

— Les SAR sont inférieurs à 4 qui est la limite supérieure de la classe S1 des alcalinités (risque d'absorption du sodium faible). Cependant le Lébène et l'Ouerrha passent en classe 2 quelques mois par an.

— Le « résiduel CO<sub>2</sub> Na<sub>2</sub> » est nul.

— Le chlore entre dans les classes 2 (2-4 meq/l) et 3 (4 à 8 meq/l) de l'USDA et pose donc un problème.

— Le bore est nul ou négligeable.

Le barrage actuellement en cours de finition sur l'Inaouène (Idriss 1<sup>er</sup>) qui doit, dans un premier temps, irriguer la PTI contiendra, dans sa retenue, des eaux dont la qualité moyenne, calculée, aura pour caractéristiques :

CE moyenne = 1.1 mmhos/cm.

CE extrêmes = 0.9 et 1.6 avec 75 % des valeurs entre 1.0 et 1.3.

SAR (sodium absorption Ratio) moyen = 2.5 avec des valeurs extrêmes mensuelles atteignant 4.

A l'issue de l'aménagement hydraulique projeté pour l'an 2000 (barrage de M'jara sur l'Ouerrha) les eaux servant à l'irrigation dans la plaine du Gharb auront comme caractéristiques moyennes :

CE = 1.0 mmhos/cm.

SAR = 2.2.

Cl = 6 meq/l.

Avec des écarts saisonniers et interannuels plus atténués encore que dans l'approche précédente. Ces estimations reposent naturellement sur l'hypothèse de la stabilité de la « production » de sel par le bassin, stabilité qui demande que les phénomènes d'érosion dans le Rif et le pré-Rif ne s'accélérent pas.

Done, en résumé, les eaux d'irrigation dans la plaine demandent à ce que soit assuré le lessivage des sels de manière à ce que la salinité des sols soit maintenue à un niveau compatible avec les spéculations agricoles prévues. Ce problème sera examiné plus loin.

#### Chapitre IV HYDROGEOLOGIE

Dans la plaine du Gharb, on rencontre deux nappes aquifères. La nappe phréatique très proche du sol qui se sale par évaporation et une nappe profonde située en général au-delà de 100 m de profondeur.

##### 1 - LA NAPPE PHREATIQUE

Est une nappe libre dont le mur, attribuable aux argiles soltaniennes ou gharbiennes semble osciller entre 8 et 15 m. de profondeur. Cette nappe coule vers le centre de la plaine avec des pentes très faibles de l'ordre de  $3 \text{ à } 6,5 \times 10^{-3}$  à la côte + 20 et inférieures à  $3,10^{-4}$  au centre de la plaine; les courbes piézométriques montrent une importante saignée par l'oued Sebou du fait de la charge existante. L'oued draine un débit moyen de 256 l/s, ce qui est faible à l'échelle du Gharb.

Cette nappe est peu profonde : pour 75 % de la superficie de la plaine, elle ne s'abaisse pas à moins de trois mètres de profondeur. Mais les fluctuations saisonnières sont considérables, souvent de 1 à 2 mètres.

La nappe est alimentée :

— par drainance (remontée de la nappe profonde),

— par infiltration des eaux de pluie et d'irrigation.

Dans la plupart des zones le second facteur représente 90 à 95 % des apports à la nappe. L'exutoire principal est sans aucun doute l'évaporation ; les eaux, de type chloruré sodique, ont des teneurs en sel qui dépassent souvent largement 10 g/l. La nappe ne circule que très peu, les transmissivités étant faibles, et les échanges se produisent sur place, selon les saisons.

##### 2 - LA NAPPE PROFONDE

Au-dessous, un ou plusieurs niveaux perméables constituant la nappe profonde (sables, grès, conglomérats) sont alimentés par des infiltrations de bordure (Mamora 1.200 l/s, oueds à l'entrée de la plaine 635 l/s, dunes de l'Ouest 635 l/s. Le substratum de cette nappe est constitué par le toit de l'épaisse série des marnes bleues du Miocène. Des études géophysiques ont permis d'établir une carte au 1/200.000<sup>e</sup> de ce substratum. Au total cette nappe profonde reçoit de 2,5 à 3 m<sup>3</sup>/s pour une superficie de 3.500 km<sup>2</sup> et une épaisseur de 50 à 150 mètres ; sa salinité est généralement inférieure à 1,5 g/l. Cette nappe est mise en charge par les niveaux argileux du quaternaire (soltanien) qui la surmontent, son exploitation est assurée par des forages de 100 à 300 mètres de profondeur.

La drainance de cette nappe vers la nappe phréatique constitue l'exutoire principal de la nappe profonde, en dehors de la décharge en mer Nord-Ouest de la Mamora.

Cette drainance est d'intensité variable selon les niveaux piézométriques et ce phénomène intéresse essentiellement la moitié de la zone en charge, soit 1.830 km<sup>2</sup>.

La perméabilité des couches argileuses traversées est estimée au moyen du déséquilibre du bilan à  $2,6 \times 10^{-8}$  m/s. Le débit diffusé peut donc être calculé (tableau 8) en émettant l'hypothèse que l'épaisseur moyenne des niveaux argileux traversés est de 50 m.

TABLEAU 8

Différence de niveau en mètres entre les deux nappes (charge) comprise entre	Superficie (en km <sup>2</sup> )	DEBIT DIFFUSE		
		Global en l/s	Mm <sup>3</sup>	mm/j
0 et 1 .....	820	215	6.8	0.02
1 et 2 .....	480	375	11.8	0.07
2 et 3 .....	270	350	11.0	0.10
3 et 4 .....	170	310	9.8	0.16
4 et 5 .....	60	140	4.4	0.20
Plus de 5 .....	30	95	3.0	0.27
		1.485	46.8	

Le bilan s'établit comme suit dans le tableau 9 :  
**BASSIN HYDROGEOLOGIQUE**  
**GHARB - MAMORA**

(tableau 9)

Différence de niveau en mètres entre les deux nappes (charge) comprise entre	Superficie en km <sup>2</sup>	DEBIT DIFFUSE		
		Global en l/s.	Mm <sup>3</sup>	mm./j.
0 et 1 .....	820	215	6,8	0,02
1 et 2 .....	480	375	11,8	0,07
2 et 3 .....	270	350	11,0	0,10
3 et 4 .....	170	310	9,8	0,16
4 et 5 .....	60	140	4,4	0,20
Plus de 5 .....	30	95	3,0	0,27
		1.485	46,8	

La différence, soit 45 Mm<sup>3</sup> environ, remonte vers la nappe phréatique par drainance.

### 3 - LE RESEAU D'OBSERVATIONS

Un réseau permanent pour l'étude du comportement des aquifères, piézométries et salinité, a été progressivement mis en place, depuis une quarantaine d'années pour les plus anciens ouvrages, sur les 3.500 km<sup>2</sup> de la plaine.

Ce réseau parfois hétérogène quant à la densité des piézomètres ou puits témoins et à la fréquence des mesures, est peu à peu complété de façon systématique.

#### 3.1. - La nappe profonde

Cette nappe est contrôlée par 80 piézomètres. Le niveau de l'eau est ascendant dans les forages et est situé généralement à moins de 5 mètres sous la surface du sol. Des zones d'artésianisme ont été mis en évidence avec de faible pression au sol (moins de 0,3 kg/cm<sup>2</sup>). La fluctuation interannuelle n'excède pas un à deux mètres. Les fluctuations annuelles sont variables mais généralement 0,4 et 1 m.

Ce réseau a été mis peu à peu en place depuis 1955 le plus souvent en rapport avec des travaux de recherche pour des tiers, ce qui explique l'allure discontinue de l'implantation des ouvrages.

Le coût élevé des forages dans la nappe profonde retarde la mise en place d'un réseau régulier et optimisé.

#### 3.2. - La nappe phréatique de la Première Tranche Irriguée (PTI)

Pour suivre l'évolution de la nappe phréatique dans la partie Est de la Première Tranche Irriguée de 40.000 ha en cours d'aménagement, un réseau de 30 piézomètres de contrôle a été réalisé en 1972.

Ces ouvrages ont une profondeur totale de 11 à 16 mètres et le niveau piézométrique est actuellement avant mise en eau de 1,90 à 9,25 mètres sous le sol. La conductivité électrique mesurée à 25° C est comprise entre 2,6 et 22 millimhos, mais dans 26 ouvrages sur 30 la valeur de la CE est supérieure à 6 millimhos.

Ces piézomètres sont contrôlés mensuellement. Ce réseau va être étendu à la partie Ouest de

la PTI où une vingtaine de forages doivent être réalisés prochainement.

Les piézomètres ont été exécutés de manière à permettre l'installation de sondes à lecture directe ou de sonde enregistrant le minimum et le maximum du niveau de la nappe entre les relevés.

Les ouvrages ont été implantés dans la mesure

du possible en tenant compte de la facilité des accès = route ou piste carrossable et de façon à réaliser des profils régulièrement espacés (de 3 à 4 km) et perpendiculaires aux courbes de niveaux de la nappe. Il est prévu à l'avenir de faire un modèle mathématique de simulation des nappes du Gharb.

## DEUXIEME PARTIE

### AMENAGEMENT HYDROAGRICOLE DU GHARB SITUATION AGRICOLE ACTUELLE ET PROJETEE

#### PREAMBULE

L'effort considérable entrepris par le gouvernement du Maroc pour accroître et intensifier la production agricole du pays doit porter la superficie irriguée nette des grands secteurs hydrauliques de 200.000 ha en 1971 à 700.000 ha environ en l'an 2000. De ce total, le Gharb représentera 250.000 ha (inclus le périmètre du Beht de 30.000 ha, qui existe depuis une trentaine d'années), soit près de 36 %. Depuis longtemps considéré comme le « grenier » du Maroc puisqu'il participait déjà pour une large part à la production agricole du pays en raison de ses caractéristiques de plaine atlantique, le Gharb bénéficie actuellement d'une concentration de moyens considérables.

L'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (O.R.M.V.A.G.) est l'un des sept Offices créés en novembre 1966 (deux autres ont été créés depuis) pour réaliser les programmes d'équipement hydroagricoles et de mise en valeur sur la zone d'action limitée qui lui est dévolue et selon des cadences prévues à l'avance.

Doté de l'autonomie financière et pourvu de structures semi-étatiques, l'O.R.M.V.A.G. est sous la tutelle technique de la Direction de Mise en Valeur du Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire. Il comporte :

— Le Service de l'Équipement lui-même divisés en Départements Etudes, Département Travaux et Département Exploitation-Maintenance des réseaux.

— Le Service Agricole partagé en plusieurs Bureaux spécialisés par cultures.

— Les Services Administratifs et du Matériel.

L'O.R.M.V.A.G. est chargé de réaliser l'équipement et la mise en valeur de la région, avec pour but, à moyen terme, l'aménagement d'un périmètre (appelé Première Tranche d'Irrigation ou PTI) de 40.000 ha nets.

#### Chapitre V

### L'EQUIPEMENT HYDROAGRICOLE DU GHARB

L'équipement hydro-agricole du Gharb se fait selon le schéma de développement dressé par le Projet Sebou, Projet du Fonds Spécial des Nations Unies étudié conjointement par la F.A.O. et le Maroc de 1963 à 1969.

#### 1 - ENSEMBLE DU GHARB

Le Gharb-Bas Ouerrha couvre une superficie agricole de 321.000 ha, dont 247.000 ha constituent le périmètre du Gharb-Bas Ouerrha qui se décompose ainsi (hectares bruts) :

— Superficie irrigable à partir du barrage d'El-Kanséra :

■ Périmètre du Beht déjà équipé : 30.000 ha, dont 10.000 ha d'agrumes nets.

— Superficie irrigable à partir des nouveaux barrages :

■ Plantations existantes à maintenir : 16.000 ha (agrumes 11.000 et vignobles 5.000).

■ Terres non plantées à équiper : 201.000 ha.

— Superficie non irrigable : 74.000 ha.

Il est rappelé que la densité de population du Gharb est d'environ 110 habitants (km<sup>2</sup>).

#### 2 - PREMIER ENSEMBLE IRRIGUE (PTI)

Le barrage réservoir Idriss 1<sup>er</sup> sur l'oued Inaouène (affluent du Sebou) d'une capacité utile égale à 1.100 millions de m<sup>3</sup> permettra d'irriguer le PET (90.000 ha nets) qui se décompose ainsi (hectares nets) :

— Première Tranche d'Irrigation (PTI) 40.000 ha.

— Seconde Tranche d'Irrigation (STI) 35 à 45.000 ha.

— Moyen Sebou 10.000 ha.

Le barrage Idriss 1<sup>er</sup>, en cours de construction, a été mis en eau en décembre 1972 et commencera, à régulariser un peu le cours du Sebou, surtout à l'étiage. La PTI est en cours de réalisation depuis 1971. Elle a fait l'objet d'un accord de prêt avec la B.I.R.D. Ce prêt couvre la partie en devises du coût de l'équipement.

Il est à noter que le taux de rentabilité interne du Projet de la PTI est de l'ordre de 13 %.

### 3 - RYTHME ET PROGRAMMES D'EQUIPEMENT DE LA PTI

Le rythme d'équipement retenu pour la PTI est de 5.500 ha en moyenne par an avec un maximum de 6.700 ha.

Le premier secteur de la PTI équipé (P11 = 2.850 ha) a été mis en eau en avril 1972. Les travaux en cours actuellement intéressent les secteurs S17 (3.500 ha nets) et S13 (2.200 ha nets) qui seront mis en eau en 1973. Les travaux qui doivent aboutir à la mise en eau des secteurs S11 (2.100 ha) et S9 (3.700 ha) en 1974 ont commencé début avril 1973, au moment du colloque.

Le complément du programme d'équipement prévoit la mise en eau suivant le tableau 10.

TABLEAU 10

Secteur	Années	Superficie
S9 - S11 .....	1974	5.800
S7 .....	1975	6.700
S5 - 3 a .....	1976	5.500
S3b - S1 P8a .	1977	5.400
P8b - P7 .....	1978	4.200
SC - S19 .....	1979	5.700

#### Avancement des études et travaux

##### i - Etudes pédologiques :

Les études pédologiques au 1/5.000<sup>e</sup> sont achevées pour l'ensemble de la PTI et l'étude semi-

détaillée (1/20.000<sup>e</sup>) pour la STI est pratiquement terminée.

Les plans d'assolement ont donc été arrêtés pour l'ensemble des secteurs de la PTI.

##### ii - Levés topographiques :

Les levés topographiques, soit au 1/5.000<sup>e</sup>, soit au 1/2.000<sup>e</sup> sont achevés pour l'ensemble de la PTI.

##### iii - Trames

Les études de trames de tous les secteurs de la PTI sont achevées.

##### iv - Remembrement

L'opération de remembrement est achevée dans les secteurs P11 - S19 - S17 - S13 - S11 - S9 - S7 - SC.

Elle est en cours actuellement dans les secteurs P<sub>a</sub> - S<sub>a</sub> - S<sub>2</sub> S<sub>1</sub> et sera achevée fin octobre 73.

Enfin le remembrement prendra fin dans la PTI avec P<sub>7</sub> qui sera remembré avant fin octobre 1974.

##### v - Nivellement

Le nivellement a été réalisé dans les secteurs suivants : P11 - S17 et S13 et une petite partie du S<sub>9</sub> (500 ha).

##### vi - Réseaux d'irrigation, de drainage et d'assainissement (I.D.A.)

Les études de réseaux I.D.A. sont achevées pour les secteurs P11 - S17 - S13 = 8.650 ha nets.

Le secteur P11 est déjà équipé ainsi que les secteurs S17 - S13 (5.700 ha nets).

Les études de réseaux sont presque terminées pour les secteurs S11 et S9 (5.800 ha). L'exécution a déjà commencé.

##### vii - Stations de pompage (Génie Civil et Electro-mécanique)

L'irrigation gravitaire dans la PTI se fait (ou se fera) à partir de stations de pompage sur le Sebou (P11 - S19 - SC - S17 - S13 - S11 - S9 - S5 - S3 -S1) et à partir de stations de pompage sur le Beht pour les secteurs P7 et PS.

TABLEAU 11

Secteurs	Superficie (ha nets)	Nombre de S.P. (U)	Nombre de groupe (U)	Débit de chaque groupe (l/s)	Année de construction
P11 .....	2.850	2	3 et 5	2.800	1971-1973
S13 .....	2.300	1	3	2.200	1972-1973
S17 .....	3.500	1	5	3.700	
S9 .....	3.700	1	4	3.750	
S11 .....	2.100	1	6	2.250	1973-1974
S7 .....	6.700	3	15	5.750	1974-1975
S5 .....	4.300	1	4	4.900	1975-76 (S5-S3a)
S3 .....	1.050	1	5	2.300	1976-1977
S1 .....	750	1	—	750	(S3b-S1)
P8 .....	4.600	2	8	4.800	1976 (P8a)
					1977-78 (P8b)
P7 .....	3.200	2	6	3.200	1977-1978
S8 .....	2.000		6	2.850	1978-1979
S19 .....	3.700	2	6	3.900	

Les caractéristiques hydrologiques de l'oued Sebou rendent délicat le choix de l'emplacement des stations de pompage. Les unités déjà construites utilisent un système à estacade.

#### 4 - LES EQUIPEMENTS ULTERIEURS

A l'issue de l'équipement de la PTI, la Seconde Tranche d'Irrigation, d'environ 35.000 ha, doit, selon un rythme de progression similaire, utiliser le reliquat des eaux du Sebou partiellement régularisées par le barrage Idriss 1<sup>er</sup> sur l'Inaouène. L'étude de la factibilité de la STI débutera dans quelques mois pour s'achever en 1975. Au-delà de la STI, l'équipement du reste du Gharb dépend de la construction de l'important barrage de M'jara sur l'oued Ouerrha qui, principal affluent du Sebou, également responsable des inondations qui dévastent périodiquement le Gharb. Situé sur le cours inférieur de l'oued, ce barrage régulariserait les crues dans une large mesure. La construction de M'Jara était, jusqu'il y a peu de temps, prévue pour la décennie 80 mais la fréquence et la gravité croissante des inondations dans la plaine ces dernières années ont incité le gouvernement à lancer sur ce sujet une très importante étude qui doit déterminer

si la construction de M'jara doit être avancée ou non et, dans cette dernière hypothèse, quels seraient les palliatifs aux inondations (p. ex. « Bypass », c'est-à-dire chenaux de débordement). Mais cette protection ne pouvant être, en tout état de cause, efficace qu'après 1978 il devient indispensable de protéger les secteurs équipés par des aménagements spéciaux immédiats (digues, couloirs de débordements) qui intéresseront dès 1973, le secteur P11.

### Chapitre VI

#### MISE EN VALEUR AGRICOLE

La progression de l'aménagement doit commencer par les zones hautes de la plaine (levées alluviales de dess) pour s'achever 25 ans plus tard à l'équipement de toutes les zones basses de tirs et merjas selon les techniques d'irrigation, assainissement et drainage qui auront eu le temps d'être étudiées et testées.

La zone d'irrigation couvrira quelque 212.000 ha nets (non compris le périmètre du Beht). La répartition initialement prévue est indiquée dans le tableau 12.

Culture	SUPERFICIE EN HECTARES		
	Ruissellement	Aspersion	Totale
Riz .....	46.700		46.700
Agrumes .....	8.650	10.750	19.400
Canne à sucre .....	22.150		22.150
Assolement quinquennal ..	13.700	14.400	28.100
Agriculture domestique ..	12.850		12.850
Populiculture .....	8.100		8.100
Agrumes existants .....	11.000		11.000

Les dess légers des levées du Sebou et du Beht ont été consacrés aux agrumes et à la canne à sucre. Les merjas aval de rive gauche sont réservés à la riziculture.

L'assolement quinquennal intensif à base de cultures annuelles classiques (coton, fourrages, céréales) est réservé aux terrains plus ou moins faciles à drainer.

L'assolement quadriennal irrigué à 25 % en été mais 100 % en complément au printemps ou à l'automne occupe les sols de tirs et merjas dont le drainage est malaisé.

Les peupliers seront plantés en bordure de Marmora.

Le plan d'équipement de la PTI prévoit une grande extension (16.000 ha sur les 40.000) de la canne à sucre, culture rémunératrice mais exigeante car sensible aux sels et au froid. On note également l'équipement de 6.500 ha pour la plantation d'agrumes (rive droite du Beht aval), de 4.000 ha pour la rotation quinquennale, de 3.500 pour la rotation quadriennale, de 5.700 ha pour la riziculture et enfin 4.300 ha pour l'agriculture domestique.

## Chapitre VII

### SITUATION AGRICOLE ACTUELLE

Face à ces perspectives, l'agriculture actuelle (compte non tenu évidemment des opérations de démarrage sur la PTI) se caractérise schématiquement par :

— Un secteur moderne mécanisé et d'un niveau technique correct, concentré sur les terres privées

(Melk) et surtout sur les anciennes terres de colonisation, récupérées par l'Etat.

— Un secteur traditionnel, amélioré ou non, mené essentiellement sur le petit Melk et sur les terres collectives (jemaâ). Il est le fait de la majorité des petits exploitants et de certains exploitants marocains importants. C'est une agriculture extractive, sans restitution dont les résultats sont médiocres.

Une large superficie du Gharb est réservée aux céréales : blé dur, alpiste ou orge, en rotation avec une jachère paturée ou une légumineuse alimentaire. En culture de printemps, le tournesol prend une extension intéressante, surtout en année humide.

La culture du riz, après une période florissante (10.000 ha) due pour une large part à un cours maintenu à un niveau élevé, est en pleine régression (2.000 ha), le consommateur marocain étant, au demeurant, plus habitué à la semoule de blé.

Depuis 1962, la betterave à sucre est en pleine expansion (25.000 ha). Le Marocain est l'un des premiers consommateurs de sucre du monde et, actuellement, trois raffineries traitent la production betteravière du Gharb. En dehors de quelques essais peu concluants, la betterave est cultivée sans irrigation dans le Gharb.

L'agrumiculture (5.000 ha) est installée sur les sols des levées alluviales du Sebou et du Beht. Des cultures industrielles (piment, tomate, lin, coton) couvrent des superficies restreintes (eu égard à la superficie du Gharb) ainsi que le maraîchage (petit pois, haricots, fèves, artichauts).

## TROISIEME PARTIE

### DEFINITION DES NORMES DE DRAINAGE

#### Chapitre VIII

#### NATURE DES PROBLEMES DE DRAINAGE

L'abondance des ressources en eau dans le bassin du Sebou doit permettre, grâce à la construction de barrages régulateurs d'accumulation, l'irrigation intensive de très vastes superficies et plus particulièrement dans la plaine du Gharb. En effet, cette région, dont le climat s'avère par ailleurs propice à de nombreuses spéculations agricoles (agrumes, canne à sucre, riz, etc...) fortes consommatrices d'eau, bénéficie de conditions naturelles dans l'ensemble positives :

- Localisation géographique compacte, bien desservie, proche des grands centres urbains de consommation et d'exportations.

- Milieu humain apte à valoriser les techniques introduites, sous réserve d'un encadrement adéquat.
- Topographie régulière favorisant, lorsqu'elle n'est pas trop faible, l'établissement des projets de réseaux d'irrigation.
- Sols de bonne qualité sur de larges étendues, aux potentialités agronomiques diversifiées.

L'étude des conditions naturelles actuelles fait apparaître que le Gharb souffre, pendant l'hiver, d'un excès d'eau superficielle (précipitations, inondations) dû à la morphologie de la plaine, au climat hivernal pluvieux et à l'importance du bassin versant qui s'y déverse.

L'intensification des cultures d'hiver nécessite un assainissement superficiel efficace, préalablement à tout projet d'irrigation.

Quant au problème de la protection contre les crues, également très important, il déborde des limites du présent document.

Les précipitations entre le 15 octobre et le 15 avril sont de l'ordre de 450 à 500 mm. dont seulement 300 à 400 sont évapotranspirés. Reste un excédent de 100 à 200 mm. qui, en l'absence de pente naturelle du terrain, stagne et engorge les sols. Dans les parties hautes (dess légers), la perméabilité des sols permet une infiltration correcte. La nappe, au demeurant profonde, remonte sous l'influence de cet apport, mais reste à un niveau non gênant pour les cultures (plus de 2 mètres).

Par contre dans les parties basses de dess lourds, tirs et merjas, la faible porosité des sols fait remonter la nappe, fréquemment à moins de 1 mètre. Les stagnations en surface pendant plusieurs semaines sont fréquentes.

Le projet de mise en valeur du Gharb prévoit, préalablement à l'équipement pour l'irrigation des zones de tirs et merjas du centre de la plaine, l'amélioration de la culture en sec, en particulier par l'assainissement de surface en façonnant le sol en ados de 600 à 1.000 m. de longueur, 25 m. de largeur et 0,50 m. de dénivelée au centre.

Par contre l'intensification de l'agriculture par l'introduction et le développement de cultures irriguées modifiera les équilibres naturels, au demeurant peu satisfaisants.

En effet, l'accroissement des apports d'eau dans le Gharb par l'irrigation se traduira nécessairement par la percolation d'une partie de ces eaux. L'irrigation par ruissellement étant le système retenu jusqu'à présent, les pertes par percolation sont au minimum de 30 %. Il y a donc aggravation du bilan de l'eau, aggravation du bilan des sels.

Dans les parties hautes du Gharb, cette eau s'évacuera en profondeur grâce au drainage naturel ; le bilan de sel de la nappe sera aggravé, la salinité de la nappe augmentera, mais faiblement, en raison de la forte dilution par la pluie d'hiver et de son écoulement naturel vers les exutoires.

Dans les parties basses, par contre, seul un drainage artificiel peut évacuer les eaux excédentaires salées et maintenir la salinité de la nappe au niveau de tolérance des cultures. En effet, en l'absence de drainage naturel, la nappe, ne pouvant s'évacuer en créant des conditions asphyxiantes dont les conséquences néfastes sur les rendements des cultures s'ajouteront aux effets dépressifs de la salinisation des sols.

Le drainage est donc le facteur limitant absolu du développement de l'irrigation dans le Gharb.

Le cas du périmètre irrigué de Sidi-Slimane constitue, à cet égard, un exemple frappant (cf. 6<sup>e</sup> partie).

En conclusion, le drainage artificiel poursuit les trois objectifs suivants :

— éviter la remontée de la nappe phréatique, déjà peu profonde sous une partie de la plaine ;

— éviter la salinisation du sol par la remontée capillaire du sel de la nappe phréatique ou par dépôt du sel de l'eau d'irrigation ;

— lessiver les sols déjà salés, préalablement à leur mise en valeur.

## Chapitre IX

### TYPES DE DRAINAGE CHOISIS

La nécessité du drainage dans le Gharb étant reconnue, il faut tout d'abord définir les techniques les mieux adaptées. Le drainage souterrain est-il indispensable ou bien un assainissement correct des eaux de surface serait-il suffisant pour contrôler la remontée de la nappe phréatique ?

L'irrigation gravitaire prévue actuellement dans le Gharb ne peut se pratiquer sans pertes minimales au champ de l'ordre de 30 % sans compter une partie des pertes sur le réseau (joints, manœuvres). Par ailleurs, un assainissement de surface, même efficace, ne supprime pas les infiltrations de pluie qui, ayant comblé le déficit hydrique en fin de saison sèche, profitent à la nappe.

La combinaison de l'irrigation par aspersion et de l'assainissement de surface en vue de diminuer les infiltrations est séduisante bien qu'onéreuse, mais ne peut résoudre le problème. En irrigation par aspersion, 10 à 15 % des apports percolent : la formation d'une nappe ou la remontée d'une nappe préexistante n'est donc pas supprimée, mais seulement retardée. De plus, la diminution de la quantité d'eau infiltrée ne suffit plus à assurer de manière satisfaisante le lessivage des sels apportés par cette eau. Pour lutter contre cette augmentation de la salure du sol, on est amené à sur-irriguer, retrouvant ainsi le problème d'évacuation des excès d'eau que le système prétendait éviter.

Si, grâce à l'aspersion, les apports d'eau d'irrigation à la nappe seront réduits dans le rapport de 2 ou 3 à 1, les apports de sels ne diminueraient que de 20 à 30 %. Le niveau de la nappe serait en moyenne plus bas, mais sa salinité serait plus élevée. Pour cette raison plus que pour l'engorgement, on ne saurait présenter l'aspersion comme une solution de rechange au drainage souterrain,

au moins sur de grandes superficies et sur des sols aussi difficiles que ceux du Gharb.

Le mode de drainage pour les secteurs à irriguer dans le Gharb consiste donc en :

— un assainissement de surface par nivellement et réseau de colatures ;

— un réseau de drainage souterrain.

Trois solutions sont possibles pour éliminer l'eau du sous-sol :

i - Le drainage horizontal superficiel : consiste à placer des fossés ouverts ou drains souterrains à une profondeur de 1,5 à 2 mètres. L'eau circule du sol vers les drains par un mouvement à composante horizontale prépondérante. L'efficacité de ces drains est d'autant meilleure que la conductivité hydraulique (perméabilité au sens large) du sol est forte.

ii - Le drainage horizontal profond (2-4 m.) est recommandé lorsque des couches à transmissivité élevée ont été reconnues en profondeur ; c'est rarement le cas dans le Gharb.

iii - Le drainage vertical consiste à extraire l'eau du sol dans des puits ou forages atteignant des couches perméables plus ou moins profondes.

Au total et malgré les valeurs généralement faibles de la conductivité hydraulique du sol, le drainage horizontal demeure la technique recommandée. Cependant, dans certaines merjas (bas-fonds) du centre du Gharb, on a pu mettre en évidence une drainance relativement importante de la nappe profonde vers la nappe phréatique. Cela signifie qu'à l'échelle de la région les couches saltanienues qui séparent les deux nappes ont une perméabilité verticale non négligeable. Une forte intensification des pompages sur le pourtour de la plaine, dans les zones d'alimentation principales, abaisserait le niveau piézométrique de la nappe profonde du Gharb et supprimerait l'alimentation par ascension de la nappe profonde vers la nappe phréatique. Mais il semblerait peu réaliste de vouloir rabattre cette dernière en l'envoyant dans la nappe profonde (drainage vertical).

L'assainissement superficiel se décompose en :

- 1) réseau d'assainissement ;
- 2) aménagement interne des parcelles.

## 1 - RESEAU D'ASSAINISSEMENT

### 1.1. - Calcul du débit

#### 1.1.1. - Réseaux primaires

Le calcul des réseaux primaires a été fait en prenant en compte les débits provenant :

— de l'impluvium des terrains à assainir,

— du ruissellement des hauteurs environnantes et des apports des oueds secondaires drainant les bassins versants extérieurs à la plaine du Gharb (évacuation normale d'une crue décennale),

— dans une très faible mesure, des débordements du Sebou.

#### 1.1.2. - Réseaux secondaires

Pour les secondaires, seul l'impluvium propre à leurs bassins a été pris en considération. Les formules retenues ont été :

a) Pour la rive droite, celle d'Elliot n° 2 :

$Q = 0,49 \sqrt{S} + 0,054 S$  (Q en m<sup>3</sup>/s et S en km<sup>2</sup>).

b) Pour la rive gauche, celle de Chamiers :

$Q = 384 RC S^{3/4}$  (Q en m<sup>3</sup>/s, S en km<sup>2</sup>, R taux hydraulique moyen en mètre de pluie par heure, C coefficient de ruissellement).

40 mm.

R a été pris égal à 0,0017 =  $\frac{40 \text{ mm.}}{24 \text{ h.}}$  (évacuation de 40 mm. de pluie en 24 heures).

C a été pris égal à 0,4.

Pour les bassins versants de faible superficie, ces formules donnent un débit/ha élevé, qui ne correspond pas à la réalité. Aussi ces formules ne sont appliquées que pour les impluviums d'une superficie supérieure à 1.000 ha. Pour ceux dont la superficie est inférieure, on retient le débit de 2 l/s/ha.

#### 1.1.3. - Réseaux tertiaires

Le calcul du réseau tertiaire est conduit en prenant un débit de 2 l/s/ha. Donc  $Q = 2 S$ .  
(Q l/s ; S ha)

### 1.2. - Profils en travers et pente des canaux

Les canaux primaires et secondaires ont un profil en travers trapézoïdal, les drains ayant une pente de 2 de base pour 1 de hauteur pente correspond au talus d'équilibre.

Les canaux tertiaires, véhiculant des débits plus faibles et ayant une profondeur plus faible (de l'ordre de 1 m) ont un profil soit triangulaire, soit trapézoïdal avec des talus à 3/2 (3 de base pour 2 de hauteur).

La pente minimum des canaux est de 0,2 ‰, ce qui correspond à des vitesses très faibles. Cependant, il est difficile dans beaucoup de cas d'avoir des pentes plus fortes, la cote des exutoires naturels (partie aval du Sebou et merja Serga) ne le permettant pas. Dans certains cas, il a été nécessaire de prévoir des stations d'exhaure.

## 2 - AMENAGEMENT INTERNE DES PARCELLES

L'assainissement superficiel du Gharb serait pratiquement inefficace, s'il n'y avait pas d'aménagement interne des parcelles. On constate, en effet, des stagnations d'eau prolongées sur des terrains non aménagés situés à proximité immédiate des réseaux primaires ou secondaires.

Cet aménagement interne consiste à créer une pente artificielle qui permet de conduire l'eau gravitairement de la parcelle au réseau d'assainissement. Il est nécessaire dans toutes les zones mises en valeur que ce soit en irrigué ou en sec.

### 2.1. - Zones irriguées

Dans les zones irriguées, la pente artificielle est créée par le nivellement des sols qui est nécessaire également pour l'irrigation gravitaire rationnelle de ces zones. Dans le cadre de l'opération nivellement des sols, on donne une pente de 2 ‰ minimum de l'arroseur quaternaire à la colature quaternaire — c'est-à-dire sur une longueur variant entre 80 m. et 150 m. Cette pente est à la pente minimum nécessaire pour permettre une bonne irrigation gravitaire.

L'eau de pluie excédentaire qui ne percole pas dans le sol est donc conduite gravitairement jusqu'à la colature quaternaire qui rejoint le réseau d'assainissement général du Gharb, par l'intermédiaire du réseau tertiaire et secondaire.

L'efficacité de cet assainissement de surface serait meilleure si la pente créée artificiellement était plus forte. Cependant, dans le cas du Gharb, les pentes naturelles sont pratiquement nulles. Pour créer une pente artificielle de 2 ‰ sur une longueur moyenne de 120 m., il y a lieu de terrasser environ 300 m<sup>3</sup> de déblai par hectare, soit un coût d'environ 600 DH/ha. Si l'on voulait porter cette pente à 4 ‰ ou 6 ‰, ce qui améliorerait nettement l'assainissement de surface, le coût du terrassement passerait à 1.200 DH/ha ou 1.800 DH/ha, ce qui serait prohibitif et d'autre part entraînerait des décapages trop importants qui sont néfastes pour les rendements du moins pendant les premières années, jusqu'à ce que la couche arable se reconstitue.

### 2.2. - Zones mises en valeur en sec

Dans ces zones, l'aménagement interne des parcelles consiste en une mise en ados. Un ados est une bande de terrains de 25 m. de large environ sur 600 à 800 m. de long ayant la forme d'un toit. Entre deux ados contigus se trouve une dérayure. Ces dérayures sont dans le sens de la plus grande pente naturelle du terrain. La longueur de l'ados est fonction de cette pente naturelle. Plus elle est faible plus la longueur de l'ados sera courte. L'eau excédentaire qui ne percole pas, ruisselle sur le toit de l'ados. Elle est recueillie dans la dérayure qui

l'évacue dans la colature quaternaire, qui est reliée au réseau d'assainissement général du Gharb.

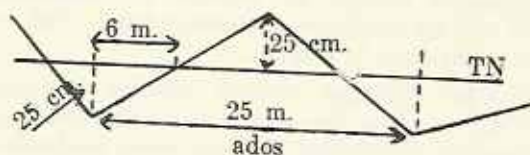
La mise en ados consiste donc encore à créer une pente artificielle qui empêche l'eau de stagner sur le terrain et permet de l'évacuer gravitairement.

La mise en ados dans le Gharb a été réalisée, soit par des motorgraders, soit par des labours à la charrue à disques.

#### 2.2.1. - Mise en ados par motorgraders

Dans le cas de la mise en ados par motorgraders, l'opération consiste à remonter la terre de la dérayure vers la crête en donnant une pente régulière qui est de l'ordre de 4 ‰ ou plus.

Le terrassement étant de l'ordre de 600 m<sup>3</sup> de déblai par hectare, le coût de cette opération est élevé. Aussi n'a-t-elle pas été généralisée dans le Gharb. Son avantage est que l'ados a sa forme définitive dès la 1<sup>re</sup> année, son inconvénient est son coût 1.000 DH/ha et le fait qu'il y a décapage du terrain.



#### 2.2.2. - Mise en ados par labour à la charrue à disques

Cette opération consiste à labourer à l'aide de charrue à disque en partant de la dérayure et en versant la terre toujours du même côté jusqu'à atteindre la crête de l'ados. On transporte donc la terre de la dérayure vers la crête, créant ainsi encore la pente artificielle nécessaire.

L'inconvénient de cette opération est qu'il est nécessaire de refaire l'opération 3 ou 4 fois pour atteindre le profil type de l'ados. Son avantage est son coût très réduit, et le fait que cette opération constitue la façon culturale nécessaire pour la mise en culture de la parcelle.

On voit qu'il faudra donc attendre 3 ou 4 campagnes agricoles, pour achever l'équipement. Il n'y a pas d'entretien à prévoir puisque chaque labour profond dans la mesure où il est fait correctement, entretient l'ados.

L'Office du Gharb a réalisé cette opération sur plusieurs milliers d'hectares. Quand il s'agit d'une opération portant sur une grande superficie, il y a lieu d'organiser le chantier d'une façon rationnelle.

La première opération consiste à implanter sur le terrain les crêtes et les dérayures des ados (opération topographique simple exécutée par du personnel peu qualifié, puisqu'il s'agit uniquement de drainer).

Ces axes sont matérialisés sur le terrain par des jalons qui faciliteront la tâche des conducteurs de tracteurs chargés d'exécuter les crêtes et les dérayures.

Il est en effet nécessaire d'avoir plusieurs charrues réglées différemment suivant l'opération qu'elles auront à réaliser.

On choisit les meilleurs conducteurs et les meilleures charrues pour exécuter la crête et la dérayure. La charrue est réglée de façon à descendre le plus profondément possible et la 1<sup>re</sup> année on fait 2 passages au même endroit. Donc pour un 1/2 ados, il y a 2 passages dans la dérayure et 2 passages sur la crête. Le réglage de ces charrues correspond à un angle d'entrure et un angle de coupe maximum et la charrue est la plus inclinée possible vers l'arrière.

On affecte une autre charrue réglée de façon à repousser la terre extraite de la dérayure vers la crête et à combler le vide créé entre la crête et l'ados par le passage de la 1<sup>re</sup> charrue.

Une passe de covercrop est souhaitable après le labour. Une passe de stubble plow sur les bourrelets contre la dérayure est très efficace pour diminuer ce bourrelet, qui gêne l'écoulement de l'eau.

Le coût de l'opération de la mise en ados est estimé dans le Gharb à environ 270-320 DH/ha (trois à quatre passages de tracteur à chenilles 70 CV accouplé à une charrue six disques). Le coût du réseau tertiaire et quaternaire peut être estimé à 100 DH/ha.

Cet investissement est très rentable. On constate en effet dans les zones mises en ados :

— la suppression du rendement zéro, ce qui est primordial en agriculture ;

— une augmentation du rendement moyen, supérieure à 5 qx/ha de blé dur.

*Exemple :* Propriété de 1.300 ha dans les bas-fonds de la plaine.

Culture de blé dur	Epoque	Rendement en qx/ha			Façons culturales et en gras
		Minimum		Moyen	
Sans ados .....	1932-1941	0	21	6,1	Identiques
Avec ados .....	1947-1957	4,7	18,8	11,2	

La partie intermédiaire est labourée par des charrues réglées de façon normale (profondeur du labour désirée pour la culture à entreprendre).

On obtient alors le résultat suivant :

1<sup>re</sup> année .....



Les 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> années on laboure l'ados avec des charrues ayant un réglage unique correspondant à la profondeur du labour désiré et on obtient :

2<sup>e</sup> année .....

3<sup>e</sup> année .....

4<sup>e</sup> année .....



Dans les merjas alloties traitées en ados et opération labour, les rendements ont atteint, en 1958 et 1959, 15 à 20 qx/ha contre 4 ou 5 qx sur les melks voisins.

## Chapitre XI LE DRAINAGE SOUTERRAIN

Préalablement à la détermination des caractéristiques du réseau on définit les critères retenus :

- Profondeur moyenne des drains. Tranche de sol assaini.
- Ecartement entre files de drains.
- Débit critique.

L'expérimentation, bien que difficile à extrapoler à des cas autres que ceux qu'elle étudie précisément, demeure le moyen le plus précieux d'avoir une estimation objective de la valeur de ces paramètres. C'est pourquoi dès 1969, l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb entreprit d'équiper une parcelle d'expérimentation de 12 ha sur la ferme d'application de l'Institut Agronomique Hassan II à Moghrane, dans l'Ouest du Gharb.

Les sols, des dess très lourds vertiques sur vertisols jeunes en profondeur, avaient délibérément

été choisis parmi les sols difficiles de manière à ce que les essais étudient des terrains qui, pour n'être pas majoritaires dans la PTL, n'en étaient pas moins très répandus dans le Gharb. La conception du dispositif, établie après une mission d'étude au Centre de Recherches pour l'utilisation des Eaux Salées en Irrigation (Cruesi, Tunisie, Projet U.N.E.S.C.O.) devait permettre d'atteindre les objectifs suivants :

i - Définition de l'efficacité du drainage avec trois écartements différents.

ii - Etude de l'influence de divers matériaux d'enrobage du drain : terre extraite, sable graveleux, laine de verre.

iii - Comparaison de l'efficacité des drains en matière plastique et en terre cuite.

iv - Evolution de la nappe sur les parcelles étudiées en vue de la détermination de la transmissivité et de la résistance radiale des drains.

v - Mesure des débits des drains dans les collecteurs : étude en régime de tarissement et en régime permanent.

vi - Bilan saisonnier et interannuel du sel sur les parcelles.

vii - Bilan saisonnier et interannuel de l'eau sur les parcelles.

Ces recherches visaient, à long terme, à répondre à deux objectifs économiques primordiaux :

— Diminution du coût du drainage souterrain par un dimensionnement basé sur l'expérimentation.

— Intensification des rotations extensives proposées (assolement quadriennal) après résolution des problèmes de drainage sur les sols les plus imperméables.

Depuis sa création, la parcelle a souffert de circonstances défavorables. En janvier 1970, une très forte inondation a endommagé le dispositif (drains et fossés collecteurs colmatés, alluvionnement sur le terrain...) et détruit les cultures.

Après la remise en état (été 1970), les difficultés structurelles et l'absence de laboratoire n'ont permis qu'un programme très partiel remis en cause par l'inondation d'avril 1971. La persistance de désordres fonctionnels et la vulnérabilité du dispositif, devenu de surcroît quelque peu obsolète, ont incité les responsables à modifier le partage des

tâches et à mettre en œuvre des modifications d'équipement apparentant désormais le réseau davantage à ceux mis, entre temps, en place sur les secteurs de la PTL.

En effet, le calendrier d'équipement de la PTL ne pouvait en aucun cas être dépendant de la réussite ou de la non réussite d'une expérimentation de drainage. Si certains des objectifs évoqués plus haut (ii - iii) sont apparus comme relativement peu déterminant par la suite, il a fallu, pour les autres critères de drainage, procéder à des évaluations non étayées par des expérimentations locales. Il est vrai que les expériences acquises en d'autres pays (Tunisie, Irak, Grèce) sur les sols similaires étaient transposables sans risques majeurs.

L'expérimentation dans le Gharb est donc exposée dans le chapitre douze.

## 1 - PROFONDEUR MOYENNE DES DRAINS TRANCHE DE SOLS ASSAINIE

Il serait souhaitable d'étayer le choix de la profondeur moyenne des drains par des études d'inventaire sur des situations existantes permettant de caractériser :

— incidence des nappes hautes sur les rendements,

— incidence des salures élevées sur les rendements,

— le type de profils verticaux hydriques et d'aération que l'on rencontre au-dessus d'une nappe fluctuante proche de la surface.

En ce qui concerne les deux premiers points, s'il semble évident qu'une nappe haute ou une salure élevée influe défavorablement sur les rendements, il n'a par contre été procédé que rarement et imparfaitement à l'évaluation quantitative de l'action spécifique de ces facteurs au Maroc.

En matière de tolérance des plantes à la salinité, on a coutume d'utiliser les normes établies aux U.S.A., modifiées en Tunisie.

Pour ce qui concerne l'action d'une nappe haute sur les rendements, les résultats fragmentaires suivants peuvent être collectés.

i - Betterave sucrière en sec (campagnes 1964-1965) :

Dess : 21,2 t./ha moyenne.

Tirs : 19,2 t./ha moyenne.

Perchech : 17,7 t./ha moyenne.

ii - Influence de l'assainissement sur les rendements en oranges (kg./arbre).

	Récolte 1946	Récolte 1947
Parcelle d'essai ...	25-30	50-60
	av. drainage	ap. drainage
Parcelle témoin ...	25-30	25-30

iii - Parcelle de tabac sur vertisols :

Hauteur des plantes à cote TN 26,07 m. (bas fonds) : 0,75 m.

Hauteur des plantes à cote TN 26,13 m. (dôme) : 1,15 m.

v - Observations générales : sur dess bien drainé (nappe à plus de 5 m.) l'enracinement des orangers est profond et ramifié, les rendements passent de 16 t./ha à 10 ans à 25 t./ha à 20 ans. Sur tirs à nappe peu profonde (moins de 2 m.) l'enracinement est peu profond, peu ramifié, irrégulier.

iv - Etat des agrumes à Sidi-Slimane sur tirs (Faraj 1970).

Niveau de la nappe (en m.)		Comportement
Bloc 211	1,60	Bon état
Bloc 211	1,30	Chétifs, en voie de dépérissement
Bertin	1,70	Bon état
Bertin	1,30	Chétif
Bloc 209	1,60	Arbre ayant dépéri
Bloc 229	1,50	Bon état.

Les rendements sont de 15 t./ha à 10 ans et restent au mieux stationnaires.

Des profils hydriques moyens (exprimés en % d'eau) établis sur sols argileux de Sidi-Slimane figurent dans le tableau 13.

TABLEAU 13

	Sols à nappe superficielle (0-1 m.)	Sols à nappe peu profonde (1-4 m.)	Sols à nappe profonde (plus de 4 m.)
Printemps (avril)	0 - 15 cm. 46 %	Surface 37 %	Surface 30 %
	10 - 30 cm. 52 %	20 cm. 33 %	200 cm. 20 %
	30 - 90 cm. 60 %	100 cm. 31 %	300 cm. 20 %
	90 - 130 cm. 76 %	300 cm. 28 %	
	0 - 15 cm. 30 %	Surface 7 %	Surface 8 %
	15 - 30 cm. 39 %	100 cm. 29 %	20 cm. 15 %
	30 - 90 cm. 48 %	300 cm. 26 %	200 cm. 20 %
	90 - 130 cm. 53 %		300 cm. 20 %

Pour la plupart des cultures pratiquées dans le Gharb une tranche de sols assainie moyenne de 1 m. semble donc largement suffisante. Il serait recommandé de porter cette valeur à 1,2 m. pour les cultures arbustives, oranger en particulier. Malheureusement, il semble quasiment impossible de mettre cette norme en application car elle suppose le calage du drain à 1,70 m., qui est la profondeur maximum de pose. Compte tenu des hypothèses de calcul retenues la profondeur des drains aspirateur est en moyenne de 1,50 m. ; cette profondeur est compatible avec les techniques de pose utilisées.

Il a été signalé qu'aux Etats-Unis (Imperial Valley) et en Turquie par exemple, on pose mécaniquement des drains à une profondeur de 1,90-2 m.

Cette possibilité, qui répercuterait sur les écartements donc sur les coûts semble malheureusement exclue dans le Gharb = en donnant au drain une profondeur minimale de 140 cm. (on est parfois obligé d'accepter 120 cm.) et une pente de 1 ‰, la profondeur du collecteur souterrain est fréquemment de l'ordre de 200-220 cm. ; la revanche minimale à l'exutoire étant fixée à 50 cm., il n'est pas rare de voir des fossés secondaires d'assainissement dont la profondeur, comprise entre 2,5 et 3 m., n'est conditionnée que par la contrainte du drainage souterrain et qui, surdimensionnés eu égard aux besoins de l'assainissement de surface, coûtent cher. Encore est-il jusqu'à maintenant possible de les raccorder aux canaux principaux de la plaine, per-

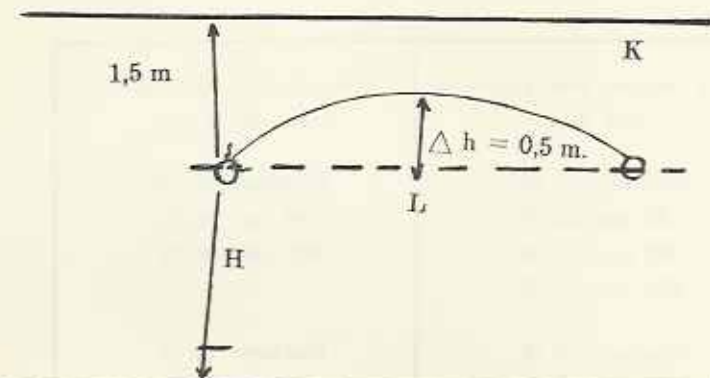
mettant ainsi une évacuation gravitaire des eaux d'assainissement - drainage. Les creuser cinquante centimètres plus profonds serait dispendieux et ne permettrait peut-être plus l'écoulement gravitaire.

## 2 - ECARTEMENT ENTRE FILES DE DRAINS

La détermination de l'écartement entre les files de drains est l'un des points les plus importants d'un réseau de drainage souterrain. De nombreuses études ont, au cours des dernières décennies, proposé diverses formules de calcul, les unes en courant permanent, d'autres en régime transitoire. Bien que ces dernières (Krayenhoff, Van de Leur, Guyon) correspondent davantage au déroulement normal du phénomène de drainage, elles ne sont pas d'un usage très courant du fait qu'elles nécessitent la connaissance de certains paramètres qui, souvent, font défaut.

Pour simplifier les calculs, on utilise généralement la formule de Hooghoudt ou bien l'abaque de Boumans-Visser qui est équivalent :

$$L^2 = \frac{8 KD \Delta h}{N} + \frac{4 KD \Delta h^2}{N}$$



Cette formule suppose que le courant se compose d'une partie horizontale et d'une partie radiale. Lorsque la couche imperméable se trouve à grande profondeur (en pratique plus de 6 m. ce qui est le cas général dans le Gharb), la deuxième partie de la formule est négligeable et il vient :

$$L^2 = \frac{8 KD \Delta h}{N} \text{ avec :}$$

L = Ecartement entre les drains en mètres.

K = Conductivité hydraulique du sol en m./j.

D = Epaisseur de la « couche équivalente » de Hooghoudt en m.

h = Gonflement de la nappe au-dessus des drains en régime permanent en m. (charge).

N = Débit-norme en m./j. ou tranche d'eau évacuée quotidiennement en moyenne par le réseau.

### 2.1. - Conductivité hydraulique du sol

La conductivité hydraulique du sol est connue d'après les études du trou de tarière ou par la méthode Porchet et, lorsque ces données sont en densité insuffisante, d'après des estimations basées sur les cartes pédologiques détaillées au 1/5.000<sup>e</sup>.

### 2.2. - Couches équivalentes

Soit h l'épaisseur en m. de la couche de sol de perméabilité K comprise entre le niveau des drains et le substratum imperméable. La formule de Hooghoudt intégrant l'influence de l'écoulement radial, ce dernier consomme une partie de la charge  $\Delta h$ . Il en résulte une diminution de la charge disponible pour le courant horizontal et par conséquent une diminution de l'espacement. Soit D cette valeur, appelée épaisseur de la couche équivalente. La résistance radiale et par suite D dépend du rayon hydraulique du drain, de l'épaisseur h de la couche perméable sous le drain et de l'espacement L. Les valeurs de D ont ainsi été calculées par Hooghoudt dans tous les cas de figure.

La structure géologique du Gharb ne met pas en évidence de substratum imperméable à moins de 10 m. de profondeur. Cette caractéristique a été confirmée par plusieurs séries de sondages à 9-10 m. (56 au total). Au contraire, dans certains cas, des niveaux sableux ont été rencontrés vers 5-6 m. de profondeur. En sol de tirs ou de merjas également, l'homogénéité du dépôt argileux n'est pas la règle et les discontinuités de texture ont toujours une influence favorable sur la perméabilité. Les conclusions sont donc identiques à celles formulées lors des études systématiques de perméabilité qui arrêtent leurs investigations à trois mètres de profondeur.

On convient donc d'utiliser la règle suivante (tableau 14) :

TABLEAU 14

K en m./j.	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,35	0,35-0,6	0,6-1,1	1,1-2	2-3	> 3
h en m. ....	10	9	8	7	6	5	4	3

Cette relation h-K s'explique par le fait que, dans un profil hétérogène constitué d'une alternance de couches plus ou moins perméables, il y a statistiquement plus de chances de trouver à faible profondeur sous les drains un niveau dit imperméable quand la perméabilité au-dessus des drains est forte tandis que dans le cas où la perméabilité de cet horizon est faible, la couche imperméable sera vraisemblablement plus profonde.

La valeur de D (épaisseur de la couche équivalente) est ensuite déterminée à partir des tableaux de Hooghoudt.

### 2.3. - Charge

Compte tenu des exigences édaphiques des cultures prévues dans la PTL, on estime utile d'assainir une tranche de sol de 1 m. d'épaisseur (cf. 2.1.). Les drains étant généralement posés à 1,5 m. de profondeur pour des raisons technologiques, la charge de la nappe au-dessus des drains en régime permanent, soit  $\Delta h$  est égale à 0,5 m.

### 2.4. - Débit-norme

Le débit-norme correspondant à la tranche d'eau évacuée journalièrement par le réseau en régime permanent. Il doit être suffisant pour assurer le lessivage des sels contenus dans le sol et apportés par l'eau d'irrigation (cf. 4). Dans les dess légers

le débit-norme est pris égal à 2 mm./j., dans les sols lourds 1 mm./j.

### 2.5. - Données expérimentales

En l'absence de données fournies par la parcelle d'expérimentation de drainage de la ferme d'application de l'Institut Agronomique, des résultats recueillis sur des parcelles de tirs et dess sur tirs au début des années 60 paraissent très probants et étayent la validité des options prises.

#### 2.5.1. - Parcelles A : tirs

De longueur 475 m. sur largeur 160 m. la parcelle comporte un réseau d'assainissement superficiel sur un quart de la surface et un réseau de drains de :

- longueur 160 m. ;
- profondeur 170 à 250 cm. selon les horizons reconnus ;
- écartement 20, 40, 80 m.

Profil du sol : 1 m. argile gris brun sur 0,5-1 m. argile lourde grise sur 0,2-0,6 m., argile noire tachée, sur 0,20-0,80 m. argile brun jaune tachée sur 0,50 argile limoneuse brun jaune sur argile très lourde noire.

TABLEAU 15  
TEXTURE

	Argile (%)	Limon (%)	Calcaire total (%)
20 - 50 cm. ....	40	31	18
140 - 150 cm. ....	64	15	16
200 - 150 cm. ....	34	35	17

TABLEAU 16  
PERMEABILITE EN m/j

Profondeur .....	Horizon	Horizontale (pompage)		
	Tirsifié	0,017	0,06	0,04
	Transition	—	0,002	0,002
	Non tirsifié	0,013	0,009	0,011

Résultats expérimentaux :

Drains A2 à écartement 60 m. :				
Charge	55	90	145	165
Débit mm./j.	0,33	0,67	1,34	1,67
Drain C3 à écartement 20 m. :				
Charge	100	118	160	
Débit mm./j.	2,7	5,3	10,7	

L'analyse des mesures de débit en relation avec la charge et l'écartement entre drains montre une bonne concordance entre les résultats obtenus et les résultats calculés par la formule de Hooghoudt pour un sol de perméabilité 10 cm./j. sur une grande profondeur. Cette perméabilité est une valeur moyenne valable à l'échelle de la parcelle, plus importante que celle mesurée.

L'écartement optimum pour  $K = 0,10$  m./j.,  $N = 0,001$  m./j. et  $\Delta h = 0,50$  m. est de 30 m.

2.5.2. - Parcelle C : dess sur tirs

D'une superficie de 30 ha et de forme irrégulière, la parcelle est drainée par des fossés de 2 m. de profondeur et d'écartement 75, 100, 150 et 200 m.

Profil du sol : alternance de limon argileux sur limon sableux sur tirs à 3-4 m. de profondeur. Un horizon de sable grossier de 40 cm. d'épaisseur à 150 cm. de profondeur se trouve sous une partie de la parcelle.

TABLEAU 17  
PERMEABILITE EN m/j

	Station	Verticale (Müntz)	Horizontale Porchet
Surface	1	0,11	0,13
	2	0,05	0,12
	3	0,09	0,02
	4	0,12	

Résultats expérimentaux :

Du rabattement de nappe observé en relation avec perméabilité et écartement des drains on tire :

K m./j.	Ecartement maximal des fossés en m.
0,65	84
1,5	94

Le calcul de l'écartement selon la formule de Hooghoudt pour des tuyaux et des fossés dans les conditions de la parcelle C donne les résultats suivants (tableau 18) :

TABLEAU 18

	Tuyaux	Fossés
Profondeur (m.) .....	1,50	2,00 avec plan d'eau à 1,50 sous TN.
Profondeur couche imperméable .....	4,00	4,00
Périmètre mouillé (m.) .....	0,1	0,5
Charge en m. ....	0,5	0,5
Débit-norme en m. ....	0,002	0,002
Ecartement pour :		
K = 0,65 m./j. ....	55 m.	60 m.
K = 1,5 m./j. ....	95 m.	100 m.

### 2.5.3. - Parcelle D : dess sur tirs

La parcelle est drainée par trois files de tuyaux de longueur 190 m., profondeur 1,0-1,2 m. et écartements 75 et 90 m.

Profil du sol : un mètre d'argile sur 0,5-1,5 m. de limon sableux sur 1-2 m. de sable fin sur 0-50 cm. de limon sur tirs à 3,5 m.

TABLEAU 19  
PERMEABILITE EN m/j

Profondeur	Texture	K pompage
0 - 60 ..	A	0,1
60 - 160 ..	AL	0,4
160 - 290 ..	SL	1,9
290 - 350 ..	SF	7,9

Des données recueillies on peut déduire les relations suivantes (tableau 20) :

TABLEAU 20

km./j.	Ecartement maximal des drains en m.
0,62	98
1,2	120
3,7	160

Une relation entre débit  $N$  (m./j.) et charge  $\Delta h$  (m.) est établie  $N/\Delta h = 1/45$ . La transmissivité déduite est de 19 m<sup>2</sup>/j., soit pour un aquifère de 2,50 m. d'épaisseur, une conductivité hydraulique de 8 m./j. valeur élevée, mais néanmoins plausible.

### 3 - DEBIT CRITIQUE

Le réseau de drainage doit être dimensionné pour évacuer les débits maximum possibles. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer ce débit critique appelé encore débit spécifique. La plus rationnelle passe évidemment par l'expérimentation. La seconde utilise l'analyse fréquentielle des pluies et, fixant en fonction des critères agronomiques le temps de désaturation autorisé d'une certaine profondeur de sol, calcule les caractéristiques du réseau par les formules d'écoulement du régime transitoire. Pour l'une comme pour l'autre méthode, il faut quantifier certains paramètres dont les valeurs sont très mal connues dans le Gharb. On formule donc

l'hypothèse que le débit maximum que doit évacuer le réseau est atteint quand la nappe affleure. La charge est alors triple de sa valeur en écoulement de régime permanent et, selon la formule de Hooghoudt, le débit est également triple, soit :

— Pour les sols légers portant des assolements intensifs : 6 mm./j.  $\approx$  0,65 l./s./ha.

— Pour les sols lourds portant des assolements semi-intensifs : 3 mm./j. = 0,35 l./s./ha.

Ce débit ne peut être atteint qu'en hiver, en période de fortes pluies.

### 4 - EVOLUTION DE LA SALINITE

L'état actuel de la salinité des sols du Gharb, avant mise en valeur intensive sous irrigation, a été décrit. Il apparaît ainsi qu'elle ne pose pas de problèmes graves, du moins dans la majorité des sols de la PTL.

Néanmoins, la nature des sols, la morphologie de la plaine, la qualité des eaux d'irrigation apparaissent comme des facteurs qui augmentent à terme la salinité des sols. Le but des réseaux de drainage projetés, outre le rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, est de maintenir cette salinité à un niveau qui ne compromette pas le plein rendement des cultures prévues.

En l'absence de normes expérimentales dans le Gharb, on a considéré comme sûres un certain nombre de données.

■ Les recherches entreprises en Medjerdah (Tunisie) par le CRUESI ont montré qu'un lessivage annuel de 150 mm. essentiellement assuré par les pluies d'hiver suffit pour contrôler la salinité. La conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée de la couche 0-40 cm. est maintenue entre 2 et 6 pour une irrigation de 800 mm./an avec une eau de 2,8 mmhos en moyenne. Les sols et le climat sont semblables mais l'eau de la Medjerdah est plus salée que celle du Sebou.

■ Des observations en Oranie (périmètre du Habra) sur des orangeries indiquent par ailleurs que la salinité de la nappe doit rester inférieure à 8 mmhos pour une profondeur de 1 m.

En utilisant la formule :

$$\frac{\text{Drainage annuel en mm.}}{\text{Irrigation annuelle en mm.}} = \frac{\text{CE Irrigation}}{\text{CE Nappe}}$$

et en considérant CE<sub>i</sub> = 1,2 mmhos et 1 mm. = 800, on calcule que le drainage minimal nécessaire est de 120 mm./an.

Par ailleurs, on peut faire une estimation approchée du problème de la manière suivante.

On définit les valeurs des facteurs suivants :

- M capacité au champ.
- T épaisseur de sol lessivée en mm.
- Dose mensuelle d'irrigation I en mm. Cette dose peut être calculée :

- Soit à partir des données climatologiques brutes.

$$I = (ET - P) \times 1/F.$$

ET évapotranspiration.

P pluviométrie.

1/F efficacité de l'irrigation gravitaire.

- Soit à partir des données climatologiques traitées par l'analyse fréquentielle :

$$I = DH/F.$$

- Soit à partir des apports réels d'irrigation pratiqués lorsqu'ils sont bien connus.

— Efficacité interne du lessivage : en effet, le lessivage n'est assuré que par une fraction de l'eau infiltrée. Le coefficient d'efficacité interne du lessivage soit  $f$  est défini comme le rapport de la concentration en sels de l'eau de drainage sortant d'une couche de sol sur la concentration en sels de cette couche de sol. La distribution de la taille des pores est donc très importante pour l'efficacité du lessivage. Quand un sol lourd est lessivé, l'eau qui passe à travers les pores les plus larges (ou les fentes et fissures) a un faible effet lessivant. Le coefficient  $f$  varie donc suivant la saison et suivant la profondeur.

— Salinité moyenne mensuelle de l'eau d'irrigation  $CE_i$ .

Une fois ces données de base évaluées, il faut calculer mois par mois les quantités d'eau de drainage :

- Lorsque  $Et - P > 0$  (été) la perte d'eau qui assure le lessivage des sels est estimé à

$$D \text{ mm.} = (1 - F) (Et - P)$$

- Lorsque  $ET - P < 0$  (hiver), l'eau de drainage provient de la partie percolante des eaux de pluie, une fois le déficit hydrique comblé, il convient donc de connaître ou de faire des hypothèses sur le coefficient de ruissellement  $R$ .

$$D \text{ mm} = R (P - ET).$$

Par ailleurs, on sait que l'eau de drainage a la même conductivité  $CE_d$  que l'eau de la solution du sol  $CE_s$  (en première approximation, lorsqu'il y a équilibre).

Lorsque des données précises sur  $CE_d$  et  $CE_s$  font défaut, ce qui est le plus fréquent, on définit la salinité admise du sol par la conductivité électrique  $CE_s$  d'un extrait aqueux du sol (extrait de pâte saturée). En général on établit la relation :

$$CE_e = 1/2 CE_s = 1/2 CE_d.$$

Les normes des tolérances des cultures sont établies d'après  $CE_e$ .

Arrivé à ce stade on calcule mois par mois l'évolution du stock de sels dans le sol par la formule fondamentale du bilan de sels :

$$B_n = B_{n-1} + I_n \times CE_i - D_n \times f \times CE_{sn} \quad (1).$$

Expression dans laquelle :

$B_n$  : quantité de sels dans la tranche de sol d'épaisseur  $T$  à la fin du mois de rang  $n$ .

$B_{n-1}$  : idem à la fin du mois  $n-1$ .

$f \times D_n \times CE_{sn}$  : quantité de sels exportés par l'eau drainée  $D_n$  pendant le mois  $n$ , de concentration  $CE_{sn}$  dans la tranche de sol  $T$  avec l'efficacité  $f$ .

Par ailleurs  $B_n = M.T.CE_{sn}$  (2).

Ce qui permet de calculer  $B_n$  sous la forme :

$$B_n = \frac{B_{n-1} + I_n \times CE_i}{MT + f \times D_n} \times MT \quad (3)$$

Le stock de sels dans le sol à l'origine, soit  $B_0$ , est calculé globalement ou horizon par horizon selon la formule (2).

Le calcul d'après la formule (3) doit être poursuivi mois par mois sur cinq années au plus, reporté sur graphique et extrapolé.

On constate ainsi que rapidement (3 ans environ), le stock de sels  $B_n$  dans le sol, et par conséquent  $CE_{sn}$  tend vers deux valeurs asymptotiques, l'une caractérisant l'hiver, l'autre l'été, quelle que soit la valeur de  $B_0$ . L'évolution à long terme du sol aboutit à un profil d'équilibre indépendant de l'état initial.

Ce profil d'équilibre plus fort ou plus faible que l'état initial selon les cas peut correspondre à un niveau de salinité trop élevé pour les cultures prévues. Il y a alors deux solutions :

— soit adapter les cultures et assolements au niveau de salinité attendu pour que les rendements n'en souffrent pas,

— soit appliquer des doses de lessivage complémentaire à des époques et selon des modalités qui peuvent être calculées assez grossièrement mais qui sont davantage du ressort de l'expérimentation.

De manière à justifier le débit-norme retenu pour le calcul du réseau, il reste à établir quelles sont, annuellement, les quantités d'eau qui alimentent la nappe par infiltration.

Dans les sols d'alluvions (« dess ») légères, la salinité de la nappe est faible (1-2 g./l. de  $cl \ Na$ ). Pour un rapport d'eau d'irrigation moyen de 8.000 m<sup>3</sup>/ha/an, soit 800 mm. d'une eau d'environ 0,33 g./l. de  $Na \ Cl$ , il y a une percolation de 120 à 240 mm./an. L'infiltration de la pluie étant d'en-

viron 70 à 100 mm./an, les pertes profondes imputables à l'irrigation sont de 50 à 140 mm./an. Mais on notera que le total des pertes au champ est plus élevé puisqu'une partie est évacuée par les colatures superficielles et une partie par évaporation.

Selon les chiffres ci-dessus, le débit à drainer ne dépassera donc par 250 mm. par an.

Temps de fonctionnement du réseau :

— Saison d'irrigation : les drains coulent environ pendant 6-7 jours après une irrigation, soit au total 50 à 60 j.

— Saison des pluies : le réseau fonctionne à peu près la moitié du temps, soit 75 jours.

— Temps total de fonctionnement : 125 jours à 135 jours.

— Débit moyen transité (débit-norme) : 1,85 à 2 mm./j.

Le chiffre retenu sera 2 mm./j., soit 0,002 m./j.

Dans les sols d'alluvions lourdes et les vertisols, la percolation est évidemment plus faible que dans le dess du fait de leur faible perméabilité verticale. Pour un apport de 800 mm., le drainage annuel a été trouvé compris entre 110 et 180 mm. On le considérera égal à 180 mm., donc suffisant pour contrôler le lessivage des sels. On calcule de la même manière un débit-norme de 1 mm./j., soit 0,001 mm./j.

Ces débits-normes ne tiennent pas compte de l'alimentation par drainage depuis la nappe profonde. Les normes ainsi définies se rattachent à celles établies en d'autres pays :

— Le drainage des sols lourds et peu perméables de la vallée du Nil est calculé sur la base de 1 mm./j.

— La norme de 1 à 2 mm./j. a été utilisée pour projeter le besoin en drainage d'un périmètre d'irrigation en Grèce.

— Le drainage des sols limoneux et limo-argileux de la basse vallée de la Medjerdah a été calculé avec la norme de 2 mm./j. Cette norme s'est avérée largement suffisante, même compte tenu du besoin de lessivage plus élevé du fait de la salinité de l'eau d'irrigation.

— Le réseau de drainage de l'Imperial Valley, aux U.S.A., qui date de 1922 a une capacité qui correspond à un débit-norme de 1,6 mm./j.

## Chapitre XII L'EXPERIMENTATION DE DRAINAGE

### 1 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

#### 1.1. - Situation

La station expérimentale de drainage est implantée sur le périmètre de la ferme expérimentale de l'Institut National Agronomique, à 9 km. au Nord de Moghrane, en bordure de la piste d'accès aux bâtiments de la ferme.

D'une superficie brute de 13 ha, la parcelle en forme de parallélogramme est bordée au Sud sur son grand côté (590 m.) par une ligne électrique 22 KV. D'une largeur de 225 m., elle est limitée le long de ses petits côtés par la piste d'accès à la ferme et un fossé collecteur à l'Ouest, par un canal d'irrigation tertiaire à l'Est.

La parcelle est située à une distance d'environ 600 m. du Sebou ; au Sud, elle est séparée des rizières par un casier-tampon de 150 m. de largeur qui évite toute influence des zones submergées sur la nappe phréatique au droit de la station (fig. 1).

#### 1.2. - But de la station

Initialement, le but de la station étant d'examiner les conditions de drainage des sols lourds dévolus aux cultures les moins intensives, il paraissait intéressant de tester en priorité un assolement quinquennal et un assolement quadriennal tels qu'ils ont été préconisés par le Projet Sebou.

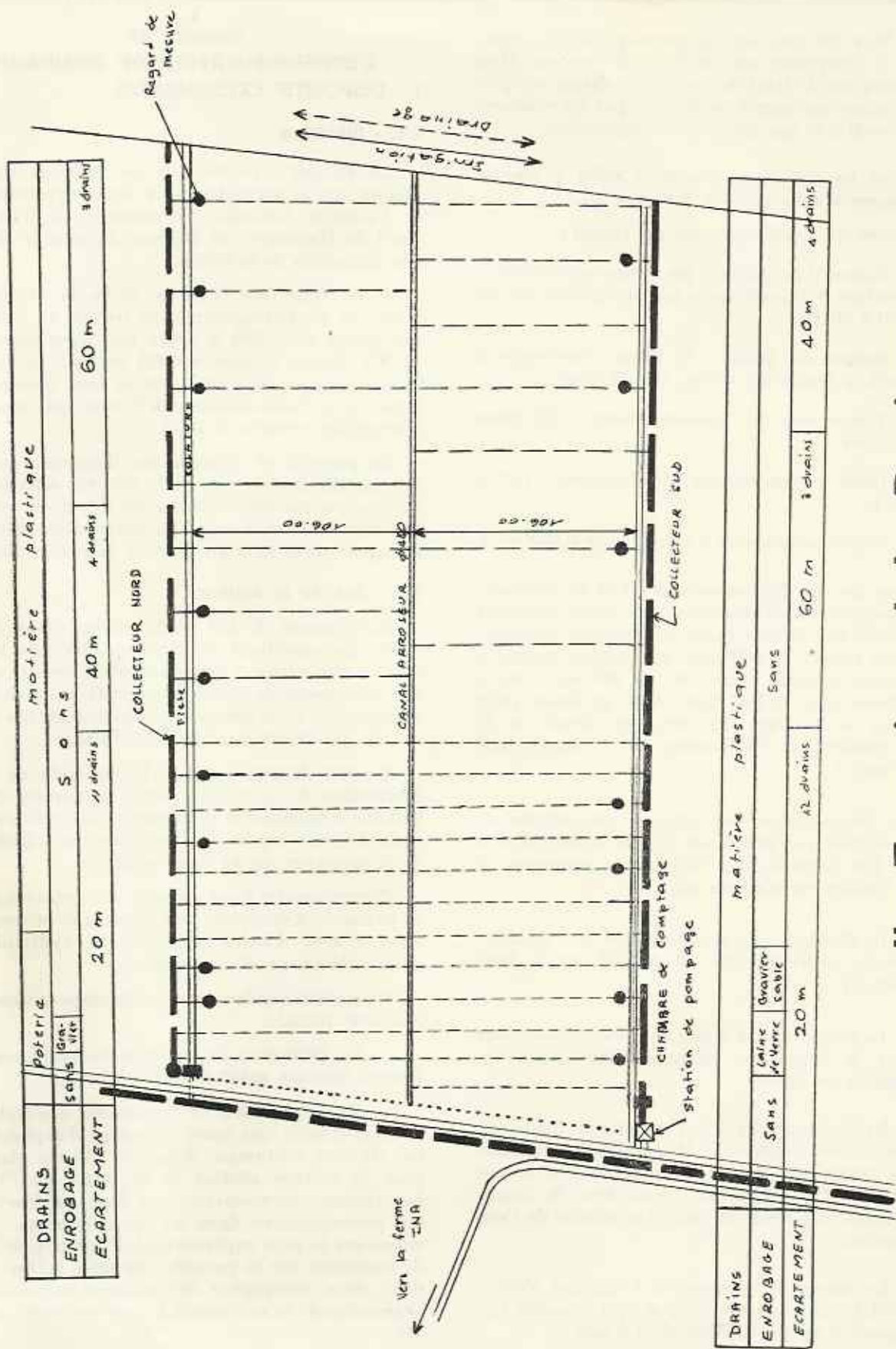
De plus dans le cadre de la recherche de zones d'extension de la canne à sucre, il paraissait souhaitable d'examiner le rendement d'une telle culture dans des sols lourds drainés ainsi que l'évolution de la structure du sol ainsi cultivé.

Pour répondre à cet objectif, un certain nombre de paramètres devraient être mesurés et interprétés. Ceux-ci sont d'ordre pédologiques, hydrauliques, physicochimiques et agronomiques.

Un certain nombre de considérations ont modifié l'objectif initial :

— La définition de corrélations entre ces différents facteurs paraît difficile a priori.

— Vu la situation de la parcelle il n'était pas possible d'avoir une unité autonome d'exploitation, les travaux culturaux devant s'intégrer dans le plan de culture général de la ferme de l'I.N.A. Les facteurs agronomiques ont donc été écartés de nos préoccupations dans un premier temps. Néanmoins sur le plan expérimental, il serait préférable de maintenir sur la parcelle une seule culture pendant deux campagnes de mesures successives à l'exception de la sole canne à sucre qui sera conservée.



DRAINS ENROBAGE ECARTEMENT	pierre		matière plastique			
	sans	Grav. blanc	S O N S		4 drains	60 m
	20 m		11 drains	40 m	4 drains	80 m

DRAINS ENROBAGE ECARTEMENT	sans		matière plastique			
	sans	Gravier blanc	SANS		8 drains	40 m
	20 m		12 drains	60 m	4 drains	80 m

# parcelle Experimentale Drainage

Dans un premier stade, les objectifs suivants sont définis :

— Adaptation d'une théorie de drainage pour ce type de sols.

— Proposition d'une meilleure approche des normes d'implantation et de dimensionnement des drains (efficacité du drainage avec trois écartements des sols).

— Bilan saisonnier et interannuel du sel sur la parcelle.

— Bilan saisonnier et interannuel de l'eau sur la parcelle.

## 2 - L'EQUIPEMENT

### 2.1. - Irrigation

L'équipement pour l'irrigation de la parcelle comprend un canal arroseur de 590 m. de longueur, constitué d'éléments semi-circulaires  $\varnothing$  400 mm. en béton armé portés sur support. Le canal est calé de manière que le plan d'eau domine le terrain de 30 à 40 cm.

L'arroseur est alimenté par un ouvrage de prise « tout ou rien » sur le réseau tertiaire d'irrigation de la ferme alimenté à partir d'une station de pompage dans l'oued Sebou.

Le passage de l'eau du canal sur le terrain s'effectue au moyen de tuyaux en polyéthylène (siphons).

### 2.2. - Aménagement du terrain

Le terrain est nivelé en pente de 2 ‰ de part et d'autre de l'arroseur sur une longueur de l'ordre de 110 m.

De chaque côté du canal arroseur qui constitue l'axe de la parcelle on trouve successivement dans le sens du ruissellement de l'eau (fig. 2) :

— La sole de culture de 106 m.

— La colature quaternaire, fossé de section triangulaire de 0,50 m. de profondeur. Emprise : 2,00 m.

— La piste en terre d'une largeur de 5 m.

— Le collecteur. Emprise: 7,00 m., profondeur: 300 mm.

### 2.3. - Le réseau de drainage souterrain

#### 2.3.1. Disposition d'ensemble (fig. 2)

Le sens du drainage est parallèle à celui de l'irrigation. Initialement les drains débouchaient directement dans les deux fossés la très mauvaise tenue des talus de ces fossés créait des envasements importants se traduisant par enfouissement des débouchés des drains. Pour pallier cet inconvénient, ces fossés ont été remplacés par des collecteurs souterrains  $\varnothing$  300 mm. en béton.

Un certain nombre de drains ont été sélectionnés et dotés de regards de mesure à l'amont de leur raccord avec le collecteur. Tous les drains sont raccordés aux collecteurs par des regards de jonction qui se prêtent également aux mesures (fig. 3).

Dans la sole « canne à sucre », on teste les matériaux constitutifs des drains ainsi que l'opportunité d'un matériau d'enrobage autour des drains. On dispose de :

— 2 drains en matière plastique avec enrobage de sable graveleux.

— 2 drains en matière plastique avec enrobage de laine de verre.

— 1 drain en terre cuite avec enrobage de sable graveleux.

— 2 drains en terre cuite sans enrobage.

L'écartement de ces drains est uniformément fixé à 20 m. en raison des doses d'irrigations élevées qu'exige la canne à sucre.

Dans les autres soles, on recherche l'écartement optimal des drains : 3 écartements de 20, 40 et 60 m. sont testés alors que les drains sont uniformément en matière plastique à fentes transversales sans enrobage.

Pour chaque sole on dispose de :

— 5 drains écartés de 20 m.

— 3 drains écartés de 40 m.

— 2 drains écartés de 60 m.

Les drains séparant des zones d'écartements différents, ainsi que ceux d'extrémités, n'entrent pas dans le processus d'expérimentation.

D'une manière générale, on observera que la station laisse la plus grande place aux drains en matière plastique alors que les drains en terre cuite sont minoritaires. Indépendamment des avantages techniques que possède le drain en plastique, dans la région du Gharb il y a une carence de fournisseurs de drains en terre cuite.

#### 2.3.2. - Caractéristiques des drains

Les drains en matière plastique sont formés de tubes emboîtables en PVC de diamètre intérieur 60 mm. De fines fentes traversent la paroi du tube à intervalles réguliers.

Le dimensionnement des drains est basé sur les données prévisionnelles suivantes :

— Débit moyen à évacuer sous irrigation : 2 mm./j., soit 20 m<sup>3</sup>/ha/j.

— Superficie maximale intéressée par un drain : 120 m.  $\times$  60 m. = 0,72 ha.

— Débit moyen à l'extrémité du drain à écartement 60 m. : 0,17 l/s.

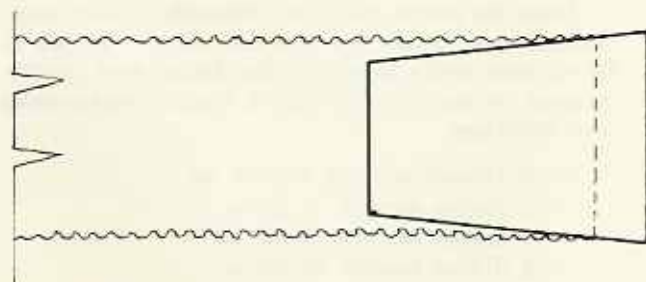
Un drain en matière plastique de diamètre 60 mm. à demi rempli, posé avec une pente de 1,5 ‰ permet d'évacuer un débit de 0,38 l/s.

Les drains en terre cuite sont constitués d'éléments circulaires de diamètre intérieur 60 ou 80 mm., de 33 cm. de long, posés bout à bout avec un intervalle maximal de 1 à 2 mm. entre deux éléments.

### 2.3.3. - Pose de drains

Tous les drains sont posés avec une pente de 1,5 ‰. La profondeur moyenne de pose est de 1,50 m.

L'extrémité amont des drains est munie d'un coude prolongé par un tube vertical débouchant en surface, au droit du canal arroseur ; cette disposition permet, le cas échéant, de déboucher le drain par simple injection d'eau (fig. 4).



- Pose sans enrobage : la plupart des drains.
- Pose avec enrobage laine de verre : disposé en manchon de 20 cm. de largeur et de 3-4 cm. d'épaisseur autour du drain. Ceci ne concerne que les drains 2 et 3.
- Pose avec enrobage sable graveleux disposé en couche de 20 cm. autour du drain. Concerne les drains 4, 5 et 36.

### 2.4. - Les collecteurs

Initialement la parcelle était ceinturée de fossés collecteurs où débouchaient les drains. L'envasement continu de ceux-ci et les difficultés d'entretien nous ont amenés à les remplacer par des collecteurs souterrains.

Caractéristiques du collecteur Nord :

- Longueur : 590 m.
- Pente : 0,7 ‰.
- Diamètre : 300 mm.

Caractéristiques du collecteur Sud :

- Longueur : 590 m.
- Pente : 1 ‰.
- Diamètre : 300 mm.

Le collecteur Sud débouche dans la chambre de comptage pour la mesure de son débit. Ce débit est ensuite déversé dans un bassin de réception en béton armé jouant le rôle de bache de pompage.

Le collecteur Nord se déverse directement dans le bassin de réception par l'intermédiaire d'une conduite souterraine en béton de diamètre 250 mm. et d'une longueur de 230 m.

Le dimensionnement des collecteurs est basé uniquement sur la profondeur minimale de débouché des drains souterrains. Les débits véhiculés par chaque collecteur sont en effet insignifiants.

### 2.5. - Les colatures

Les fossés d'assainissement de la plaine du Gharb desservant de petites superficies sont généralement dimensionnés pour des modules  $q = 2$  l./s./ha. Pour 6,5 ha, le débit à l'aval de chaque colature serait de 13 l/s.

La colature Sud est reliée directement au bassin récepteur : un ouvrage est prévu à son aval pour la mesure exacte de son débit.

La colature Nord rejoint directement le fossé collecteur de l'autre côté de la piste. Un ouvrage d'une capacité de 2 m<sup>3</sup> et un dispositif de fermeture et d'ouverture brusque permettent la mesure de son débit.

### 2.6. - La station de pompage

#### 2.6.1. - Justification

Le réseau général de collecteurs de drainage de la ferme de l'N.A. se jette dans l'oued Beht, dans lequel un ouvrage de décharge à clapet est déjà en place. Par ailleurs, le calage de ce réseau est conditionné par l'ouvrage de franchissement de la route n° 2 Rabat-Tanger, également en place.

En diminuant au maximum les pentes des collecteurs généraux il eut été possible de caler ces dernières au droit de la station expérimentale, à 1,80 m. de profondeur. Celle-ci est nettement insuffisante, les collecteurs de la parcelle ayant 2,60 m. de profondeur à leur extrémité.

Il a été donc nécessaire de prévoir un groupe moto-pompe pour le relevage des débits drainés. Le dispositif, d'un coût peu élevé, présente l'avantage de rendre la parcelle expérimentale totalement indépendante du réseau d'assainissement de la plaine, dont le niveau d'eau peut s'élever (exutoire engorgé, enherbage des fossés, etc...) sans conséquence pour la parcelle.

#### 2.6.2. - Dimensions de la station

Au cours de la saison d'hiver, on a vu que les colatures étaient susceptibles d'apporter un débit

fig 2. implantation des drains

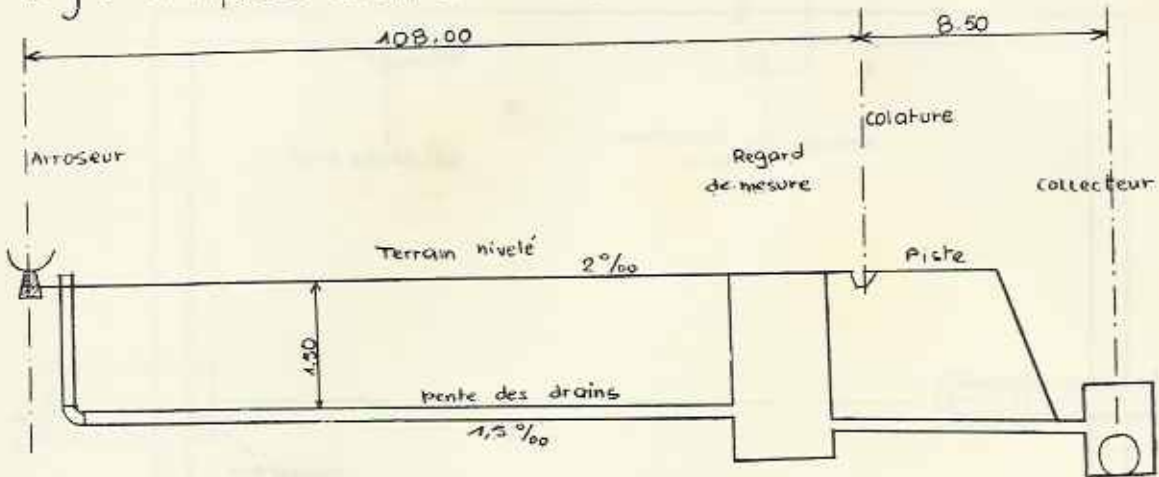
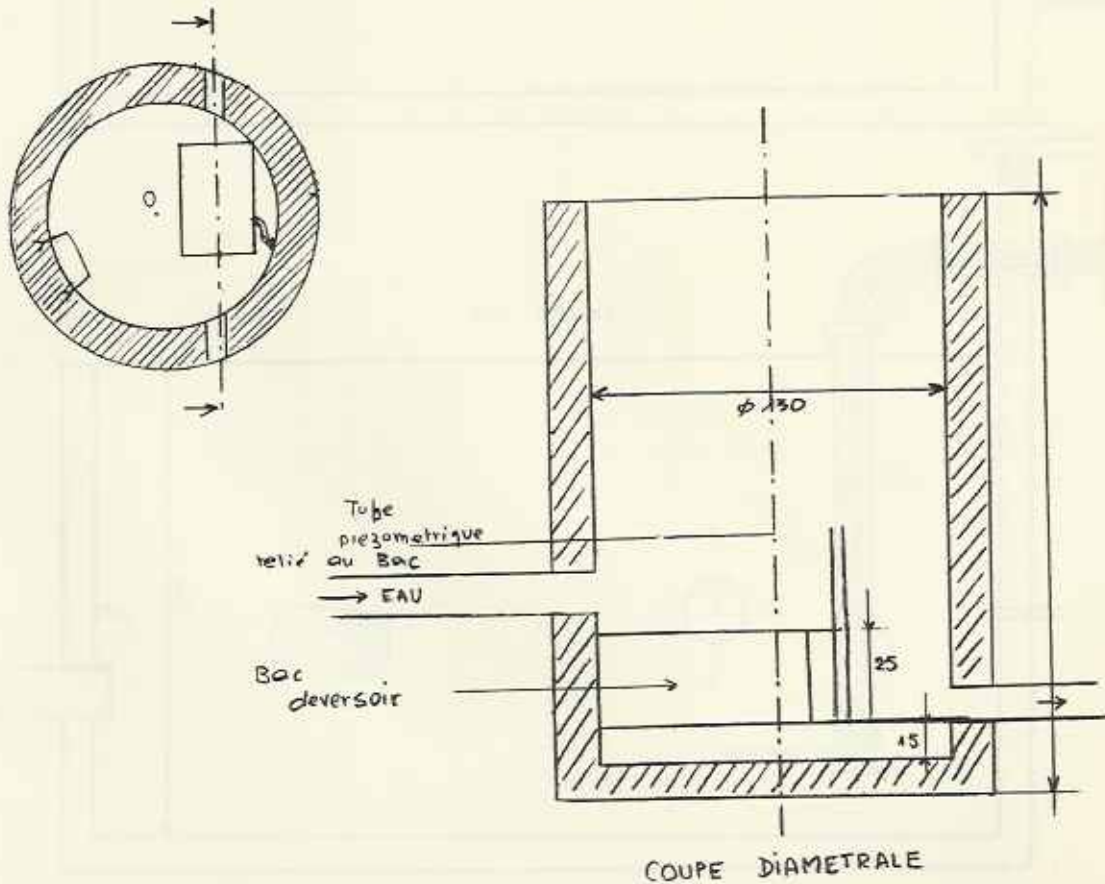
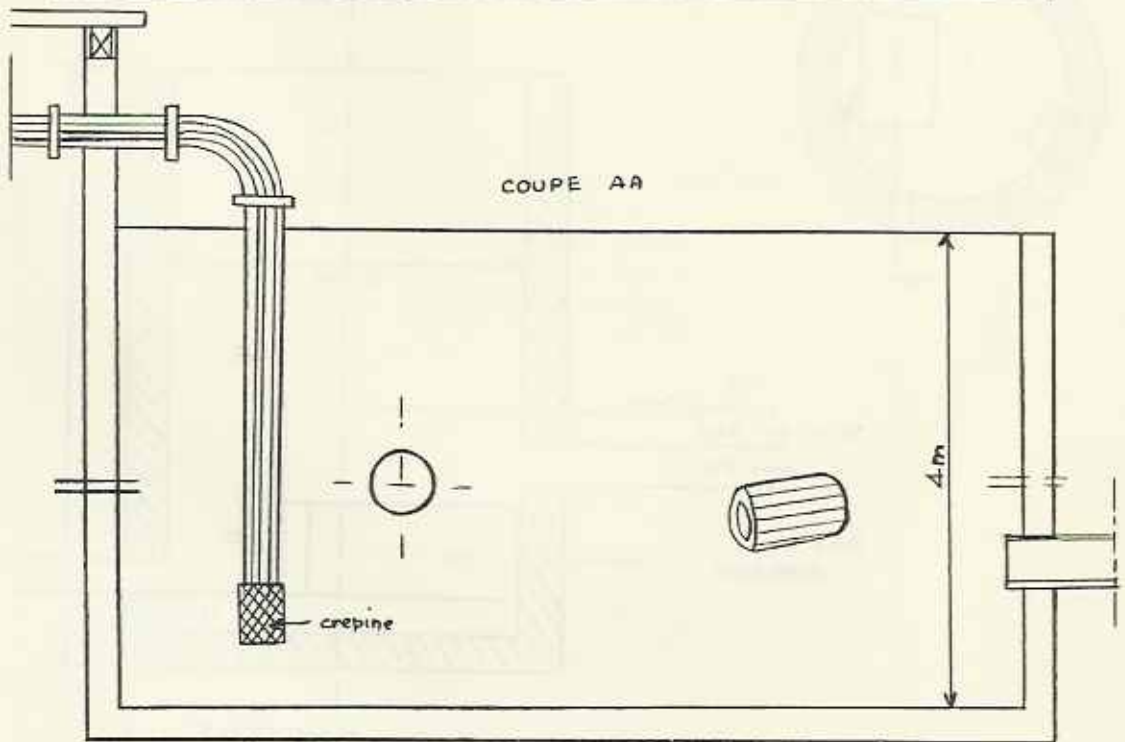
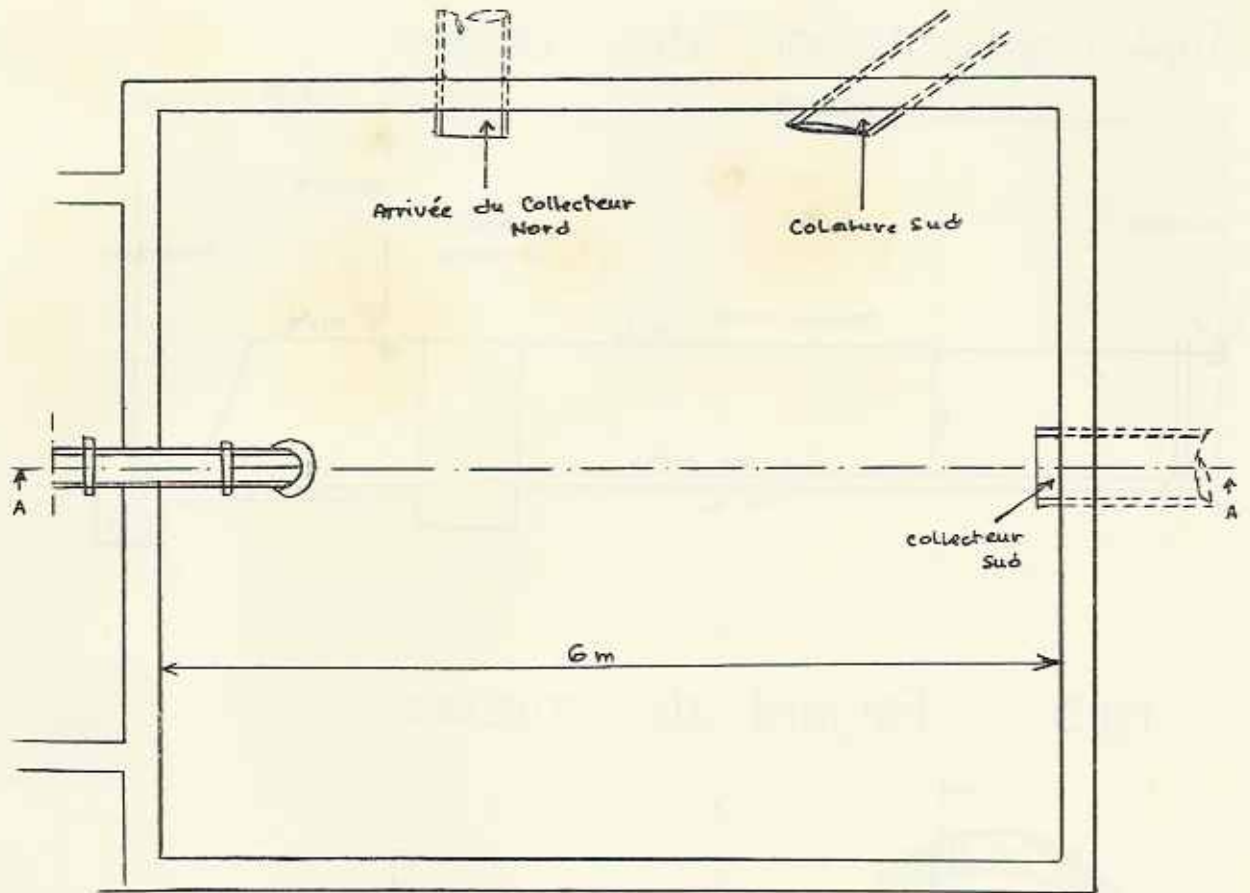


fig.3 Regard de mesure





Bache d'Aspiration

de l'ordre de 30 l/s. environ. Compte tenu de la capacité de stockage dans le bassin récepteur et du fait que celui-ci ne reçoit que les apports d'une seule colature (soit 15 l/s.), le débit adopté pour le groupe de pompage est de 30 l/s. ce qui est donc largement dimensionné.

La hauteur géométrique de refoulement varie de 2,30 à 4,15 m.

La bache de pompage est constituée par un bassin rectangulaire de  $3 \times 6$  m., d'une profondeur de 3,65 m. Le plafond du collecteur Sud débouche à 1 m. au-dessus du radier du bassin, ainsi que la canalisation en provenance du collecteur Nord.

Le groupe moto-pompe est monté sur un socle à 0,50 m. au-dessus du terrain naturel et abrité par un local de 2 m. sur 2 m. en agglomérés de ciment.

La conduite d'aspiration (diamètre 150 mm.) est ancrée verticalement dans la paroi du bassin bétonné ; la conduite de refoulement (diamètre 150 mm.) traverse le local à l'extrémité duquel est disposé un compteur d'eau, s'enterre pour passer sous une piste et débouche dans un fossé collecteur général de drainage.

### 2.6.3. - *Exploitation de la station*

Le montage d'un moteur électrique permet l'asservissement automatique de la marche de la pompe au niveau de l'eau dans la bache de pompage ; un simple contact à flotteur suffit.

Les relevés du compteur volumétrique se feront selon une fréquence à déterminer en fonction des autres mesures sur la parcelle expérimentale.

### 2.7. - *La chambre de comptage*

La chambre de comptage est équipée pour suivre les variations du débit en fonction du temps dans le collecteur Sud. Elle est munie d'un bac déversoir triangulaire, les variations de la charge sont enregistrées par limnigraphe.

Le volume total transité par le collecteur Sud est un paramètre intervenant dans le calcul du bilan total des eaux sur la parcelle. De plus l'allure de la courbe de tarissement du collecteur Sud bien que ne dominant pas une zone à écartement homogène peut donner des renseignements utiles.

## 3 - *PROCESSUS EXPERIMENTAL*

L'expérimentation étant à buts multiples, le nombre de caractéristiques hydrodynamiques, pédologiques et climatiques à mesurer et à suivre est important :

Les objectifs de l'expérimentation nécessitent les mesures suivantes :

### 3.1. - *Mesure des caractéristiques hydrodynamiques du sol*

#### 3.1.1. - *Mesure de la perméabilité*

Afin d'avoir une valeur aussi représentative que possible, et vu l'importance de ce paramètre en drainage, une prospection sera faite par différentes méthodes et à grande échelle. Des valeurs de perméabilité à différentes profondeurs seront également mesurées.

#### 3.1.2. - *Mesure de l'humidité*

La variation du profil hydrique avec le temps est d'un intérêt certain pour la mise en évidence de l'efficacité du drainage.

Nous devons avoir au moins pour chaque traitement (20, 40, 60 m.) cinq points de prélèvement et en chaque point, on prélèvera sept échantillons correspondant à sept profondeurs, les interventions se situeraient juste avant et après une irrigation, ou après une pluie. On aura ainsi à chaque intervention à prélever et à analyser :

5 répétitions  $\times$  7 couches  $\times$  3 traitements = 105 échantillons.

#### 3.1.3. - *Densité apparente :*

Celle-ci sera déterminée une fois pour toutes aux mêmes profondeurs que les prélèvements d'humidité.

### 3.2. - *Mesure des caractéristiques physico-chimiques*

#### 3.2.1. - *Salinité des sols*

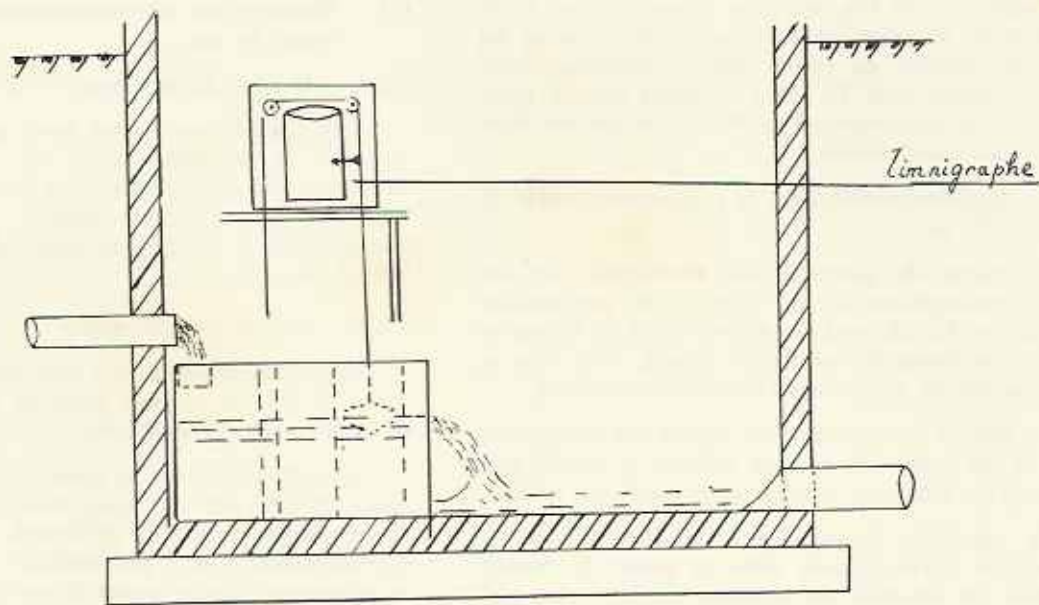
L'établissement du bilan des sels nécessite la connaissance des variations de salinité des sols de la parcelle et, partant, le calcul du stock de sels dans le sol aux différentes époques. C'est ainsi que l'on pourra déterminer l'efficacité du lessivage. Notons qu'on prélève à peu près 360 échantillons par an.

Le laboratoire d'analyse devra fournir en outre :

- CE de l'extrait de pâte saturée.
- Bilan ionique.
- pH de l'extrait de pâte saturée.

#### 3.2.2. - *Salinité des eaux*

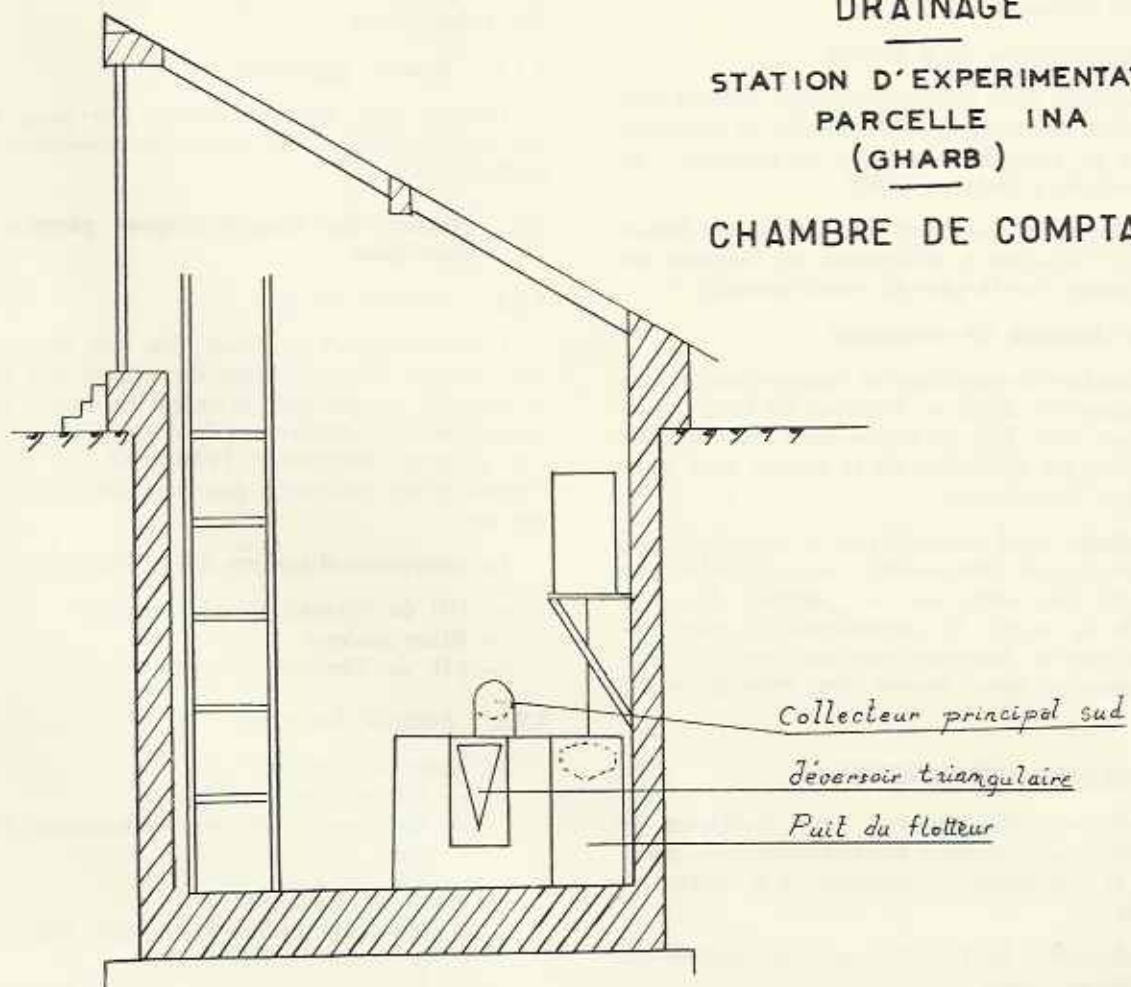
- Eaux d'irrigation :
  - CE une fois par jour.
  - Relation résidu sec-conductivité électrique.
- Eaux de drainage :
  - Plusieurs prélèvements par jour durant la période d'irrigation.
  - Un prélèvement par jour les autres mois.



**DRAINAGE**

STATION D'EXPERIMENTATION  
PARCELLE INA  
(GHARB)

**CHAMBRE DE COMPTAGE**



### 3.3. - Mesure des caractéristiques hydrauliques

#### 3.3.1. - Mesure des débits

##### 3.3.1.1. - Débit des drains.

Un certain nombre de drains (16) sont munis de regards de mesure. Ces regards sont équipés de bacs déversoirs triangulaires préalablement étalonnés.

Pour les autres drains éventuellement il est possible de faire des mesures de débits par empolement au niveau du regard de jonction avec le collecteur.

##### 3.3.1.2. - Débit des collecteurs.

A l'aval du collecteur Sud se trouve une chambre de comptage munie d'un déversoir triangulaire et d'un limnigraphe.

En ce qui concerne le collecteur Nord, aucun dispositif de mesure n'a été prévu pour le moment. Par contre le volume total écoulé pourrait être déduit du volume total pompé à partir du bassin récepteur.

##### 3.3.1.3. - Débit des colatures.

La colature Nord se déverse dans une capacité jaugée où des mesures de débit instantané pourraient être entreprises. L'eau de cette colature rejoint directement un fossé collecteur indépendant de la parcelle.

La colature Sud ne dispose d'aucun système de mesure, elle déverse directement dans le bassin récepteur.

##### 3.3.1.4. - Débit d'irrigation.

Le canal d'irrigation est calculé pour véhiculer un débit de 30 l/s. Le volume d'irrigation pourrait être calculé aisément par chronométrage du temps d'irrigation. Cependant des vérifications périodiques doivent être entreprises car il n'existe aucun système régulateur de ce débit.

#### 3.3.2. - Mesure du niveau de la nappe

Un important réseau de piézomètres doit être installé en divers points de la parcelle. Il répond à plusieurs objectifs :

— Etude et détermination de la résistance radiale autour des drains selon la forme des courbes de nappe obtenues. Ceci permettra de définir l'efficacité de l'enrobage pour les différents systèmes mis en place.

- Etude des valeurs de la transmissivité.
- Vitesse de rabattement de la nappe.
- Calcul de la porosité, etc...

#### 3.4. - Mesures des caractéristiques climatologiques

##### 3.4.1. - Pluviométrie

L'enregistrement continu de celle-ci sera donné un pluviographe.

##### 3.4.2. - Autres facteurs

Les autres facteurs tels que la température, l'évaporation, etc... seront pris sur les relevés de la station météorologique de la ferme.

### 4 - CONCLUSION

L'ensemble de ces renseignements permettra dans une large mesure de mettre au point pour les sols argileux vertiques du Gharb les modalités d'un drainage efficace.

Par ailleurs, il serait extrêmement utile de lancer des expérimentations du même type sur des sols à caractéristiques physiques différentes, en particulier sur certains des sols du centre de la plaine, les vertisols hydromorphes des merjas. Les prospections effectuées par le Projet Sebou ont en effet mis en évidence qu'une partie des sols de merjas, bien que présentant actuellement une salure forte et une nappe proche de la surface, possède un potentiel de drainage relativement bon. La maîtrise du lessivage et du drainage sur ces sols permettrait du même coup, l'intensification de la mise en valeur prévue.

TABLEAUX 21  
ASSOLEMENTS

1 - ROTATION QUADRIENNALE

ANNEE	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE	HIVER
1 - 1973 .....	—	—	Betterave	Betterave
2 - 1974 .....	Betterave	—	Céréale	Céréale
3 - 1975 .....	Céréale	Fourrage	Fourrage	Fourrage
4 - 1970 .....	Coton	Coton	Coton	—
5 - 1971 .....	Coton	Coton	Coton	Fourrage
6 - 1972 .....	Fourrage	Fourrage	—	—

2 - ROTATION QUINQUENNALE

ANNEE	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE	HIVER
1 - 1969 .....	—	—	Betterave	Betterave
2 - 1970 .....	Betterave	—	Céréale	Céréale
3 - 1971 .....	Céréale	—	Bersim	Bersim
4 - 1972 .....	Coton	Coton	Coton	Fourrage
5 - 1973 .....	Fourrage	—	—	—

3 - ROTATION CANNE A SUCRE

ANNEE	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE	HIVER
1 - 1970 .....	Canne		Canne	Canne
2 - 1971 .....	Canne	1 <sup>re</sup> coupe	Canne	Canne
3 - 1972 .....	Canne	2 <sup>e</sup> coupe	Canne	Canne
4 - 1973 .....	Canne	3 <sup>e</sup> coupe	Canne	Canne
5 - 1974 .....	Canne	4 <sup>e</sup> coupe	Bersim	—
6 - 1975 .....	Canne	Coton	—	—

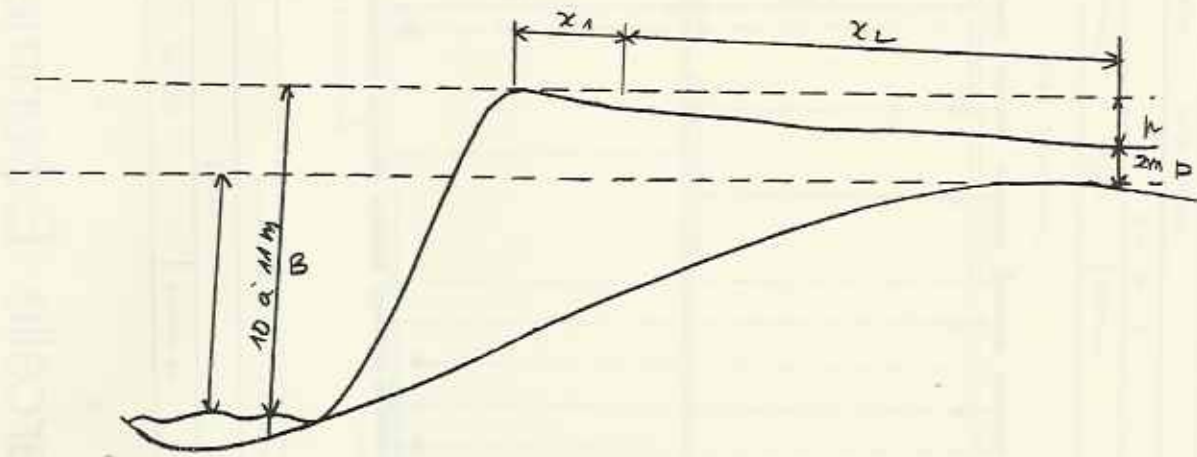
QUATRIEME PARTIE  
LES PROJETS DE DRAINAGE SOUTERRAIN

Chapitre XIII  
LES AVANT-PROJETS

1. - ZONES JUSTIFIABLES  
D'UN DRAINAGE SOUTERRAIN

Le bilan hydrique de la plaine montre que le drainage naturel est insignifiant excepté en bordure des oueds importants qui jouent le rôle de drains

naturels profonds. C'est ainsi que le plan d'eau moyen de l'oued Sebou est à 10 m. plus bas que la berge.



Le drainage s'effectuant à peu près continuellement (10-11 mois par an), 250 mm./an sont évacués, soit 0,8 mm./j. Ce potentiel est suffisant pour assurer le lessivage des sols à condition que les variations dans les apports saisonniers puissent être stockées dans le profil sans que la nappe atteigne un niveau dangereux pour les plantations. Dans les dess légers, des essais ont par ailleurs montré que la transmissivité est de l'ordre de 15 à 20 m<sup>2</sup>/j.

En admettant que la zone irriguée s'arrête à 50 m. de la berge et que la profondeur moyenne annuelle de la nappe sous le terrain est de 2 m. (fluctuation de +/- m.), on calcule la largeur de la zone drainée par l'oued au moyen de la formule de Ernst :

$$H = \frac{I}{KD} (X_1 X_2 + \frac{1}{2} X_2^2).$$

I = débit drainé, soit 0,0008 m./j.

KD = transmissivité = 20 m<sup>2</sup>/j.

X<sub>1</sub> = largeur de la zone non irriguée : 50 m.

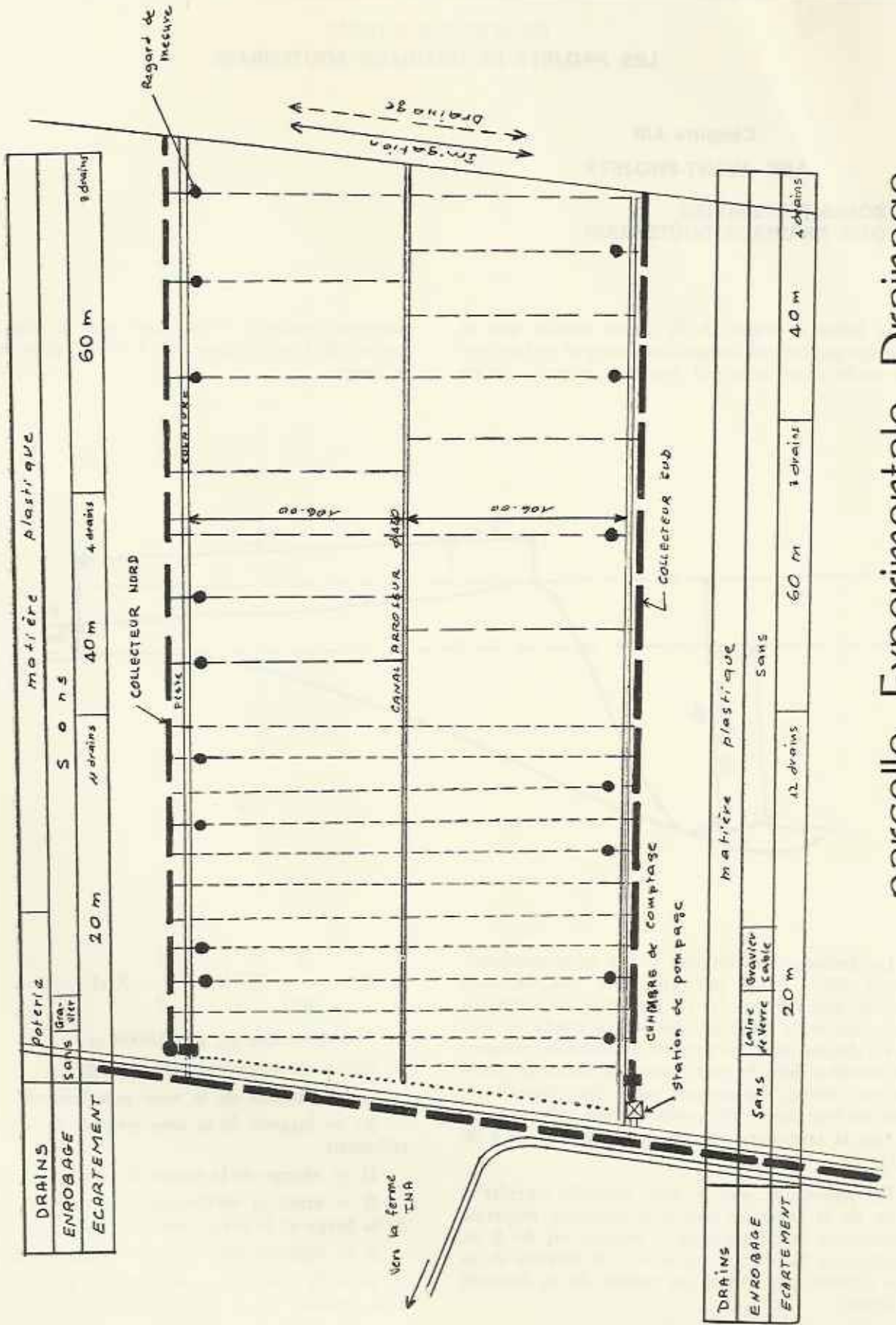
X<sub>2</sub> = largeur de la zone irriguée drainée naturellement.

H = charge de la nappe H = B - p - p.

B = étant la différence de cote entre le haut de la berge et le plan d'eau de l'oued.

p = étant la dénivelée sur la distance X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub>.

p = la profondeur de la nappe sous le terrain à la distance X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> (= 2 m.).



parcelle Experimentale Drainage

La zone naturellement drainée est large d'environ 500 à 650 m. de part et d'autre de l'oued. Celle drainée par l'oued Béht est de l'ordre de 300 m.

## 2. - ELABORATION DE LA TRAME

La trame de drainage doit s'insérer dans le canevas hydraulique. Elle influe sur l'emplacement des fossés secondaires d'assainissement et leurs caractéristiques de profondeur et pente. Le dimensionnement des blocs de culture lui est donc lié dans une certaine mesure.

Le réseau retenu est du type composé souterrain : les lignes de drains aspirateurs se raccordent, au moyen de regards, avec des collecteurs non drainants qui se jettent à leur tour dans les fossés secondaires d'assainissement. Le nombre d'exutoires du réseau souterrain dans celui à ciel ouvert est ainsi réduit au minimum. Ce dispositif est moins vulnérable aux inondations. Il est également moins coûteux qu'un réseau simple dans lequel les drains se jettent directement dans des fossés.

Les collecteurs de drainage sont parallèles aux canaux tertiaires d'irrigation donc dirigés dans le sens de la plus grande pente du terrain. Les drains aspirateurs sont parallèles aux axes des arroseurs d'irrigation. Leur raccord avec le collecteur se fait à angle droit ou un peu en biais selon la forme du bloc d'irrigation. Leur longueur ne dépasse pas 200-220 mètres sauf exceptions.

De ce fait, les collecteurs de drainage assainissent une zone d'environ 400 m. de largeur. Pour limiter le besoin en collecteurs de gros diamètres, on ne dépasse pas 60 ha comme superficie drainée par un collecteur.

L'emplacement des collecteurs de drainage sur la trame est étudié de telle manière que les drains aspirateurs qui s'y jettent soient le moins possible à contre pente du terrain nivelé tel qu'on peut l'imaginer d'après la disposition des soles. Dans le cas de relief marqué, cette précaution peut obliger à diminuer la largeur de la zone drainée sur l'un des côtés du collecteur de drainage, voire à supprimer totalement cette zone si son maintien laisse prévoir des drains en contre-pente forte (plus de 30 cm. sur 200 mètres) par rapport au terrain naturel après nivellement.

L'avant-métré des collecteurs de drainage est alors établi pour un réseau fonctionnant en charge. Pour ce faire, la pente des collecteurs est supposée égale à celle du terrain naturel relevée par interpolation des points cotés du plan au 1/5.000<sup>e</sup> ou au moins égale à 0,3 ‰. L'emploi d'abaques spéciaux facilite ce calcul.

L'avant-métré des drains aspirateurs est également fait en prenant l'hypothèse que leur pente est uniformément égale à 1 ‰. Pour un écoulement en charge on établit le tableau 22.

TABLEAU 22

Pour un écartement entre les lignes de drains en mètre	Longueur maximale possible en	
	∅ 58 mm.	∅ 58 + ∅ 77 mm.
30	325	650
40	245	490
50	195	390
60	165	325
80	120	245

Il est donc nécessaire d'avoir préalablement fixé les écartements entre les files de drains. Dans la mesure du possible, on se limite à un seul type d'écartement par bloc d'irrigation.

Lorsque la perméabilité du sol est plus faible que 0,1 m./j. l'écartement entre drains qui résulte du calcul est alors plus petit que 30 m. et le coût du réseau augmente dans des proportions considérables. On décide dans ce cas de fixer 30 m. comme limite inférieure d'écartement entre drains, considérant que :

— des sols très lourds et peu perméables ont montré, en d'autres pays, que leur perméabilité évolue en quelques années, une fois qu'ils sont drainés ;

— des résultats de mesure très faible ne sont pas nécessairement symptomatiques d'un sol indrainable (cf. chapitre XI, paragraphe 2.5) ;

— il est toujours possible, après une expérience de mise en culture de quelques années, d'intensifier le réseau de drainage en installant des drains intercalaires pour diminuer l'écartement.

Hormis ces cas, l'écartement adopté est celui qui résulte du calcul, arrondi à la dizaine la plus proche. Le calcul donne rarement des écartements supérieurs à 80 m. Lorsque cette éventualité se produit, on limite l'écartement à 80 m.

## Chapitre XIV

### LES PROJETS D'EXECUTION

#### 1. - COLLECTEURS

Une fois le projet graphique de remembrement réalisé, les dimensions des blocs de culture sont fixées. On définit alors les axes des collecteurs de drainage par les intersections qu'ils forment avec les bords des blocs. Au cours de cette opération, le nombre de collecteurs peut augmenter pour éviter d'avoir des largeurs drainées trop importantes.

L'opération suivante consiste à caler altimétriquement le collecteur. La pente minimale fixée est de 0,3 ‰ et on convient de ne pas donner plus de deux pentes à un collecteur, dans la mesure du possible.

Au droit de chaque débouché de drains dans le collecteur, on détermine la cote la plus basse (génératrice inférieure) des deux drains arrivant dans un même ouvrage de rejet sur collecteur.

On procède de même pour la plupart des autres débouchés de drains et la ligne de pente du collecteur est choisie de manière à ce que :

— tous les drains puissent y déboucher ;

— la profondeur du collecteur par rapport au terrain naturel reste la plus faible possible ;

— le débouché du collecteur (génératrice inférieure) dans le fossé soit à + 0,50 m. au-dessus du plafond du dit fossé (exceptionnellement + 0,30 m.).

Enfin la dernière opération consiste à calculer les caractéristiques de dimensions du collecteur ; pour chaque arrivée de drain, le débit maximum à transiter est déterminé en fonction de la surface assainie et du débit spécifique à drainer. En fonction de ce débit, on calcule pour plusieurs diamètres la perte de charge dans le tronçon aval ; la perte de charge cumulée doit rester inférieure à la charge totale disponible qui est égale à la dénivellée entre l'origine du collecteur et l'arrivée du drain considéré ; cette condition impose le choix du diamètre.

Les changements de diamètre du collecteur s'effectue au niveau de l'ouvrage de rejet des drains.

Cette méthode qui intègre les pertes de charge, permet d'optimiser le dimensionnement global du collecteur et de diminuer le coût d'investissement.

Le calcul manuel est assez lourd et peut être remplacé par l'emploi d'abaques.

Mais on utilise plutôt un programme pour calculatrice électronique.

Les projets d'exécution des collecteurs sont faits avant nivellement, soit d'après les profils en long du terrain naturel levé au 1/2.000<sup>e</sup>, soit d'après levé graphique par interpolation du plan coté au 1/2.000<sup>e</sup> quand celui-ci est disponible.

L'exécution ne modifie aucune des caractéristiques altimétriques mais peut décaler légèrement l'axe pour éviter de faire sauter les bornes du parcelleaire.

#### 2. - DRAINS ASPIRATEURS

Les drains aspirateurs sont parallèles aux arroseurs en terre et doivent en être distants de 5 mètres au minimum pour éviter des infiltrations directes. La distance d'un drain à une piste n'est également pas inférieure à 5 m. Le projet doit donc faire apparaître la position des arroseurs et situer les pistes sur les profils en long des collecteurs.

Le drain le plus à l'amont est positionné à environ un demi-écartement du bord du bloc ; les autres drains sont ensuite placés, ce qui nécessite un calcul trigonométrique simple lorsque le bloc n'est pas rectangulaire puisque la valeur de l'écartement entre files de drains est prise sur une perpendiculaire à ceux-ci. On vérifie que toutes les contraintes sont respectées.

Le calage altimétrique des drains aspirateurs respecte la profondeur moyenne de 150 cm., en veillant à ce que :

— la profondeur minimale ne descende pas en dessous de 140 cm. (exceptionnellement 120) ;

— la profondeur maximale ne dépasse pas 170 cm., profondeur de creusement du matériel de pose actuellement utilisé ;

— la pente soit unique de l'ordre de 1 ‰ ou plus, mais supérieure à 0,5 ‰.

Les profils en long d'exécution des drains sont établis immédiatement avant la pose, sur terrain nivelé.

Du fait de la pente choisie, le projet d'exécution des drains aspirateurs fait apparaître le linéaire maximum possible en  $\varnothing$  58 compte tenu de l'écartement. Par exemple pour l'écartement 60 m. un drain de 200 m. sera composé de 165 m. de  $\varnothing$  50 et de 35 m. de  $\varnothing$  77 si la pente est de 1 ‰.

### 3. - OUVRAGES

On a fait mention plus haut des ouvrages de débouchés des drains dans les collecteurs. Ces

ouvrages sont actuellement constitués de regards en amiante-ciment raccordés au réseau après la pose des collecteurs et des aspirateurs. Leur nombre est considérable : c'est pourquoi il est conseillé de ne pas l'accroître en adoptant des valeurs différentes d'écartement entre drains de part et d'autre d'un même collecteur.

Ces ouvrages sont destinés à l'entretien du réseau. Leur repérage est facilité par la pose, au moment de l'exécution, de plaques de béton armé de 40 × 40 à 50 cm. sous la surface du sol.

Cet ensemble d'ouvrage sur collecteur est complété par des regards de plus modestes dimensions qui sont placés sur le tracé de chaque drain aspirateur, à peu près en son milieu. Ce type de regard est destiné à permettre l'entretien des drains aspirateurs au moyen du système des rétro-jets.

Enfin les collecteurs débouchent dans les fossés secondaires d'assainissement au moyen d'ouvrages cimentés protégeant les talus. Ces collecteurs sont munis de clapets.

**CINQUIEME PARTIE**  
**EXECUTION DES RESEAUX**  
**DE DRAINAGE SOUTERRAIN**

**Chapitre XV**  
**LA PLANIFICATION DES TRAVAUX**

Le programme général d'équipement de la première tranche d'irrigation confié à l'O.R.M.V.A.G. s'étend sur 40.000 ha à équiper en huit ans entre

1971 et 1978, soit un rythme moyen annuel de 5.000 ha.

La succession logique et obligée des opérations d'équipement sur chaque secteur peut être réalisée de manière optimale ou, comme cela a été le cas sur une partie de la PTI, selon une procédure accélérée (tableau 23).

TABLEAU 23

	Année 1	2	3	4	5	6	7	8
Cadence optimale	Levé topo 1/2.000 <sup>e</sup>	Tri des sols	Canevas hydrauliques et début remembrement	Remembrement	Assainissement	Nivellement et drainage	Irrigation	Mise en eau
Cadence accélérée	Tri des sols canevas	Remembrement	Nivellement drainage assainissement irrigation	Mise en eau				

La cadence optimale se traduit en définitive par une augmentation des frais d'amortissement des équipements mais également par des améliorations de production des cultures en sec sur des terrains nivelés, assainis et drainés.

Par contre la cadence accélérée adoptée, qui se justifie par l'obligation de rentabiliser dès sa mise en eau le barrage Idriss 1<sup>er</sup>, entraîne une accumulation d'opérations sur une zone relativement réduite, nécessitant une coordination parfaite afin que les chantiers de diverses natures ne se gênent pas mutuellement.

A cet effet, il est apparu nécessaire de tenter de planifier les opérations au moyen de méthodes modernes puis, dans un second temps, de suivre les cadences réelles d'exécution de manière à contrôler l'avancement des travaux.

**1. - ETABLISSEMENT DES PLANNINGS**

Le processus d'établissement des plannings s'effectue selon la méthode PERT (Program Evaluation and Review Technique se traduisant librement par Technique d'Elaboration et de remise à jour des programmes) dont les 3 phases sont les suivantes :

*i. Structure de décomposition.*

Définition des objectifs principaux partiels et sous-objectifs, recherche des activités nécessaires et mise en évidence des contraintes.

*ii. Traduction de la structure de décomposition en un réseau PERT coordonné,* l'abscisse étant utilisée pour traduire le déroulement logique des activités hors d'une trame de temps, l'ordonnée définissant les points d'application des activités.

C'est à ce stade que l'on calcule le réseau, c'est-à-dire que l'on définit les délais les plus courts et les plus longs pour atteindre une étape, et que l'on met en évidence le chemin critique de l'opération, succession d'opérations sans marge de manœuvre reliant la première étape du réseau à la dernière.

*iii. Transcription du réseau PERT dans une trame de temps* pour obtenir un planning d'exécution opérationnel.

La plupart des travaux d'équipement hydro-agricole du secteur P11, 1<sup>er</sup> secteur de 3.000 ha mis en eau au printemps 1972, a été planifiée selon le processus résumé ci-dessus, si bien que l'on dis-

posait en début de campagne d'un tableau de bord de l'ensemble des travaux.

## 2. - CONTROLE D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

### i. Principe du contrôle.

Le principe du contrôle d'avancement des opérations est relativement simple : il consiste à reporter à intervalle régulier sur le planning d'exécution le pourcentage d'avancement de chaque opération et de relier les points ainsi définis en faisant ressortir leurs écarts plus ou moins importants par rapport à la verticale figurant la date du contrôle. On obtient de cette façon un planning renseigné.

Si la ligne d'avancement est confondue avec la verticale de référence, la réalisation est conforme aux prévisions. Généralement, cette ligne est plutôt brisée, avec dépassement vers la gauche en cas de retard, vers la droite en cas d'avance.

### i.i. Processus pratique.

D'une manière générale, le processus de contrôle d'avancement des travaux comprend trois phases essentielles :

- rassemblement des informations ;
- exploitation et renseignement des plannings ;
- examen des conséquences des dérogations aux plannings.

Après avoir renseigné les plannings détaillés de chaque opération, on établit un document de synthèse sur lequel figure la trame des avancements prévisionnels en pourcentage et l'état d'avancement à une date donnée.

A partir de ces documents, le bureau de planification et la Direction des Travaux sont à même de suivre de près les activités des entreprises en décélant leur tendance à rattraper ou accentuer les retards ou avances sur les délais fixés.

## Chapitre XVI

### CARACTERISTIQUES DES FOURNITURES

Trois types de matériaux essentiellement sont utilisés dans les éléments qui composent le réseau de drainage :

1) Le PVC sert à la fabrication : des drains aspirateurs annelés et lisses, des collecteurs de diamètre inférieur à 10 cm., des éléments de raccordement entre drains, des ouvrages d'entretien sur drains et des bouchons amont de drains.

2) Le ciment est à la base des productions de buses en béton vibré pour les collecteurs souter-

rains. On l'emploie également pour la construction d'ouvrages de débouchés des collecteurs dans les fossés d'assainissement secondaire.

3) L'amiante-ciment est utilisé dans la fabrication des ouvrages de raccordement drains-collecteurs (qui servent également d'ouvrages d'entretien sur collecteurs).

D'autres matériaux accessoires sont employés. Ainsi les fils de nylon installés dans les collecteurs entre deux ouvrages en amiante-ciment ; ces fils de nylon sont prévus pour l'entretien des collecteurs. Ainsi également les feuilles de polyéthylène placées à cheval sur deux éléments contigus des collecteurs et empêchant la terre de pénétrer au niveau de la jonction de deux buses.

Les caractéristiques des matériaux différencient les données relatives au matériau brut de celles relatives au produit fini.

### 1. - LES MATIERES PREMIERES

#### 1.1. - Le P.V.C.

Le matériau utilisé ne doit pas être un mélange de matières plastiques. Il ne doit subir aucune altération par suite de stockage en plein air pendant la saison chaude. Il a néanmoins été observé une diminution sérieuse de la résistance au choc des produits finis après stockage au soleil pendant plusieurs semaines. Des précautions sont donc prises désormais pour stocker sous des hangars ou sous des bâches.

#### 1.2. - Le béton

Servant à la fabrication des éléments de collecteurs, il doit être résistant à l'action corrosive des eaux souterraines.

Les eaux de drainage peuvent en effet avoir des actions néfastes sur le béton : les sulfates réagissant avec l'aluminat tricalcique du ciment pour produire, en présence de chaux, du sulfo-aluminat de chaux expansif ce qui provoque la dislocation de la structure du béton.

■ Les eaux salines, chlorurées en particulier, provoquent la corrosion des armatures en acier du béton.

■ Des alternances de dessiccation et de réhumidification, ainsi que la remontée capillaire peuvent amener les sels de la solution du sol à se concentrer et à cristalliser dans les lacunes du béton ; en particulier la cristallisation avec augmentation de volume des sulfates peut provoquer des désagrégations.

L'eau est considérée agressive à l'égard du béton courant de ciment Portland ordinaire lorsque sa

teneur en  $\text{SO}_4$  est supérieure à 150 mg./l. et son pH inférieur à 6.

Des analyses d'eau de la nappe effectuées dans la PTI sur environ 35 stations montrent des teneurs en sulfates comprises entre 500 et 4.300 mg./l., la médiane des résultats est de 2.400 mg./l., la moyenne 2.250. Il convient toutefois de souligner que ces chiffres concernent les zones les plus basses des secteurs S5, S7, S9, S13, P7, P8. Ce sont donc des maxima et les eaux de drainage seront certainement moins chargées. En tout état de cause, il a semblé prudent de recommander, au moins pour les collecteurs installés dans les secteurs aval de la PTI, un ciment Portland à teneur en aluminates tricalciques inférieure à 5 % dont la résistance aux agents corrosifs permet de tolérer des teneurs en sulfate de 1 à 2 g./l.

Le problème de l'altération du béton est, du reste, conditionné principalement par sa perméabilité. Dans un environnement agressif une perméabilité de l'ordre de  $10^{-8}$  cm./seconde serait une bonne garantie de résistance. Les normes demandées sont moins sévères (voir plus loin). On a toutefois pu constater que des buses en béton drainant une parcelle de « tirs » assez salin dans la région de Sidi-Slimane ne montraient aucune corrosion visible après douze ans.

Le béton servant à la fabrication des collecteurs dose 400 kg. de ciment par m<sup>3</sup> de béton et ne doit comprendre que des agrégats dont la dimension soit inférieure à 40 % de l'épaisseur de la buse.

## 2. - LES MATERIAUX FINIS

### 2.1. - Drains et collecteurs lisses en P.V.C.

La longueur des éléments est de 6 m. ; elle permet une pose mécanisée. En principe, les éléments

sont parfaitement rectilignes mais en réalité, lors du stockage, ils adoptent rapidement une légère courbure en raison de tensions internes dans le matériau et de petites inégalités dans l'épaisseur des parois. Celles-ci font en principe 1,5 mm. Le diamètre intérieur est absolument constant et égal à 78, quelquefois 96 mm.

Dans le cas des drains, la paroi est percée de fines fentes longitudinales réparties régulièrement sur la circonférence du drain sur quatre lignes de manière qu'une coupe transversale effectuée en un endroit quelconque ne rencontre pas plus de deux fentes. La longueur de ces fentes est de 25 mm., leur largeur 1 mm.

### 2.2. - Drains annelés en PVC

L'épaisseur des parois est de l'ordre de 0,6 mm. ; le diamètre nominal est constant et égal à 58 mm., le rapport diamètre intérieur sur épaisseur des anneaux est de 20, à 15 % près.

Des trous, dont la surface totale par mètre linéaire, est de 25 cm<sup>2</sup>, sont percés au fond des gorges, régulièrement réparties tout autour du drain. La longueur de ces trous est d'environ 4 mm. et leur largeur comprise entre 1,0 et 1,2 mm.

Les drains sont fournis en rouleaux de 150 m. de longueur.

### 2.3. - Collecteurs en béton

Les éléments de collecteurs de drainage sont des buses de un mètre de longueur.

Les caractéristiques dimensionnelles sont les suivantes (tableau 24) :

TABLEAU 24

Diamètre intérieur en mm.	Epaisseur en mm.	Diamètre extérieur en mm.	Poids par élément
100	25	150	21,7
150	28	206	34,5
200	30	260	47,8
250	32	320	62,0
300	34	380	69,0
400	36	472	

La tolérance sur le diamètre nominal est de  $\pm 3$  mm.

L'ovalisation ne doit pas dépasser 5 mm. aux extrémités.

Ces buses sont fabriquées mécaniquement et sont cylindriques avec collet d'emboîtement mi-épaisseur. Le refroidissement est lent et accompagné comme normal, d'un arrosage abondant. Les collecteurs ne sont normalement livrés au chantier que 15 jours au minimum après leur fabrication.

Les collecteurs n'ont qu'un rôle de transit des eaux de drainage. Les collecteurs drainants en buses de béton poreux n'ont pas été retenus en raison de l'agressivité des eaux qui risqueraient de les détériorer rapidement.

### 3. - CONTROLES DE QUALITE DES FOURNITURES

Les drains et les collecteurs font systématiquement l'objet de contrôles de fabrication sévères. Les normes à satisfaire définies dans les marchés sont les suivantes :

#### 3.1. - Normes de fabrication des collecteurs en béton

##### 3.1.1. - Test de comportement à l'immersion (porosité)

Après 12 heures d'immersion dans l'eau, les buses ne doivent plus en absorber et leur augmentation de poids doit être au plus de 10 %.

Les essais sont très satisfaisants et indiquent une porosité moyenne de 2,17 % (médiane 2,14) avec un écart-type de 1,33.

##### 3.1.2. - Test de résistance au sulfate de sodium

Les buses doivent pouvoir supporter, sans se briser, un bain de 10 minutes dans une solution à 2 pour 1 de sulfate de sodium en ébullition, suivi d'une exposition pendant 48 heures en atmosphère saturée. Les buses fabriquées ont satisfait à ce test.

##### 3.1.3. - Test d'imperméabilité

Les tuyaux sont placés verticalement sur une aire plane le joint inférieur étant rendu étanche. Les tuyaux sont remplis d'eau et complétés chaque jour (température constante 15-20°). Après huit jours, la perte d'eau doit être inférieure à 2 cm./24 heures.

Les résultats font état d'une perméabilité moyenne de 0,74 cm./24 heures (médiane 0,8) avec un écart-type de 0,3.

#### 3.1.4. - Essai de résistance à l'écrasement

Les tuyaux sont posés horizontalement sur un appui constitué de deux règles en bois parallèles dont l'écartement est égal au 1/12 diamètre extérieur du tuyau testé avec un minimum de 25 mm. La charge d'essai est appliquée uniquement le long de la génératrice opposée à l'appui au moyen d'une poutre de charge à face inférieure plane garnie d'une bande de matière molle (caoutchouc) de 2 cm. d'épaisseur pour compenser les irrégularités.

La charge d'essai doit croître progressivement à raison de 1.000 kg. par minute et par mètre de longueur. Elle restera appliquée pendant cinq minutes. La résistance  $R = \frac{\text{charge}}{\text{longueur}}$  exprimée en kg./ml. doit atteindre 2.000 au minimum.

La résistance des buses fabriquées est très supérieure à la norme demandée puisque R moyen égale 3.643 (médiane 3.520) avec un écart-type de 812.

#### 3.2. - Normes de fabrication des drains en PVC Les essais comportent :

##### 3.2.1. - Test de résistance au choc

Un échantillon de 200 mm. de longueur est immergé pendant 30 minutes dans l'eau glacée, puis soumis à la chute, d'une hauteur de 750 mm. d'un marteau en acier de 400 grammes. L'arête de percussion du marteau a un rayon de courbure de 3,5 mm., une longueur de 50 mm. et est orientée perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'échantillon. Le support de celui-ci est un dièdre en bois de 120° d'ouverture.

##### 3.2.2. - Test de résistance à la flexion :

Après immersion dans l'eau glacée durant trente minutes, un échantillon de drain de trois mètres de longueur est soumis à une flexion de 1,75 m. de rayon de courbure au moyen d'une corde de chanvre de 10 à 15 mm. de diamètre.

##### 3.2.3. - Test de résistance à l'écrasement

Un échantillon de 200 mm. de longueur est posée sur un dièdre en bois dur de 120° d'ouverture puis chargé sur toute sa longueur à raison de 1 kgf./cm. Après 20 jours, l'aplatissement de l'échantillon, charge enlevée ne doit pas dépasser 20 % du diamètre initial.

##### 3.2.4. - Essai de tension interne (réalisé seulement sur les drains en PVC lisse)

Sur un échantillon de 300 mm. de longueur, on définit deux directrices distantes de 100 mm. et situées à égale distance des extrémités.

La distance entre les deux directrices et la longueur de leurs circonférences sont mesurées à  $20^\circ \pm 2^\circ$  avant puis après passage de l'échantillon pendant 15 mn. dans un bain de glycérine à  $140^\circ$ .

Entre les deux mesures, la distance entre les deux directrices ne doit pas varier de plus de 5 % et la longueur des circonférences de plus de 1 %. Après l'essai, l'aspect du tube doit être semblable à son aspect initial.

### 3.2.5. - Résultats des contrôles

Les drains annelés subissent toujours avec succès les tests 322 et 323. Pour les essais de résistance au choc, les résultats négatifs sont de l'ordre de 1 % (sur 3.600 essais).

Les drains lisses satisfont aux tests 321 et 322. Les résultats du test 325 donnent un écrasement moyen de 16,6 % avec un écart-type de 1,24. Quant au test de tension interne, il indique un retrait longitudinal moyen de 4 % (écart-type 0,54) et un retrait circulaire moyen de 0,63 % (écart-type 0,14).

## Chapitre XVII

### OPERATIONS DE POSE

L'ampleur des chantiers de drainage et les temps limités pendant lesquels les travaux peuvent être exécutés imposent une définition très précise des tâches. On notera que le programme 1972-73 comportait la mise en place de 160 km. de collecteurs et de 850 km. de drains aspirateurs.

#### 1. - CHRONOLOGIE DES OPERATIONS

Les travaux comportent les opérations suivantes :

1. Implantation, piquetage et lever des axes de collecteurs et établissement des profils en long d'exécution.

2. Implantation, piquetage, lever et établissement des profils en long d'exécution des drains aspirateurs.

3. Approvisionnement sur le chantier des éléments des collecteurs, des drains aspirateurs et des ouvrages préfabriqués.

4. Ouvertures des tranchées, pose des collecteurs et drains, remblayage des tranchées.

#### 2. - DETAIL DES OPERATIONS

##### 2.0. - Documents préalables

Avant le démarrage des travaux et au fur et à mesure des besoins, le maître d'œuvre fournit à l'entreprise les documents qui lui sont nécessaires à savoir :

— Plan au  $1/5.000^e$  du découpage des blocs d'irrigation après remembrement avec position exacte des arroseurs.

— Plan au  $1/20.000^e$  des repères de nivellement de chacun des secteurs.

— Liste des blocs à assolement semi-intensif et à assolements intensifs.

— Projet d'exécution des fossés d'assainissement secondaire (dans lesquels débouchent les collecteurs de drainage).

— Projet détaillé des collecteurs de drainage.

— Points de détail d'implantation des blocs en x, y, z au  $1/500^e$ .

— Les profils en travers des arroseurs d'irrigation et colatures d'assainissement.

##### 2.1. - Implantation, piquetage et lever des axes des collecteurs

###### 2.1.1. - Implantation de l'axe des collecteurs

Le projet de drainage remis à l'entreprise comporte :

— Plan à l'échelle du  $1/5.000^e$  sur lequel sont figurés tous les éléments nécessaires à l'implantation des collecteurs (bornes de blocs, repères de nivellement).

— Profils en long des collecteurs avec indications :

■ Des cotes du terrain naturel avant nivellement.

■ Des cotes de la génératrice intérieure inférieure des collecteurs.

■ Des longueurs de sections de différents diamètres des collecteurs ainsi que des sections de pentes différentes.

■ Des distances de points de jonction drains, aspirateurs, collecteurs, à une origine déterminée (en général bord du bloc dans le prolongement amont du collecteur).

— Points de détail.

A partir de tous ces éléments, l'entreprise plante l'axe des collecteurs sur le terrain en le matérialisant par des piquets à l'origine et à l'extrémité des collecteurs de même qu'aux points de jonction des collecteurs avec les drains.

###### 2.1.2. - Levé et report du profil en long d'exécution

Les piquets matérialisant les axes des collecteurs sont alors levés planimétriquement et altimétriquement ainsi que la cote du plafond du canal d'assainissement servant d'exutoire.

A partir de ces données (pentes, diamètres), l'entreprise établit le profil en long d'exécution des collecteurs, à l'échelle du  $1/2.000^e$  pour la longueur et  $1/100^e$  pour la hauteur ; sur ce profil sont notamment mentionnés :

a - Les cotes du terrain naturel (sites des piquets d'implantation de l'axe).

b - Les cotes de la génératrice supérieure extérieure du collecteur (ligne rouge).

c - Les cotes du fond de la tranchée.

d - Les distances des points de jonction drains-collecteurs à partir de l'origine du collecteur.

## 2.2. - Implantation, piquetage et lever des axes des drains aspirateurs

### 2.2.1. - Implantation de l'axe des drains aspirateurs

Sur le plan au 1/5.000<sup>e</sup> mentionné au 2.1.1. figurent les emplacements approximatifs des drains par rapport au collecteur : le sens de leur pente (donc de leur écoulement) est précisé.

Sur les profils en long des collecteurs remis à l'entreprise (mentionnés au 2.1.1.) figurent les emplacements précis de débouché des drains aspirateurs dans les collecteurs.

Il est rappelé que les drains aspirateurs sont parallèles aux arroseurs d'irrigation. Ils ne doivent en aucun cas faire de biais avec ceux-ci. Par rapport aux documents remis à l'entreprise, l'axe des drains aspirateurs pourra être légèrement décalé de manière à se situer à une distance égale ou supérieure à 5 mètres à une piste ou un arroseur. Il appartient à l'entreprise de vérifier que cette norme est respectée et, si ce n'est pas le cas, de modifier en conséquence le profil en long d'exécution des collecteurs (alinéa e et éventuellement d).

L'entreprise matérialise les axes des aspirateurs par deux piquets décalés de trois mètres par rap-

port à cet axe : le premier situé à l'amont, à 3 mètres de l'axe de la colature tertiaire, le second à l'aval, à 3 m. de l'axe du collecteur de drainage. Ces piquets, enfoncés jusqu'au niveau du terrain naturel, sont rattachés au niveau général du Maroc.

Des points supplémentaires de lever sont mis sur l'axe de l'aspirateur aux endroits caractéristiques du modelé du terrain. En tout état de cause, la distance maximum entre deux de ces points est de 20 mètres.

### 2.2.2. - Levé du profil en long et projet d'exécution

A partir des deux piquets nivelés, l'entreprise lève le profil en long du terrain naturel le long de l'axe du drain aspirateur, et, sur la base de ce profil en long dessiné sur calque, établit le projet d'exécution du drain aspirateur selon les critères suivants :

- Une seule pente sur toute la longueur.
- Pente minimale 0,5 ‰.
- Profondeur minimale 120 cm.
- Profondeur maximale 170 cm.
- Profondeur moyenne 150 cm.

Pente et profondeur du drain doivent bien entendu tenir compte de la profondeur du collecteur au droit du débouché du drain aspirateur, ainsi que des caractéristiques dimensionnelles de l'ouvrage de raccordement collecteur-aspirateur.

Le dimensionnement du drain aspirateur est projeté en prenant les critères suivants (tableau 24) :

TABLEAU 24

Pente en ‰	Longueur maximum du drain en Ø int. 6 cm. lorsque l'écartement entre les drains est de :				
	30 m.	40 m.	50 m.	60 m.	80 m.
≤ 1	325	245	200	165	120
1,1	335	250	200	170	125
1,2	350	260	210	175	130
1,3	370	275	230	180	140
1,4	380	290	220	190	145
1,5	390	295	235	195	150
1,6	410	305	245	205	155
1,7	415	310	250	210	160
1,8	435	325	260	215	165
1,9	440	330	265	220	165
2,0	460	345	275	230	170
2,1	465	350	280	240	175
2,2	480	360	290		180
2,3	490	370	295	245	195
2,4	500	375	300	250	185
> 2,5	510	380	305	255	190

Si la longueur d'un drain dépasse le maximum autorisé dans le tableau ci-dessus, le complément de longueur est projeté en  $\varnothing$  8 cm.

Les normes précédentes sont valables pour les blocs d'irrigation à assolement intensif. Dans le cas des blocs d'irrigation à assolement semi-intensif, on projette les drains en  $\varnothing$  6 cm. pour tous les types de pente et d'écartement.

Le profil en long d'exécution des drains aspirateurs établi par l'entreprise à l'échelle de 1/1.000<sup>e</sup> pour les longueurs et 1/100<sup>e</sup> pour les hauteurs doit notamment faire apparaître :

— Le profil en long du terrain après nivellement (un point tous les 20 m. au maximum aux endroits caractéristiques).

— La pente adoptée pour le drain.

— Les cotes de la génératrice supérieure extérieure du drain (ligne rouge).

— Les longueurs des sections de différents diamètres du drain.

### 2.3. - Pose des collecteurs

Les collecteurs sont à poser en premier, les drains aspirateurs sont posés dans une 2<sup>e</sup> phase. Une inversion dans l'ordre de ces opérations est toutefois tolérée si elle n'a pas de conséquences sur la bonne marche du chantier. L'entreprise creuse une tranchée dont la largeur est supérieure de 10 cm. au diamètre extérieur du collecteur à poser, mais en tout état de cause, non inférieure à 40 cm. La profondeur et la pente du fond de fouille doivent être conformes au profil en long d'exécution qui est remis à l'entreprise « Bon pour exécution ».

La profondeur de ces tranchées est généralement comprise entre 1,70 m. et 2,30 m. Elle peut exceptionnellement atteindre 3,00 m. Les terrassements sont exécutés mécaniquement.

La pose des éléments est faite suivant les règles de l'art. Ces éléments doivent être bien emboîtés et bien alignés en respectant les indications données au projet, emboîtement mâle tourné vers l'aval.

Il est obligatoire d'effectuer l'ouverture de la tranchée et la pose du collecteur de l'aval vers l'amont, l'ouvrage de débouché ayant été préalablement fait entièrement.

Les collecteurs doivent être posés dans la tranchée immédiatement après le creusement. Les machines de pose peuvent être équipées de manière à respecter les indications figurant au profil en long d'exécution. Les tolérances de cotes précisées ci-après doivent être respectées.

Entre deux points de contrôle distants de 20 mètres :

— Il n'est toléré aucune contre-pente.

— La différence entre la cote projet et la cote réalisée sera au maximum de 2 cm. sous réserve du respect de la clause précédente.

Il n'est pas admis de décalage dans l'alignement horizontal.

Les éléments des collecteurs en béton sont rejointoyés par une feuille de polyéthylène de 30 cm. de large, 4/10<sup>e</sup> de mm. d'épaisseur, recouvrant le joint sur la plus grande partie de la circonférence extérieure. La pose de cette feuille a pour but d'empêcher la terre de pénétrer dans le collecteur au niveau des embouts.

Après la pose des collecteurs et de leurs ouvrages, l'entreprise est tenue d'attendre l'approbation du maître d'œuvre avant de procéder au remblayage de la tranchée. Les collecteurs non conformes aux tolérances sont refusés. L'entrepreneur devra alors :

— déterrer les buses du collecteur ;

— remblayer la tranchée selon la technique décrite plus loin ;

— creuser une nouvelle tranchée parallèle à la précédente et la plus proche possible et reposer le collecteur selon les principes énoncés plus haut.

Dans tous les cas, le remblayage de la tranchée des collecteurs se fait en deux phases.

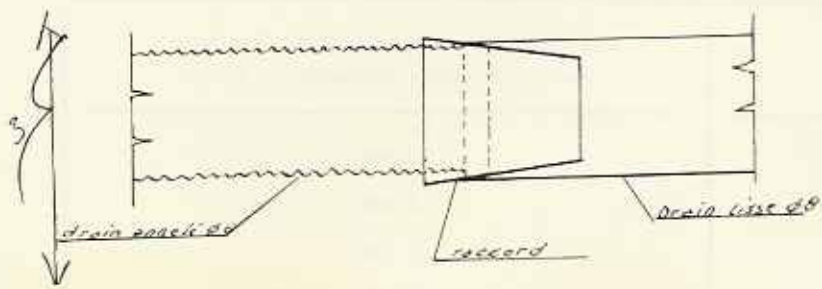
La 1<sup>re</sup> phase à exécuter impérativement à la main consiste à assurer un compactage efficace du remblai au-dessus du collecteur de manière à recouvrir celui-ci entièrement quel que soit son diamètre. La 2<sup>e</sup> phase consiste à remblayer la partie restante de la tranchée, le remblai en excédent étant laissé en cordon au-dessus de la tranchée, afin qu'il se tasse naturellement. Cette clause est difficile à faire appliquer en particulier celle relative à la 1<sup>re</sup> phase.

Dans le cas, où des affaissements apparaissent pendant la période de garantie, l'entreprise est tenue d'y remédier.

### 2.4. - Pose des drains aspirateurs

La tranchée est creusée mécaniquement. De la même manière la pose est mécanique. Dans tous les cas, la profondeur et la pente du fond de fouille doivent être conformes au profil en long d'exécution qui est remis à l'entreprise « Bon pour exécution ».

La profondeur moyenne de la tranchée est comprise entre 1,50 m. et 1,70 m.



Pièce en PVC raccord

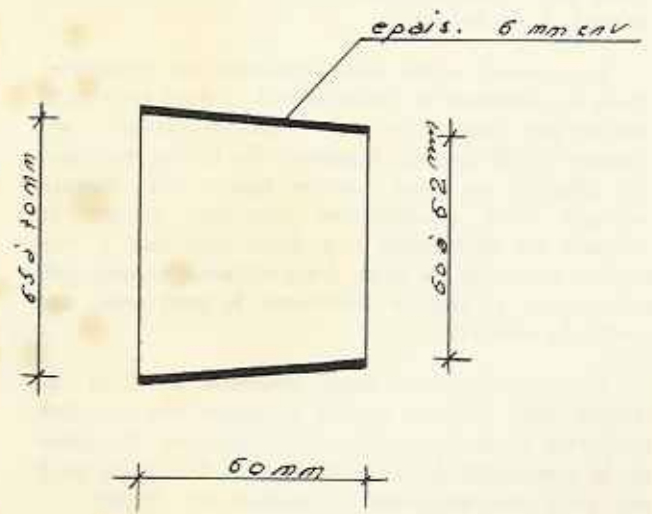


Machine pour poser des drains

Vue générale du raccordement



Aperçu des drains



Vue de la pièce de raccord

Les drains doivent être posés dans la tranchée immédiatement après le creusement et avant que l'eau y entre, éventuellement ; *il est strictement interdit de poser des drains dans une tranchée partiellement remplie d'eau.*

Les machines de pose sont équipées de manière à respecter les indications figurant au profil en long d'exécution. Les tolérances de cotes et d'alignement précisées au tableau 25 doivent être respectées.

TABLEAU 25

Pente du drain projetée en ‰	Différence maximale entre 2 points en contre-pente distants de 20 m.
0,5	3 cm.
1,0	2 cm.
1,5	1 cm.
2,0	0 cm.
	Différence minimale entre deux points en pente distants de 20 m.
2,5	1 cm.
3,0	2 cm.
3,5	3 cm.

Le décalage maximum toléré dans l'alignement horizontal sera de 6 cm. sur 1 m. de longueur de drain.

L'élimination des parties défectueuses du drain et le raccordement qui en résulte sont exécutés sur place par l'entreprise au fur et à mesure du déroulement de la bobine.

Le raccord entre deux rouleaux ou deux portions de rouleaux de drain annelé  $\varnothing$  6 est également réalisé par l'entreprise par le moyen suivant : sectionner 20-30 cm. de longueur de drain, partager cet élément en deux parties égales par découpe suivant deux génératrices opposées, mettre en contact les extrémités des deux rouleaux à raccorder, emboîter les deux demi-éléments coupés précédemment et ligoter fortement le tout avec une corde de chanvre.

Le raccord entre deux éléments de 6 m. de drains lisses  $\varnothing$  8 cm. se fait au moyen du manchon préformé mais l'entreprise doit disposer elle-même de la possibilité de manchonner les drains de  $\varnothing$  8 cm. pour une meilleure utilisation des chutes.

Les raccords entre drains annelés  $\varnothing$  6 cm. et drains lisses  $\varnothing$  8 cm. sont faits par l'entreprise au moyen d'une pièce tronconique en PVC.

L'extrémité amont des drains est fermée soigneusement par l'entreprise au moyen d'un bouchon en PVC tronconique.

Après la pose des drains, l'entreprise est tenue d'attendre l'approbation du maître d'œuvre avant de procéder au remblayage de la fouille. Cette approbation sera donnée dans la mesure où les tolérances indiquées plus haut ont été respectées et dans la mesure aussi où les drains n'ont pas été posés dans une tranchée partiellement remplie d'eau et où les raccords sont correctement exécutés et où le drain posé ne présente ni défaut ni cassure.

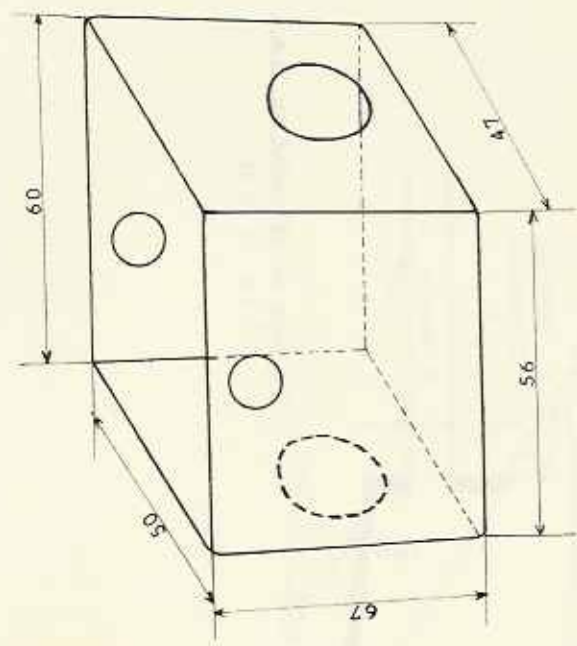
Les drains non conformes sont refusés. L'entreprise devra alors :

- déterrer les drains ;
- remblayer la tranchée selon la technique décrite plus loin ;
- creuser une nouvelle tranchée parallèle à la précédente et la plus proche possible et reposer le drain suivant les principes énoncés plus haut.

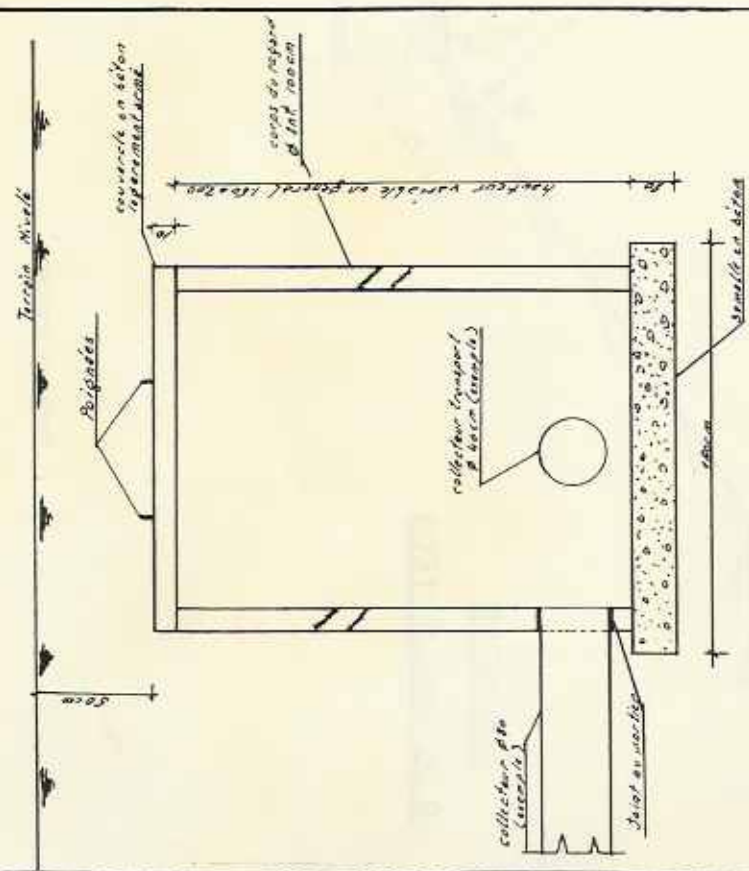
Dans tous les cas, le remblayage de la tranchée des drains aspirateurs se fait en deux phases. La 1<sup>re</sup> phase consiste à assurer un compactage efficace jusqu'à 40 à 50 cm. au-dessus du drain. La 2<sup>e</sup> phase consiste à remblayer la partie restante de la tran-

O.R.M.V.A.G.  
S.E

OUVRAGE D'ENTRETIEN SUR COLLECTEUR  
( amiante-ciment )



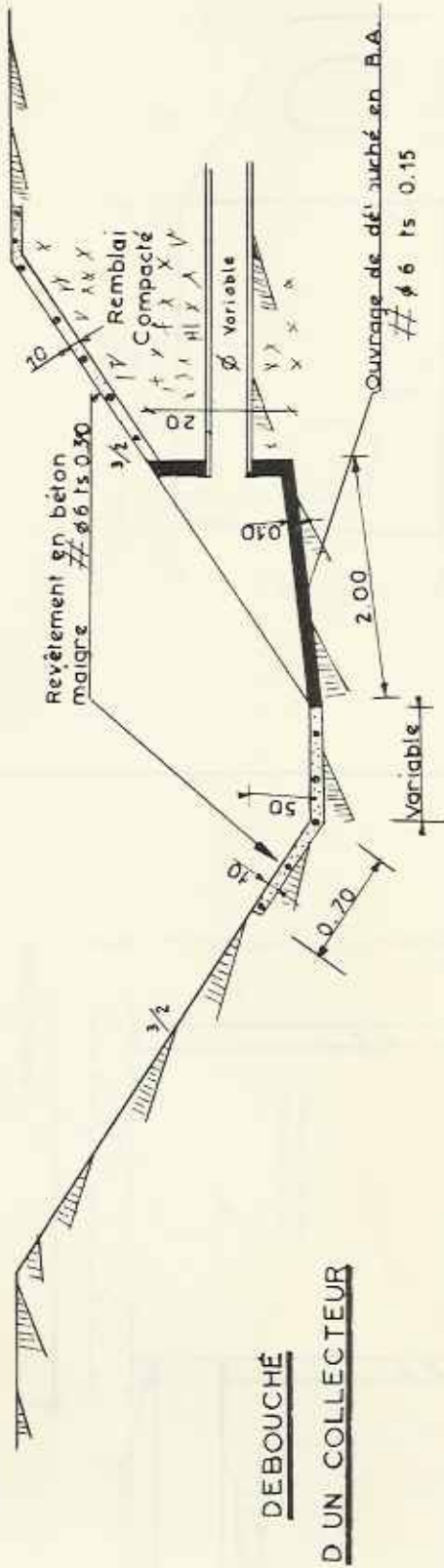
Regard d'angle en béton



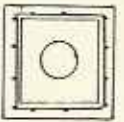
O.R.M.V.A.G.  
S.E

O.R.M.V.A.G.  
S.E

COUPE A-A'



Dalle de repérage



chée, le remblai en excédent étant laissé en cordon au-dessus de la tranchée, afin qu'il se tasse naturellement.

Dans le cas où des affaissements apparaîtraient pendant la période de garantie, l'entreprise est tenue d'y remédier.

## 2.6. - Pose et exécution des ouvrages

### 2.6.1. - *Ouvrages d'entretien sur collecteurs*

Le raccordement des drains aspirateurs aux collecteurs se fait au moyen d'un regard en amiantement. Ces regards sont implantés comme précisé au Projet. Les terrassements nécessaires à leur mise en place et en particulier le réglage du fond de fouille sont exécutés manuellement. La mise en place de ces regards peut être faite au fur et à mesure de l'avancement de la pose des collecteurs, ce qui est préférable. L'entreprise devra pour cela engager un élément du collecteur en le déboîtant, mettre en place le regard et effectuer le raccord avec le collecteur au moyen de la buse enlevée, préalablement sectionnée proprement en trois parties égales.

En aucun cas il n'est toléré que s'écoule un délai supérieur à huit jours entre la fin de la pose d'un collecteur et des drains aspirateurs qu'il dessert d'une part et la mise en place des regards sur ce même collecteur d'autre part.

En ce qui concerne les regards sur collecteurs de  $\varnothing$  supérieur à 10 cm., l'entreprise raccorde les pitons de 2 regards voisins sur un câble en nylon dont la résistance à la traction est égale ou supérieure à 100 kg., ce câble est placé à l'intérieur des collecteurs. Il est prévu pour permettre l'exécution d'un nettoyage ultérieur des collecteurs.

Les joints entre les regards et les tuyaux de collecteurs ainsi que les drains aspirateurs sont exécutés au mortier de ciment bien étanche.

Comme indiqué sur le projet de drainage, les changements de diamètre des collecteurs se font au niveau des regards.

Dans le cas d'un collecteur de transport (collecteur ne recevant pas de drain), des regards en amiantement (type ouvrage d'entretien sur collecteur), sont placés tous les 80 m.

Par contre, à la jonction d'un collecteur avec son collecteur de transport, l'entreprise exécute un regard circulaire en béton dit regard d'angle. La semelle de 20 cm. d'épaisseur, est dosée à 300 kg. de ciment par m<sup>3</sup>. Le corps du regard est constitué d'une buse de  $\varnothing$  intérieur 100 cm. Ce regard est formé par un couvercle circulaire de 10 cm. d'épaisseur, en béton dosé à 300 kg./m<sup>3</sup>, légèrement armé (30 kg. de ferrailage au m<sup>3</sup>). Ce couvercle est muni

de deux poignées. Le raccord des collecteurs au regard doit être fait très soigneusement au moyen d'un mortier de ciment assurant au joint une bonne étanchéité.

### 2.6.2. - *Ouvrages d'entretien sur drains aspirateurs*

Les ouvrages d'entretien prévus sur les drains aspirateurs sont des pièces courbés en PVC. Les raccords du drain avec cet ouvrage se font très simplement par emboîtement par pression. La mise en place de cet ouvrage est très rapide et doit être effectuée pendant les travaux de pose du drain.

L'implantation de ces ouvrages ne figure pas au Projet remis à l'entreprise. Il appartient à celle-ci d'en déterminer l'emplacement à partir des normes suivantes :

— Longueur du drain  $\leq$  125 m. = pas d'ouvrage.

— Longueur du drain comprise entre 126 et 170 m. = ouvrage situé à 80 m. de l'axe du collecteur.

— Longueur du drain comprise entre 171 et 230 m. = ouvrage situé à 100 m. de l'axe du collecteur.

— Longueur du drain supérieure à 230 m. = un ouvrage situé à 100 m. de l'axe du collecteur et un autre à 200 m. de l'axe du collecteur.

En tout état de cause, dans un bloc d'irrigation donné, les dalles de repérage de ces ouvrages d'entretien seront parfaitement alignées.

Dans tous les cas il appartient à l'entreprise d'indiquer exactement sur plan au 1/5.000<sup>e</sup> la position exacte de ces ouvrages.

### 2.6.3. - *Dalles de repérage*

Pour faciliter le repérage des ouvrages d'entretien l'entreprise pose une dalle de repérage en béton au-dessus de chaque regard sur collecteur, de chaque bouchon de l'ouvrage sur drain aspirateur et de chaque extrémité amont de drain lorsqu'il n'y a pas continuité avec un drain partant dans l'autre sens. Cette dalle de repérage est placée à 50 cm. sous la surface du sol.

### 2.6.4. - *Ouvrage de débouché*

A chaque débouché de collecteur dans un fossé d'assainissement, l'entreprise doit construire un ouvrage de débouché avec du béton armé dosé à 350 kg. de ciment pour 0,400 m<sup>3</sup> de sable pur et bien lavé et 0,800 m<sup>3</sup> de gravier.

Puis l'entreprise doit exécuter un revêtement de talus en béton maigre dosé à 250 kg. de ciment pour 0,400 m<sup>3</sup> de sable et 0,800 m<sup>3</sup> de gravier de 10 cm. d'épaisseur. Il y a lieu de procéder au compactage du remblai au-dessus du débouché du collecteur avant de procéder à l'exécution du revêtement.

## 2.7. - Remise en état des terrains

L'entreprise assure la remise en état des terrains :

— En le débarrassant de tous débris provenant de l'exécution des travaux.

— En renouvelant le terrain et les voies d'accès si possible.

— En remettant à leurs cotes avec leurs profils en travers tels que prévu au Projet les arroseurs qui auraient pu être détériorés par ses machines.

— En remettant à leurs cotes avec leurs profils en travers tels que prévu au Projet les colatures que ses engins auraient partiellement comblées.

## 2.8. - Documents remis au maître d'œuvre par l'entreprise

A l'issue de chaque tranche de travaux, l'entreprise remet au maître d'œuvre un plan au 1/5.000<sup>e</sup> basé sur le même principe que celui de Projet remis à l'entreprise en début de travaux mais comportant toutes les informations nécessaires à l'entretien ultérieur du réseau à savoir :

— Position exacte de l'axe des collecteurs par rapport aux bloes.

— Position exacte des drains aspirateurs et de leur sens d'écoulement.

— Position exacte des ouvrages d'entretien sur drains aspirateurs et des dalles de repérage à l'amont des drains.

— Les profils en long d'exécution des collecteurs et des aspirateurs.

## Chapitre XVIII

### LE PROBLEME DU FILTRE

La mise en place d'un réseau de drainage souterrain s'assortit fréquemment de précautions destinées à assurer à celui-ci une plus grande fiabilité et, en particulier, une plus longue durée de vie. Parmi ces dispositions, celles qui ont pour effet de diminuer le coût de l'entretien et d'augmenter l'efficacité du dispositif de drainage sont évidemment primordiales.

La technique du filtre protecteur est, à cet égard, d'utilisation fréquente. Les filtres mis en place au moment de la pose des drains ont un double but :

— Création d'une zone plus perméable autour du drain donc augmentation du rayon hydraulique et diminution de la résistance radiale.

— Rétention des particules fines du sol qui, ainsi ne pénètrent pas dans le drain.

Bien que l'utilisation des filtres soit connue de longue date dans les réseaux traditionnels où l'on employait indifféremment graviers, bloes, brancha-

ges..., la définition d'un filtre efficace obéit à des règles de « spectre » granulométrique assez rigides. L'utilisation irraisonnée de matériaux modernes a pu, en d'autres lieux, conduire à des déboires spectaculaires (laine de verre). Les caractéristiques d'un « bon » filtre doivent donc être calculées et la mise en place très soignée.

Les réseaux de drainage souterrain dans le Gharb ne comportent pas d'enrobage. Les raisons de ce choix sont de divers ordres mais le plus important est évidemment le prix de revient. Les matériaux grossiers sont rares dans la plaine et il aurait fallu les acheminer de plusieurs dizaines de kilomètres. Il a été calculé que le coût des réseaux en aurait été augmenté d'au moins un quart sans compter les multiples difficultés d'une mise en œuvre correcte. De plus, les caractéristiques granulométriques des sols montrent une prédominance des argiles et limons et une minorité de sables. Bien que la stabilité de la structure soit généralement faible (indice de Hénin supérieur à 1), on pouvait émettre raisonnablement l'hypothèse que l'envasement des drains serait extrêmement réduit dans les dess lourds et les tirs et ne présentait de risque que dans les dess légers comportant des strates limono-sableuses. Une enquête sur une parcelle de tirs drainée depuis 12 ans par des buses en béton dans la région de Sidi-Slimane confirma la quasi-inexistence d'envasement dans les tirs, si ce n'est au droit des joints de raccordement.

Les réseaux nouvellement installés dans la PTI concernent évidemment des sols de granulométries très variées et, bien que des précautions aient été prises pour en assurer un entretien efficace et régulier, il était souhaitable d'avoir rapidement une idée du taux d'envasement sur des réseaux posés depuis un an et ayant fonctionné sous irrigation.

A cet effet, au cours du mois d'octobre 1972 en une centaine de points situés sur les sous-secteurs NO, NI et N2 du secteur PII, on a vérifié l'état d'envasement des drains en creusant des tranchées à mi-longueur de leur parcours et en les sectionnant.

Sur 92 drains réellement testés, 89 ont pu faire l'objet d'une mesure :

— 69 ne présentent aucun dépôt, soit 77,5 %.

— 5 ont un dépôt d'épaisseur égale ou inférieure à 1 mm., soit 5,5 %.

— 11 ont un dépôt d'épaisseur comprise entre 2 et 5 mm., soit 12 %.

— 3 ont un dépôt d'épaisseur comprise entre 6 et 9 mm., soit 3,5 %.

— 1 a un dépôt de 10 mm., soit 1 %.

On remarque que les 3 drains dans lesquels l'épaisseur du dépôt est relativement forte, sont

situés dans le sous-secteur n° 1, sur des sols de dess limoneux. Par contre, sur les 56 points de contrôle recensés sur le sous-secteur N2, où les sols sont des dess lourds et des tirs, 49, soit 88 %, ne présentent absolument aucun dépôt. Encore sur ces 56 doit-on compter deux drains pleins d'eau et un drain où le dépôt, apparemment accidentel, atteint 10 mm. En excluant ces trois points, le pourcentage de drains à dépôt inexistant est de 92 %.

## CONCLUSION

Dans les sols de dess lourds et de tirs, l'envasement des drains est rare et négligeable. Il conviendra néanmoins, dans l'avenir, d'être vigilant vis-à-vis des tirs présentant, en profondeur, un horizon jaune, limono-argileux et souvent riche en sodium, car celui-ci a une structure particulièrement instable et une granulométrie moins lourde que celle des autres types de tirs.

Dans les sols de dess légers, plus particulièrement ceux comportant des horizons limoneux ou limono-sableux à structure particulièrement instable, le risque d'envasement est réel quoique limité. On peut vraisemblablement s'attendre, sur une partie des drains, à un envasement atteignant 10 à 15 % du diamètre du drain.

## RECOMMANDATIONS

a) Il serait souhaitable, pour préciser ces chiffres, qu'une enquête identique soit entreprise en

été 1973 sur les dess légers des secteurs S17 et S13.

Dans les années ultérieures, de telles vérifications s'avèreront certainement encore utiles.

b) La périodicité des opérations d'entretien des réseaux de drainage sera certainement différente selon les terrains.

Au vu des résultats de l'enquête sur le PII un ordre de grandeur provisoire de trois ans par exemple pour les dess et cinq ans (ou plus, il faut vérifier) pour les tirs semble plausible.

c) Un an après l'exécution, il apparaît déjà difficile de retrouver les drains. L'enquête sur le PII a montré que 10 % des tranchées creusées n'ont pas mis le drain à jour, soit qu'il n'avait pas été posé mais rien ne l'indiquait sur les plans, soit, et ceci est plus grave, que l'irrigation avait effacé la légère dénivellation marquant l'axe de la tranchée de pose du drain et qui, seule, permettait de s'y retrouver.

Il est indispensable qu'aussitôt après l'exécution du drainage de chaque secteur, on établisse un plan reproductible à l'échelle du 1/5.000<sup>e</sup> donnant toutes les caractéristiques du réseau réellement mis en place. Parallèlement, des marques sur les canaux d'irrigation devraient être systématiquement apposées en des endroits reproduits sur plan et permettant de retrouver aisément l'axe des collecteurs de drainage. Ces obligations qui peuvent paraître actuellement fastidieuses seront nécessaires au service de l'entretien des réseaux.

## SIXIEME PARTIE

### LE PERIMETRE IRRIGUE DE L'OUED BEHT

(Sidi-Slimane)

#### Chapitre XIX

#### GENERALITES

Le périmètre irrigué de l'oued Beht est situé dans la partie orientale de la plaine du Gharb. Il est délimité à l'Ouest par l'oued Bouider, au Sud par le canal principal d'irrigation et les terres hautes de Sidi-Kacem, à l'Est par l'oued Tihili, au Nord par l'oued R'Dom, la route 205, l'oued Hamma et l'oued Beht.

La superficie brute dominée est de 31.500 hectares, la superficie équipée étant de 28.400 hectares.

##### a) Nature des sols

On peut distinguer trois types de sols :

- le hamri (sol brun subtropical argileux plus ou moins vertique), 7 % ;
- le dess ;
- le tirs, 70 %.

Les meilleures terres sont le hamri et le dess qui se trouve essentiellement sur les levées de berge des oueds.

##### b) Climatologie

La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre de 450 mm., l'essentiel des précipitations se produisant en hiver.

La température moyenne annuelle est de 18° 7 à Sidi-Slimane.

##### c) Nature de la propriété

- 1 - Privée : 54 %.
- 2 - Collective : 16 %.
- 3 - Domaniale : 30 %.

#### 1. - REMEMBREMENT

Le remembrement du périmètre irrigué est achevé ; 12.408 hectares ont été remembrés, le reste étant constitué de grandes parcelles ou au contraire de petites propriétés bâties et complantées, où cette opération n'offre pas d'intérêt.

#### 2. - OUVRAGES

##### i - Le barrage

Le périmètre est irrigué à partir de l'oued Beht sur lequel un barrage a été construit de 1930 à 1934, à El-Kansera. La construction de ce barrage répondait à un double objectif : création d'un pé-

mètre d'irrigation, régularisation de l'oued Beht dont les crues inondaient la partie basse de la plaine du Gharb.

Le bassin versant de l'oued est de 4.600 km<sup>2</sup>, son apport moyen annuel est de 290 hm<sup>3</sup>.

Le barrage, dont la capacité brute était initialement de 225 hm<sup>3</sup> et la capacité utile de 180 hm<sup>3</sup>, a été surélevé de 6 m. en 1967-1968 pour porter sa capacité à 300 hm<sup>3</sup>. La surélévation permet de faire passer le débit fiefitif continu à 0,42 à 0,55 h./s./ha.

##### ii - Barrage d'accumulation

Un barrage d'accumulation de 250.000 m<sup>3</sup> a été construit en 1952 pour régulariser le débit à l'aval du barrage et éviter les pertes d'eau. L'usine hydroélectrique d'El-Kansera est en effet destinée à fournir essentiellement de l'énergie de pointe et ne turbine donc pas d'une manière continue.

##### iii - Ouvrage de prise de Kef N'sour

Le canal principal d'irrigation a sa prise à Kef N'sour. Cet ouvrage a été construit en 1925, avant le barrage lui-même.

##### iv - Canal principal et ouvrage

Le canal principal, de 45 km. de long, a été réalisé en 4 tronçons.

Le premier tronçon, de l'origine à Dar Bel Amri, a été construit en 1927. Les ponts bache de Bou Jenoun et de Machra Zitoun ont été construits en 1925. La capacité du canal ayant été portée de 9 m<sup>3</sup>/s. à 14,5 m<sup>3</sup>/s., ces ouvrages ont été reconstruits respectivement en 1963-1966.

Le 2<sup>e</sup> tronçon de Dar Bel Amri au S 3 a été réalisé en 1931-1932.

Le 4<sup>e</sup> tronçon et dernier de l'oued Hamma à l'oued Tihili a été réalisé de 1936 à 1937.

Ce canal principal a été recalibré pour porter son débit en tête de 9 m<sup>3</sup>/s. à 14,5 m<sup>3</sup>/s.

##### v - Réseaux secondaires et tertiaires

Les canaux secondaires et tertiaires sont bétonnés. Les canaux secondaires sont branchés au canal principal dont la cote du plan d'eau est réglé par vannes à niveau amont constant. Toutes les prises sur ces canaux sont modulées, la vente de l'eau s'effectuant au volume (débit constant pendant un temps donné).

## vi - Stations de pompage

Le système d'irrigation étant gravitaire, des stations de pompage sur le canal principal irriguent les zones situées à l'amont du canal principal, en l'occurrence les terres hautes de Sidi-Kacem (3.500 hectares) irriguées à partir de 2 stations de pompage qui refoulent à 3 niveaux différents, et de la station de pompage Bou Maïz Sud qui dessert 600 hectares.

D'autre part, l'irrigation par pompage dans l'oued Beht est assurée dans les secteurs IC, IC bis, R'Dom.

Cette partie de la rive gauche de l'oued Beht est irriguée par pompage dans l'oued Beht, car son irrigation à partir du canal principal aurait entraîné des dépenses considérables sur ce dernier. Il aurait, en effet, fallu le refaire complètement dans les 10 premiers kilomètres pour lui permettre de porter le débit nécessaire (voisin de 18 m<sup>3</sup>/s.) alors que son recalibrage à 14,5 m<sup>3</sup>/s. a pu être exécuté par surélévation des berges.

## 3. - CONSOMMATION D'EAU

La consommation d'eau dans le périmètre est d'environ 110 hm<sup>3</sup>, mais sera de plus en plus importante au fur et à mesure de l'intensification des assolements. Cette eau est payée au mètre cube sur la base d'un tarif progressif qui atteint 2,90 f./m<sup>3</sup> au bout de la 10<sup>e</sup> année suivant la mise à la disposition de l'eau en tête ou aux abords immédiats de la parcelle (code des investissements agricoles).

L'irrigation au tour d'eau est un objectif de la distribution afin d'assurer rationnellement les besoins des cultures.

## 4. - ASSAINISSEMENT

Le périmètre irrigué est drainé par les oueds le traversant ou le bordant : l'oued Hamma canalisé et la colature principale qui longe la limite Sud du secteur 9 avant de se jeter dans l'oued Hamma.

Les réseaux de colature du périmètre (environ 400 km.) débouchent dans ces émissaires.

L'assainissement est complété par un nivellement des sols complété de colatures quaternaires. Seules quelques plantations ont été drainées par poterie ou à la charrue taupe, le premier équipement étant coûteux et le second se détruisant très rapidement. Ces travaux avaient été faits à titre d'essai et n'ont pas eu de suite.

## 5. - NIVELLEMENT DES SOLS

L'Office a entrepris un vaste programme de nivellement des sols, limité par l'extension des superficies complantées (12.000 ha environ). Actuellement la superficie nivelée est de 13.000 ha.

Après avoir réalisé 2.500 ha au cours du Plan 1973-1977, le nivellement sera terminé, le reste du périmètre n'étant pas justiciable de cette opération (parcelles très petites ou complantées).

## Chapitre XXI

### LE PROBLEME DE DRAINAGE

#### 1. - LA NAPPE PHREATIQUE

Peu de temps après la mise en eau (1935) et à la suite de deux hivers successifs très pluvieux (1939-1940) la nappe phréatique dans la partie haute du périmètre de Sidi-Slimane a brutalement remonté très près de la surface du sol pour se maintenir par la suite à des profondeurs variables selon les saisons et la pluviométrie de l'année mais, de toutes manières, préjudiciables aux cultures arbustives. Sur tous les secteurs, au fur et à mesure de leur mise en service successive, le même phénomène de remontée a été noté.

Un réseau de puits témoins a été mis en place à partir de 1935 pour atteindre 180 puits en 1959-1960. Ce réseau a, depuis, été réduit et se compose actuellement de 100 puits témoins mesurés chaque deux mois. Cette densité doit être suffisante pour assurer le contrôle piézométrique et chimique de cet aquifère.

Un équilibre semble s'être créé depuis une douzaine d'années : pendant l'hiver 1958-1959, la nappe était à moins de deux mètres sur 14.500 ha et à moins d'un mètre sur 12.000 ha. En avril 1971, la nappe était à moins de deux mètres sur 15.000 ha et à moins d'un mètre sur 1.000 ha alors qu'en août de la même année, ces chiffres devenaient respectivement 10.000 et 1.500 ha. Il y a donc une relative stabilisation des superficies contaminées à l'exception de « pies » passagers observés à la suite d'années très pluvieuses.

Les valeurs de la salinité de la nappe en 1972 sont proches de celles de 1959, un équilibre a donc aussi été atteint. La conductivité électrique à 25° de l'eau de la nappe libre dépasse 4 millimhos sur plus de la moitié du périmètre et peut atteindre 20 millimhos.

Cette nappe, même lorsqu'elle est peu chargée contient beaucoup de Mg et de Na (cf. tableau 26).

TABLEAU 26

	PH	CE mmhos	Cl Na ‰	SO <sub>4</sub> CA ‰	SO <sub>4</sub> MG ‰	SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> ‰	CO <sub>3</sub> HNa ‰	CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> ‰	(CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub> MG
I	8,4	1,28	1,203	0,116	0,174	0,440	0,739	Traces	0
II	8,4	0,81	0,854	0,116	0,192	0	0,487	Traces	0,226

On rappelle également le caractère artésien de la nappe profonde et la drainance qui en résulte, surtout dans la zone à l'Ouest de l'Oued R'Dom (cf. chapitre hydrogéologie).

## 2. - LES SOLS

Les caractéristiques des sols sur lesquels on observe fréquemment des orangers souffreteux sont les suivantes :

— Couleur sombre jusque vers 50 cm. de profondeur due à la fixation de matière organique sur l'argile.

— Texture lourde (80-90 % d'éléments plus petits que 20 microns) dont la partie argileuse est montmorillonitique.

— Structure anguleuse liée au type de saturation du complexe absorbant lui-même caractérisé

par des rapports  $\frac{\text{Na}}{\text{T}}$  et  $\frac{\text{Mg}}{\text{T}}$  qui augmentent

avec la profondeur alors que Ca/Mg diminue.

— Une salinisation et une alcalisation nette en profondeur (Na/T varie de 5,3 à 22,7 en surface, de 9,5 à 24,2 en profondeur).

Ces sols sont classés parmi les vertisols.

La présence d'une nappe provoque en général, dans les sols un type d'évolution, vers des faciès hydromorphes. Or aucun signe d'oxydo-réduction, taches ou conerétions ferrugineuses caractérisant habituellement les sols hydromorphes n'a été observé dans les sols de Sidi-Slimane. Les raisons possibles de cette curieuse constatation sont de deux ordres :

— Le temps d'engorgement peut ne pas être suffisamment long pour permettre l'apparition des formes classiques d'oxydo-réduction.

— La porosité totale est relativement forte.

Par contre, les conerétions et amas calcaires fréquemment observés peuvent être considérés comme des signes d'hydromorphie.

Des études faites au Maroc ont montré qu'en présence d'une nappe fluctuante riche en Mg et en Na, durant la saison chaude la zone d'évaporation de la nappe est le siège d'une précipitation du calcaire ; le complexe absorbant s'enrichit alors en Na et Mg. L'hydromorphie se signale ainsi par un double phénomène de précipitation du calcaire et d'alcalisation du complexe.

Le sodium devenant prédominant sans calcaire pour tamponner ses effets, on assiste à une dégradation de la structure dont attestent :

— La compacité en profondeur propre à l'alcalisation.

— Caractères larges et anguleux de la structure des sols hydromorphes.

— Présence de fentes de retrait qui, en présence d'eau, aboutissent à un gonflement des éléments de la structure du sol avec apparition de faces de glissements striées.

— L'instabilité structurale (test Henin) qui est d'autant plus grande que le rapport Ca/Na est faible. L'influence du magnésium est malaisée à mettre en évidence.

Les sols de Sidi-Slimane ont donc évolué sous la double influence de l'hydromorphie et d'un chimisme responsable du dépérissement des vergers.

Une étude globale comparative faite en 1967 sur la répartition des sols salés dans le Gharb et le périmètre de Sidi-Slimane a donné les résultats figurant dans le tableau 27 (salure exprimée en ‰ de el Na du poids de terre sèche).

TABLEAU 27

Type de sol			Dess léger	Dess lourd	Dess très lourd vertique	Hamri	Tirs	Merja
Profils à horizon salé à plus de 1 ‰	Gharb	Nombre	2	3	9	3	20	—
		Fréquence	6	13	32	30	54	—
	Sidi-Slimane	Nombre	6	9	10	24	23	9
		Fréquence	46	75	100	100	95	100
Profils à horizon salé à plus de 2,5 ‰	Gharb	Nombre	0	0	1	0	4	144
		Fréquence	0	0	3	0	10	63
	Sidi-Slimane	Nombre	1	2	6	2	9	6
		Fréquence	8	18	60	8	38	66

Il ressort très clairement de cette comparaison que les sols du périmètre irrigué de Sidi-Slimane sont plus salés que la moyenne des sols du Gharb. Les dess très lourds vertiques (ferchech) et les tirs sont particulièrement atteints par une salure de niveau toxique. Les sols de merja présentent les mêmes fréquences de salure.

D'autres données recueillies sur le même périmètre de Sidi-Slimane montrent, sans contestation possible, que la salinité des sols, particulièrement les sols lourds, a augmenté notablement depuis la création de ce périmètre, il y a trente ans. Des variations intersaisonniers ont également pu être mises en évidence. Il est donc certain que c'est la présence de la nappe phréatique qui sale le sol. La nappe phréatique haute révélant un drainage naturel déficient, l'introduction d'un drainage artificiel doit résoudre, ipso facto, le problème du sol et aboutir à la création d'un nouvel équilibre sol-eau-sels. Ce drainage artificiel permet alors le lessivage des sels, provoqué par les pluies d'hiver, par l'excès normal des eaux d'irrigation et éventuellement par des apports supplémentaires spécifiques.

### 3. - LA MISE EN VALEUR

Dans ce contexte naturel plutôt défavorable, la mise en valeur a subi des retards que l'on peut apprécier par la comparaison entre la superficie

équipée (28.400 ha) et la superficie cultivée (23.900 ha). Il serait beaucoup plus complexe de vouloir estimer le manque à gagner qui résulte du drainage déficient.

C'est ainsi que de nombreuses orangeries souffrent gravement du niveau élevé de la nappe et de la toxicité due aux sels. Il n'est pas rare que les rendements soient très inférieurs à 10 t./ha et l'on cite de nombreux cas où le dépérissement peut devenir tel que l'arrachage de la plantation a été, jusqu'à maintenant, la solution la plus courante. On cite néanmoins des agrumiculteurs avisés qui maintiennent des conditions d'exploitation marginales mais acceptables par des techniques diverses dont le succès est souvent lié à l'habileté de celui qui l'a introduite :

- Taupage.
- « Mulching » (conservation de la sous-végétation sauvage).
- Désherbage chimique intégral.
- Irrigation par aspersion.
- Sectionnement du pivot de l'arbre afin de n'autoriser qu'un enracinement superficiel (20-30 cm.).
- Façonnement du terrain et création de rigoles entre les lignes d'arbres.

Cependant le volume d'eau d'irrigation apporté ces dernières années sur le périmètre ne dépasse pas 70 à 80 millions de m<sup>3</sup>/an, soit une consommation moyenne de 4.500 m<sup>3</sup>/ha, ce qui est peu et traduit le freinage que subit la mise en valeur.

La surélévation du barrage d'El-Kansera en 1967-68 permet d'augmenter considérablement la superficie irriguée, mais l'insuffisance du drainage a jusqu'à maintenant, empêché tout accroissement des apports d'eau.

Le réaménagement en cours du réseau d'irrigation s'accompagnera d'une extension des cultures et d'une intensification des assolements qui portera le volume d'eau d'irrigation utilisé à 125 millions de m<sup>3</sup>/an en 1987, soit 8.000 m<sup>3</sup>/ha. La déficience du drainage et du lessivage ne pouvant donc que s'aggraver, l'O.R.M.V.A.G. prévoit, pour le Plan Quinquennal 1973-1977, des investissements importants comportant l'établissement des avant-projets, l'exécution du drainage souterrain y compris le recalibrage des fossés d'assainissement sur les 6.000 ha les plus menacés ainsi que l'exécution du nivelle-

ment sur 2.500 ha, le reste des terres nues du périmètre étant déjà nivelé.

#### 4. - LES POSSIBILITES DE DRAINAGE

Jusqu'au début des années 60, on pensait que les sols de Sidi-Slimane seraient impossibles à drainer à des coûts acceptables. Néanmoins une expérimentation menée sur quatre parcelles de « tirs » et « dess sur tirs » pendant plusieurs années a fourni des indications contraires aux conclusions de l'époque (cf. chapitre onze, paragraphe 2.5).

De plus une prospection systématique sur quelque 2.000 ha du périmètre par la méthode du trou de tarière à raison d'une station de mesures pour 10 ha a montré que la majorité des sols rencontrés ont une conductivité hydraulique comprise entre P2 et P4, donc tout à fait drainable. Cette prospection est poursuivie à l'heure actuelle en vue de la détermination des caractéristiques d'écartement des réseaux de drainage qui seront mis en place dans les années à venir.

## SOCIÉTÉ D'ETUDES ET TRAVAUX

Société Anonyme au capital de 550.000 dirhams

ENTREPRISE GENERALE DE TRAVAUX PUBLICS

BETON ARME -- GENIE CIVIL,

290, bd. Mohammed V - RABAT

Tél: 336-40

RANCHIN G.

Rapporteur de la question n° 2

## Le Drainage dans la plaine du Bou areg

### I. INTRODUCTION

La plaine du Bou Areg occupe une superficie de l'ordre de 160 km<sup>2</sup> dans la province de Nador et est allongée sur 25 km. sous forme de croissant entre les centres de Nador et Karia Akerman, la largeur dans la partie la plus renflée atteignant 7 km. La plaine du Bou Areg est bordée au Nord par la lagune dénommée « Sebkhla Bou Areg » qui communique avec la mer Méditerranée.

La plaine du Bou Areg appartient au périmètre de la Basse-Moulouya que nous présentons tout d'abord. L'exposé comporte ensuite une description plus détaillée des caractéristiques de la plaine du Bou Areg avant l'étude des problèmes de drainage afférents à cette plaine.

### II. PRESENTATION DU PERIMETRE DE LA BASSE-MOULOUYA

#### I.1. Généralités

##### *Situation géographique*

Le périmètre de la Basse-Moulouya occupe environ 3.000 km<sup>2</sup> (zone d'intervention de l'Office de Mise en Valeur Agricole) à l'extrémité Nord orientale du Maroc et est limité par la Méditerranée au Nord, la frontière algérienne à l'Est, les amonts des Beni Snassen au Sud et différents massifs à l'Ouest. Le périmètre est traversé par la Moulouya.

Le périmètre ainsi délimité comprend aussi, en rive gauche de la Moulouya, des massifs assez importants isolant les plaines irrigables et constituant autant d'obstacles, aussi bien pour le réseau de communications routières que pour les canaux transportant l'eau d'irrigation à ces plaines depuis les ouvrages sur la Moulouya.

##### *Climatologie*

Le climat est méditerranéen, semi-aride à aride, la pluviométrie (septembre à mai) est en moyenne de 350 mm./an, la température moyenne est de 18° C (moyennes mensuelles extrêmes : 27° C, 18° C).

##### *Superficies irrigables nettes*

Les superficies irrigables nettes sont comprises dans quatre grandes plaines :

— En rive droite de la Moulouya la plaine des Triffas comprenant 32.900 ha nets irrigables, dont 25.700 ha dominés par le canal existant des Triffas et 7.200 ha correspondant au haut-service des Triffas.

— En rive gauche de la Moulouya :

- la plaine du Zebra ..... 6.100 ha
- la plaine du Bou Areg ..... 11.000 ha
- la plaine du Garet ..... 9.000 ha

La superficie nette irrigable est de 59.000 ha.

## Ressources en eau

Les ressources en eau comprennent essentiellement, en plus de nappes souterraines non négligeables mais en général salées, les apports de la Moulouya, en moyenne 1.000 Mm<sup>3</sup>/an. Le régime très irrégulier de la Moulouya (étiage absolu : 1 m<sup>3</sup>/sec., débit moyen : 33 m<sup>3</sup>/sec.) a rendu nécessaire la construction d'un barrage de régularisation.

## Population

La population s'élève dans le périmètre à 300.000 habitants dont le quart environ réside dans les principaux centres. On peut noter en rive gauche

de la Moulouya (Bou Areg notamment) un manque de main-d'œuvre pour certains travaux agricoles dû à une émigration locale vers Nador ou lointaine vers l'Europe. Ce manque de main-d'œuvre, mal compensé par les apports d'autres régions du Maroc, semble constituer un frein à la mise en valeur.

## Structures foncières

On note la coexistence de la toute petite propriété sur des zones anciennement irriguées avec des propriétés moyennes ou grandes. En 1962, dans la plaine du Bou Areg on notait la répartition suivante :

Taille de la propriété	Nombre	%	Surface	%
De 0 à 3 ha .....	3.335	71,7	3.840	24,9
De 3 à 5 ha .....	596	12,8	2.324	15,1
De 5 à 10 ha .....	470	10,1	3.292	21,4
De 10 à 25 ha .....	199	4,3	2.906	18,9
De 25 à 50 ha .....	39	0,8	1.469	9,6
	14	0,3	1.551	10,1
	4.653	100,0	15.382	100,0

Par ailleurs, à la même date, hors la plaine du Bou Areg où elles ne présentaient que 4,5 % de la superficie totale, les propriétés étrangères étaient importantes et représentaient respectivement 50 %, 40 % et 20 % des superficies cultivables dans les plaines du Zebra, des Triffas et du Bou Areg, la situation ayant sensiblement évolué depuis lors.

## II.2. Projet d'aménagement

Les travaux ont commencé en 1954 et se sont poursuivis depuis à des rythmes variables. En 1963, l'Administration a établi l'avant-projet des aménagements restant à réaliser qui a été respecté d'assez près jusqu'à maintenant en ce qui concerne les équipements cependant que le programme de mise en valeur était quelque peu modifié.

## Equipements principaux

— Barrage de retenue Mohammed-V de capacité totale 730 Mm<sup>3</sup>, usine électrique de 85 GWII, travaux exécutés de 1960 à 1967.

— Barrage de dérivation de Mechra Homadi de capacité 42 Mm<sup>3</sup>, mis en service en 1956.

— En rive droite de la Moulouya :

■ canal bas service des Triffas, longueur 84 km. plus 2 branches terminales, débit en tête 18 m<sup>3</sup>/sec. (1956-1972),

— ouvrages d'alimentation du haut service des Triffas (3 étages) comprenant plusieurs stations de pompage de puissance totale 3.500 kW, travaux en cours.

— En rive gauche de la Moulouya :

■ canal tête morte de 12 km., débit en tête

17 m<sup>3</sup>/sec., prolongé par le canal dominant la plaine du Zebra de 31 km. (travaux terminés),

■ sur le canal du Zebra prise pour le Bou Areg alimentant une galerie de 10 km. suivie d'un canal d'amenée de 6 km., de débit 10 m<sup>3</sup>/sec. (travaux terminés),

■ en tête du Bou Areg usine électrique de 55 GWH (1968-69) utilisant la chute disponible entre la côte du canal d'amenée et celle des terres du Bou Areg à irriguer,

■ ouvrages prévus pour alimenter le Garet : prise sur le canal du Zebra, station de pompage de 5.000 kW, canal et galerie (8 km.) de débit 5,6 m<sup>3</sup>/sec.

### Mise en valeur

Les différentes aptitudes des sols à la mise en valeur et à l'irrigation avaient conduit à définir plusieurs plans d'occupation des sols tenant compte également des autres facteurs habituellement considérés en la matière. Des facteurs nouveaux tels la progression due à l'initiative privée des plantations et l'introduction de la canne à sucre dans le périmètre sont intervenus pour modifier les plans initiaux. On considère maintenant qu'en régime de croisière l'occupation des sols devrait être la suivante :

Cultures	Superficies (ha)	Production (t.)	Produit brut (DH)
Blé .....	11.500	29.000	13.000.000
Maïs .....	1.100	5.500	2.200.000
Fourrages .....	6.200	400.000	18.000.000
Betteraves sucrières .....	5.600	250.000	16.500.000
Canne .....	2.000	150.000	8.200.000
Niora .....	3.200	6.500	13.000.000
Maraîchage .....	21.500	—	75.000.000
Agrumes .....	13.300	200.000	80.000.000
Oliviers .....	1.600	5.000	1.500.000
Vigne .....	4.700	60.000	12.000.000
Total .....	70.700		239.400.000

Le coefficient d'utilisation du sol rapporté à la surface irriguée (59.000 ha + 2.000 ha divers) serait égal à 1,15. La valeur ajoutée atteindrait environ 130 millions de DH.

### Echelonnement du projet

A fin 1972 les superficies équipées en réseaux

d'irrigation atteignaient 36.100 ha cependant que 2.230 ha étaient en cours d'équipement au titre de crédits 1972 reportables sur 1973. Pendant le Plan 1973-77 on prévoit d'équiper 6.220 ha. Le tableau ci-dessous (en ha) résume l'échelonnement des équipements de secteurs suivant les différentes zones :

	Situation début plan 1973-77		Prévus plan 1973-77	Situation fin 1977	Situation en fin d'amé- nagement
	au 1-1-73	après ach. reports 72			
Triffas bas service ..	21.200	21.200	4.500	49.000	25.700
Triffas haut service ..	—	—	6.200	6.200	7.200
Zebra .....	5.000	6.100	—	6.100	6.100
Bou Areg .....	9.900	11.000	—	11.000	11.000
Garet .....	—	—	—	—	9.000
	36.100	38.300	10.700	49.000	59.000

On notera que l'équipement en réseaux d'irrigation du Bou Areg est en cours de définition. La fin de l'aménagement du périmètre de la Basse-Moulouya devrait normalement intervenir vers

1981-82.

Le programme de mise en valeur pour la campagne 1972-73 se présente ainsi :

Cultures	Superficies (ha)	Production (t.)	Produit brut (DH)
Céréales irriguées .....	4.000	4.000	1.600.000
Fourrages .....	2.400	120.000	5.400.000
Légumineuses alimentaires .....	4.300	6.400	6.400.000
Betterave sucrière .....	4.500	157.000	10.300.000
Canne .....	800	—	—
Maraîchage .....	8.700	—	20.000.000
Niora .....	2.600	4.000	8.000.000
Agrumes .....	10.100	70.000	30.000.000
	(6.400 adultes)	—	—
Oliviers .....	1.200	900	300.000
Vignes .....	4.700	52.000	10.000.000
Céréales en sec .....	25.000	17.500	7.000.000
<b>Total .....</b>	<b>67.700</b>	<b>—</b>	<b>99.000.000</b>
Total sans céréales en sec .....	42.700	—	92.000.000

### Economie du projet

(Etablie sur la base de la production agricole et de la production d'énergie électrique sans tenir compte des effets amont et aval de la production agricole).

#### Dépenses d'investissement (usines de transformation exclues)

- Réalisées à 1972 : 440.000.000 DH.
- Prévués de 1973 à 77 : 80.000.000 DH.
- Restant nécessaires après 71 : 80.000.000 DH.

#### Production agricole annuelle (en régime de croisière)

— Accroissement du revenu brut : 210.000.000 DH (avant aménagement, revenu brut : 30.000.000 DH).

— Accroissement de la valeur ajoutée : 110.000.000 DH (avant aménagement, valeur ajoutée : 20.000.000 de DH).

#### Production énergétique

— En moyenne 140 millions de kWh par an estimés sur la base de 0,05 DH (prix usine) le kWh à 7.000.000 de DII.

#### Critères économiques

- acc. rev. brut + énergie
- Rapport  $\frac{\text{acc. rev. brut + énergie}}{\text{dép. d'investissement}} = 0,36$ .
- Taux de rentabilité interne : entre 10 % et 11 %.

### III. CARACTERISTIQUES

#### DE LA PLAINE DU BOU AREG

##### Situation géographique

Cette situation a été esquissée dans l'introduction. A l'arrière les massifs du Gourougou, des Beni Bou Iffrou et des Kibdana isolent la plaine du Bou Areg qui communique cependant avec la plaine du Garet par un couloir situé entre les massifs des Beni Bou Iffrou et des Kibdana et dans lequel coule l'oued Zeluan.

Il est à noter que les plaines du Bou Areg et du Garet et les massifs qui les dominent, totalisant environ 950 km<sup>2</sup>, n'appartiennent pas au bassin de la « Sebkhia Bou Areg ». Le Garet est drainé par l'oued Zeluan en ce qui concerne les eaux de surface cependant que la nappe souterraine s'écoule

également par le même couloir vers le Bou Areg. L'oued Zeluan, à la traversée du Bou Areg, est maintenant canalisé jusqu'à la mer de même que les ruisselements de moindre importance et occasionnels débouchant des bassins dominants propres au Bou Areg. Seul l'oued Zeluan est pérenne avec un débit d'étiage très faible.

#### Eléments climatiques

La plaine du Bou Areg a un climat relativement humide et doux. La pluviométrie est la plus faible au Sud-Ouest et augmente vers le Nord-Ouest et l'Est et quand on se rapproche des massifs. Les pluviométries annuelles moyennes extrêmes sont de 325 mm. et 400 mm., mais d'une façon générale le régime des pluies est caractérisé par des irrégularités annuelles et interannuelles.

La température moyenne annuelle est de 17°. Les indices climatiques s'établissent ainsi :

— Quotient pluviothermique d'Emberger :

$$Q = \frac{1.000 P}{(M + m) (M - m)} = 60$$

2

P : pluviométrie annuelle moyenne.

M et m : moyennes en ° absolus des maxima du mois le plus chaud et des minima du mois le plus froid.

— Indices climatiques de Thornthwaite :

- Indice global : — 32.
- Evapotranspiration annuelle : 87 cm.
- Indice d'aridité Ia : 70.
- Indice d'humidité Ih : 5 - 10.
- Type climatique : D B' 3 s a'.

#### Structure géologique

Nous sommes dans une zone hybride au contact du domaine moyen-atlasique représenté par les Beni Snassen et du domaine rifain auquel participent les autres massifs de la région. Cet état de fait entraîne une grande diversité de faciès et une grande complexité tectonique.

La chaîne des Kibdana, fortement plissée et accidentée, se compose essentiellement d'un substratum jurassique, d'une couverture transgressive miocène et de l'unité des Senhadja charriée du Nord au cours de l'helvétien. Le massif des Beni Bou Iffrou comprend deux dômes liasiques fracturés en leur centre et déversés et surmontés par une couverture plastique dans laquelle on trouve un jurassique supérieur schistoquartzitique, un néocène constitué de schistes calcifères et loca-



lement un barrénien représenté par une barre peu épaisse de calcaire microconglomératique. A l'Ouest le Gourougou est un appareil volcanique démantelé.

Entre les éléments structuraux décrits ci-dessus, de vastes dépressions ont été comblées par d'épais sédiments néogènes et quaternaires. Des marnes épaisses allant du Miocène supérieur au Pliocène supérieur ou au début du Villafranchien se rencontrent à faible profondeur (25 à 40 m.) dans le Garet et y constituent un substratum imperméable.

Dans le Bou Areg le quaternaire est plus puissant et des forages de 120 m. de profondeur au bord de la Sebkhla Bou Areg n'ont rencontré que des dépôts de quaternaire continental. Au Sud de la plaine on retrouve un Villafranchien caillouteux comme dans le Garet. De même que dans le Garet le quaternaire moyen est représenté par des limons roses à lits graveleux, encroûtés au sommet. Cette croûte peut disparaître complètement ou n'exister que sporadiquement. La puissance de ce quaternaire moyen dépasse souvent 30 mètres.

Le quaternaire récent est sous faciès de limons rouges ou bruns, peu épais. Enfin des formations dunaires meubles sur une armature meuble et consolidée, à stratification entrecroisée, constituent le cordon littoral de la Sebkhla Bou Areg.

### Pédologie

La plaine du Bou Areg comprend une majorité de sols profonds classés sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, plus ou moins calcaires en surface, sur roche mère complexe assez argileuse (25 % à 35 %). On trouve en arrière ou à l'Ouest de la plaine des sols de même type mais peu profonds (< 50 cm.) sur encroûtement calcaire. Tout le long de la lagune on trouve 1.200 ha de sols halomorphes à alcalis, plus ou moins salés, écartés en partie de l'irrigation.

Les sols bruns steppiques du Bou Areg ne sont ni salés ni alcalisés sauf dans les zones irriguées à partir de la nappe avant la mise en service du réseau. Les sols présentent une accumulation de calcaire en profondeur et également une augmentation du taux d'argile. Ils sont d'une texture argilo-limonieuse. A l'état sec la structure est en général polyédrique à nuciforme en surface et polyédrique de plus en plus fine à l'intérieur. A l'état humide la structure est généralement plus nuciforme à grumelleuse en surface, polyédrique à nuciforme en profondeur. La stabilité de cette structure peut être faible et on peut observer le phénomène de « glaçage » en surface.

La porosité en surface des sols n'ayant jamais été irrigués est bonne mais semble diminuer avec l'irrigation. Dans la partie basse de la plaine on a pu mesurer des porosités allant de 35 % en surface à 50 % en profondeur, la densité apparente variant parallèlement de 1,1 à 1,6.

Les perméabilités accusent de grandes variations comme l'a montré une campagne de mesures effectuée en 1971 dans la zone où des travaux de drainage sont prévus puisque les valeurs mesurées vont de 0,5 m./j. à 18 m./j. Normalement, pour le type de sol rencontré, la perméabilité devrait être bonne mais on a observé que la mise en eau risquait d'avoir un effet dépressif dans la mesure où les irrigations étaient mal faites et les travaux culturaux mal conduits ou insuffisants. Ce phénomène est d'autant plus marqué si les irrigations se font par des eaux de nappe, salées en général, comme cela a été le cas dans le Bou Areg. L'alcalisation qui se produit alors est responsable d'une détérioration de la structure provoquée par la dispersion de l'argile.

Au point de vue aptitude des sols à la mise en valeur dans la plaine du Bou Areg, l'avant-projet de 1963 donnait le classement suivant (ha bruts) :

Catégorie 1 : 5.566 ha.

Catégorie 2 : 4.477 ha.

Catégorie 3 : 676 ha.

Catégorie 4 : 1.553 ha (sols squelettiques, sols de thalwegs, sols très salés, très hydromorphes en profondeur).

Les travaux de dessalage envisagés portaient sur 2.600 ha, dont 2.000 ha considérés comme faciles.

Nous noterons que la topographie est peu accidentée dans l'ensemble, la pente décroissant de 2,5 % en bordure des massifs à 0,4 % au voisinage de la luzerne.

### Nappe phréatique du Bou Areg

La nappe du Bou Areg est connue par quelque trente forages d'études et les nombreux puits utilisés pour l'irrigation. Bien que les observations et essais faits sur ces ouvrages (dont la densité en ce qui concerne les forages est insuffisante) ne soient pas très concordants, comme nous le verrons plus en détail au chapitre suivant, on peut cependant définir quelques caractéristiques de cette nappe.

#### Base imperméable

La base imperméable est constituée entièrement par le quaternaire. On est conduit à définir un imperméable pratique correspondant à un avane-

ment beaucoup plus difficile lors du sondage par percusion dû au fait que dans les terrains non aquifères le terrain devient plus collant sur le trépan. On estime ainsi qu'en front de mer l'imperméable se situe entre les côtes absolues — 50 m. et — 70 m. et remonte en arrière plus vite que le terrain naturel. De ce fait la profondeur de l'imperméable, rapportée à la surface du sol, décroît quand on se rapproche des massifs, mais de façon irrégulière. Dans le couloir entre le Garet et le Bou Areg cette profondeur est de 30-35 cm.

#### Perméabilités

Les perméabilités moyennes sur l'épaisseur de l'aquifère régressent quand on s'éloigne de la mer. Les essais sur des forages en partie basse de la plaine ont montré des perméabilités supérieures à  $10^{-4}$  m./sec. cependant qu'en bordure des massifs ou dans le couloir entre le Garet et le Bou Areg ces perméabilités peuvent être très faibles, presque nulles.

#### Profondeur de la nappe

La carte en fin d'exposé reproduit le tracé des courbes isopiézométriques en 1969, avant les premières irrigations par le réseau et l'interruption des pompages dans la nappe. La superficie comprise à l'intérieur de la courbe isobathe — 5 m. était de 2.500 ha environ et a reculé depuis jusqu'à intéresser une surface de l'ordre de 3.000 ha. Tout à fait à l'aval la nappe affleure presque au niveau du sol. A l'amont le toit de la nappe, malgré une remontée plus rapide qu'à l'aval, se trouve encore à une assez grande profondeur entre 10 m. et 15 m.

#### Salure de la nappe

Les eaux de la nappe du Bou Areg n'ont pratiquement pas de concentration inférieure à 1 g./l. Les teneurs en résidus secs, très variables, s'étendent de 1 g./l. à plus de 14 g./l. Suivant la plinimétrie des interisocônes la répartition des concentrations se présentait ainsi en 1963 :

Concentration en g./l.	Superficie en ha	Pourcentage
1 à 2 .....	990	7,7 %
2 à 4 .....	3.520	27,4 %
4 à 6 .....	4.690	36,7 %
6 à 8 .....	2.000	15,6 %
8 à 10 .....	890	7,0 %
Supérieur à 10 .....	720	5,6 %

La nappe du Bou Areg est un peu moins salée que celle du Garet. Dans le Bou Areg on observe dans l'ensemble une augmentation très nette de la salure des eaux du Sud vers le Nord, ce qui correspond à une concentration de la nappe d'amont en aval. La zone à salure particulièrement élevée proche de Nador est due à une invasion directe de l'eau de mer dans la nappe, déprimée en cet endroit sous le niveau de la mer par suite d'une surexploitation par pompage.

Au point de vue chimique la presque totalité des eaux de la nappe a le faciès chloruré dont plus de 80 % chloruré sodique. La concentration des eaux s'accompagne toujours d'une forte augmentation du pourcentage du chlore et dans une moindre proportion du sodium et du magnésium, ce dernier pouvant être apporté par l'eau de mer.

Nous donnons à titre d'exemple la composition d'un échantillon prélevé dans la zone centrale du

Bou Areg assez bien représentatif du faciès chloruré sodique :

Teneurs en mg./l. :

Ca : 224.  
Mg : 309.  
Na : 1.726.  
Cl : 3.428.  
SO<sub>4</sub> : 403.  
HCO<sub>3</sub> : 200.  
Résidu sec : 7.940 mg./l.

Il est utile en parallèle de mentionner les caractéristiques chimiques des eaux de la Moulouya apportées par le réseau d'irrigation et qui en moyenne sont les suivantes :

Teneurs en mg./l. :

Ca : 100.  
Mg : 70.  
Na : 55.

Cl : 95.  
 SO<sub>4</sub> : 220.  
 HCO<sub>3</sub> : 160.  
 Résidu sec : 700 mg./l.

On constate que les richesses en sodium et en chlore sont faibles et qu'il y a beaucoup moins de chlore que de sulfate et de carbonate.

$$\text{Le rapport S.A.R. (sodium absorption ratio) = } \frac{\text{Na}}{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}$$

de cette eau est très faible et de ce fait ne présente aucun danger pour le complexe absorbant des sols. Compte tenu de sa richesse en ion sulfate cette eau devrait au contraire faciliter le cas échéant la désalcalisation des sols et améliorer les perméabilités en surface.

Nous noterons enfin que depuis l'arrêt des irrigations par pompage dont la nappe dans le Bou Areg on observe une progression vers l'aval des courbes isoconiques.

#### IV. DRAINAGE DANS LA PLAINE DU BOU AREG

Nous examinons plus particulièrement ici une zone centrale dans la plaine du Bou Areg occupant en front de mer une largeur de 5 km. environ et qui constitue l'exutoire de la plaine du Garet et de son bassin versant (eaux souterraines et superficielles). A l'approche de la mer cette zone comprend la moitié environ des surfaces où la nappe était à moins de 5 m. de profondeur en 1969 (voir carte ci-jointe).

A l'entrée dans le Bou Areg la nappe du Garet semble s'écouler par un couloir de 3 km. de large limité par des zones à transmissivité nulle. Ce couloir délimité ensuite par un tracé perpendiculaire aux courbes isopièzes s'élargit à 4 km. à hauteur du forage 1.024 (à 4,5 km. de la mer) et à 5 km. en front de mer.

Les surfaces équipées pour l'irrigation dans cette zone, sur une profondeur de 6,5 km. à partir de la mer sont de 2.500 ha.

##### IV.1. Bilan de la nappe

Nous faisons le bilan de la nappe dans la zone définie ci-dessus, avant et après irrigation du Bou Areg, et considérons également l'irrigation du Garet.

##### IV.1.α Avant irrigation du Bou Areg (1969)

Les résultats trouvés par estimation directe des apports et prélèvements d'une part, et ceux déduits des mesures de transmissivité d'autre part, devraient coïncider, en fait il n'en est pas ainsi et on

est conduit, pour rapprocher les résultats obtenus par les deux méthodes, à corriger les bases retenues tout d'abord pour chacune d'elles. Il est probable que le sous-sol, sur l'épaisseur de l'aquifère, elle-même très variable, entre 20 m. et 60 m., présente une assez grande hétérogénéité et les transmissivités mesurées en quelques forages, au demeurant peu nombreux, doivent représenter assez mal les transmissivités moyennes dans des coupes perpendiculaires à l'écoulement. Il convient d'abord d'apprécier les apports du Garet.

Le Garet a une superficie de l'ordre de 450 km<sup>2</sup> (plaine proprement dite et bassins versants dominants). La pluviométrie est un peu inférieure à 350 mm./an. Dans la plaine les irrigations par pompage dans la nappe sont importantes et assez variables (1.000 ha, 1.500 ha). Les estimations du débit de la nappe à l'entrée du Bou Areg et intégrant également quelques bassins versants du Bou Areg varient suivant différents auteurs qui ont étudié ce problème entre 100 et 200 L/sec., ce dernier chiffre étant cependant plus couramment admis. Ce débit est difficilement contrôlable à partir du forage 1029 et du puits 1649, implantés sur l'axe du couloir à l'entrée du Bou Areg, proches l'un de l'autre et qui ont cependant des transmissivités très différentes, respectivement 14.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/sec. et 3.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/sec. En admettant que la transmissivité du puits, mesurée le plus récemment, soit égale à deux fois la transmissivité moyenne dans le couloir (la transmissivité étant pratiquement nulle sur les bords du couloir) le débit traversant celui-ci serait de 250 L/sec. (7.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/sec. × 3.000 m. × 0,012 = 243.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/sec.; pente entre izopièzes égale à 0,12).

Le bilan de la nappe, dans la zone du Bou Areg considérée et suivant un profil en front de mer, peut être estimée comme suit :

Apports :	
— Nappe du Garet (200 L/sec.) ..	6,3 hm <sup>3</sup> /an
— Bassins versants propres au Bou Areg (pour mémoire, compris dans nappe du Garet ou n'alimentant pas la zone considérée).	
— Infiltrations dans la plaine (35 km <sup>2</sup> × 400 mm./an × 20 %) ..	2,8 hm <sup>3</sup> /an
— Divers (infiltrations de ruissellements tels l'oued Zeluan) .....	1,9 hm <sup>3</sup> /an
	11,0 hm <sup>3</sup> /an
— Irrigations par pompage (400 ha à 5.000 m <sup>3</sup> /an) .....	2,0 hm <sup>3</sup> /an
— Evaporation en surface due à la présence de la nappe à moins de 5 m. de profondeur (700 ha, 200 mm./an) .....	1,4 hm <sup>3</sup>
	3,4 hm <sup>3</sup>

### *Écoulement en front de mer*

- Écoulement total : 7,6 hm<sup>3</sup>/an soit 243 l./sec.
- Écoulement par km. de front de mer : environ 50 l./sec.

Le bilan ci-dessus s'accorde plus ou moins bien avec les transmissivités mesurées aux forages rencontrés.

A hauteur du forage 1024 le débit déduit du bilan ci-dessus devrait être de 60-65 l./sec./km. alors que celui déduit de la transmissivité mesurée au forage est de 46 l./sec./km. ( $T = 7,10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sec.,  $i = 0,0066$ ).

A hauteur des forages 1019 et 1021 les débits déduits des transmissivités sont très élevés, respectivement 90 l./sec. et 80 l./sec. (forage 1019 :  $T = 27,10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sec.,  $i = 0,003$ ; forage 1021 :  $T = 21,10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sec.,  $i = 0,004$ ). Ces deux résultats ne sont pas confirmés par le débit, déduit de la transmissivité, au forage 510, qui n'est que de 25 l./sec. ( $T = 5,10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sec.,  $i = 0,005$ ). La transmissivité est également faible au forage 509.

Aucune modification logique dans les apports et prélèvements tels que nous les avons indiqués ci-dessus ne peut conduire à des débits unitaires s'accordant avec ceux déduits des mesures de transmissivité aux forages rencontrés.

Après réflexion, il semble que le débit de la nappe à l'entrée dans la plaine du Bou Areg, venant du Garet, doive être sensiblement égal à celui que nous avons retenu (200 l./sec.). La transmissivité moyenne dans un plan perpendiculaire à l'écoulement à hauteur du forage 1024 est certainement un peu supérieure à celle mesurée à ce forage, de l'ordre de  $9,10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sec.

A l'approche de la mer nous pensons que la transmissivité moyenne doit augmenter sans atteindre cependant les valeurs mesurées aux forages 1019 et 1024 et rester de l'ordre de  $15-17 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sec., ce qui donnerait un débit d'écoulement en front de mer de 55 l./sec. à 60 l./sec. Ce débit pourrait être retrouvé en modifiant légèrement les apports et prélèvements dans la partie basse de la plaine tels que nous les avons indiqués plus haut.

#### **IV.1.b. Après irrigation du Bou Areg** (en front de mer)

*A compter en plus :*

- Pertes en profondeur à l'irrigation ... 5,0 hm<sup>3</sup>  
(2.500 ha  $\times$  200 mm./an).
- Pompages supprimés ..... 2,0 hm<sup>3</sup>

*A compter en moins :*

- Diverses infiltrations de ruissellements (collecteurs aménagés) 1,0 hm<sup>3</sup>

### *Écoulement en front de mer*

- Écoulement supplémentaire : 6,0 hm<sup>3</sup>/an, soit environ 200 l./sec. ou 40 l./sec./km. en front de mer.
- Écoulement résultant : 95-100 l./sec./km.

#### **IV.1.c. Bilan après irrigation du Garet**

On envisage d'irriguer 9.000 ha dans le Garet ce qui pourrait apporter à la nappe à l'entrée du Bou Areg quelque 18 hm<sup>3</sup>/an et même plus si on considère que les pompages privés dans la nappe du Garet cesseront en grande partie. Il paraît exclu que ce nouveau débit puisse, au niveau du Garet même, s'écouler par la nappe et des mesures adéquates devront être trouvées pour drainer ce débit, au moins en partie, dans le Garet. La solution «pompage» avec réutilisation de l'eau pour des zones marginales ne serait pas, a priori, très coûteuse et a été envisagée. Une autre solution consistera à drainer la nappe par fossés vers l'exutoire constitué par l'oued Zeluan.

Des apports supplémentaires par la nappe, à l'entrée du Bou Areg, se traduiraient vraisemblablement, au niveau du Bou Areg, par la nécessité de remonter vers l'amont le système de fossés drainants seulement prévu pour le moment à l'aval. Le délai qui doit normalement s'écouler avant l'équipement du Garet (7 à 8 ans en principe) nous laisse le temps de connaître l'évolution de la nappe du Bou Areg sous irrigation.

#### **IV.2. Importance et localisation des débits à drainer**

Nous n'étudions ici que la situation qui sera créée par l'irrigation du Bou Areg. Nous avons tracé (voir page suivante) les courbes donnant respectivement en l./sec./km. et en fonction de la distance  $x$  à la mer, dans des plans perpendiculaires à l'écoulement de la nappe :

— courbe 1 a : le débit de la nappe avant équipement de la plaine (1969).

— Courbe 1 b : le débit à écouler dans une phase intermédiaire de la mise en valeur.

— Courbe 1 c : le débit à écouler après mise en valeur complète.

— Courbe 2 : le débit que peut assurer la nappe sans remonter vers le sol (pente entre isopièzes égale à la pente du terrain).

Les courbes 1, outre les résultats énoncés au chapitre précédent tiennent compte, dans une faible mesure, de quelques considérations annexes. Nous pensons, par exemple, que dans la partie aval de la plaine la mise en valeur sera plus rapide et les pertes par infiltration plus importantes que dans la partie amont ceci devant compenser les éventuelles évaporations dues à la présence de la nappe à faible profondeur.

La courbe 2 a été tracée à partir des transmissivités moyennes définies plus haut après analyse du bilan. Une caractéristique essentielle de cette courbe est la distorsion qu'on observe de part et d'autre de l'abscisse  $x = 3$  km, due à une rupture de pente du terrain naturel.

On observe qu'après mise en valeur complète il conviendra drainer sur une profondeur de l'ordre de 3 km. un débit de 30 l./sec./km., soit sur 3 km<sup>2</sup> un débit annuel de 0.95 hm<sup>3</sup> ou encore une hauteur d'eau voisine de 300 mm. (sensiblement les apports ponctuels à la nappe). A ce moment le drainage devra être assuré essentiellement en partant de l'amont, par contre dans la phase intermédiaire de mise en valeur le drainage devra être assuré en partant de l'aval. Ces considérations ont déterminé la définition d'une première phase de travaux (drains 1 et 2) dans le cadre d'un projet définitif qui en comporte 3 et nous ont conduit à ne pas prévoir de drain complètement à l'aval dont l'efficacité serait de plus limitée par la mer (qui constitue elle-même un drain).

On peut remarquer qu'une augmentation du débit de la nappe à l'entrée du Bou Areg (lorsque le Garet sera équipé par exemple) ferait remonter la courbe 1 e qui pourrait ainsi recouper la courbe 2 bien en amont du kilomètre 3 à partir de la mer. Une estimation plus faible que celle que nous avons retenue des transmissivités moyennes dans la partie amont de la zone étudiée, conduirait au même résultat. Il n'est donc pas exclu que dans l'avenir le système de drainage doive agir plus loin en amont que le kilomètre 3 à partir de la mer.

Une estimation plus élevée que celle que nous avons retenue des transmissivités dans la partie aval de la plaine, notamment à l'approche de la mer, pourrait déplacer légèrement vers l'amont, tout en restant dans la partie basse de la plaine, les secteurs les plus menacés, sans remettre en cause la première phase de travaux envisagés.

Les conclusions qu'on peut tirer des courbes cidessus sont confirmées par l'évolution de la nappe depuis les premières irrigations par le réseau : remontée de celui-ci dans la partie basse de la plaine obligeant dans l'immédiat à prévoir le drainage, remontée plus rapide dans la partie haute (à hauteur du forage 1024 par exemple) la nappe y étant encore à une grande profondeur.

#### IV.3. Solution envisagée

L'importance des débits qu'il y aura lieu de drainer nous oblige à prévoir une ossature primaire constituée de fossés profonds. Ces fossés seront implantés parallèlement à la mer suivant les limites du canevas des canaux d'irrigation qui découpent des blocs de 700 m.  $\times$  400 m. orientés perpendi-

culairement à la mer. Le premier fossé sera implanté à 850 m. de la mer, le deuxième à 1.550 m. et le troisième (dans une tranche ultérieure de travaux) à 2.550 m., à hauteur de la route Nador-Karia Akerman. Cette ossature pourrait être complétée ultérieurement si nécessaire par des fossés intermédiaires ou des drains dans des poches peu perméables.

Compte tenu de l'imprécision sur les débits à évacuer et les coefficients de perméabilité en profondeur, doublée d'une assez grande dispersion des coefficients de perméabilité en surface, il serait illusoire de déterminer les caractéristiques des fossés prévus par des calculs précis. Des considérations pratiques relatives à la construction et à l'entretien des fossés et à la nécessité d'assurer une pente minimum pour l'écoulement vers la mer nous ont conduit à prévoir les fossés dans lesquels le plan d'eau se maintiendra à une profondeur de 2,50 m. Nous nous proposons d'apprécier quelle pourra être l'efficacité de ces fossés.

Dans la zone des fossés, la perméabilité horizontale près de la surface, quoique très variable, peut être considérée comme bonne et prise égale à 2 m./j. La perméabilité en profondeur est beaucoup plus élevée, de l'ordre de 25 m./j. ( $T = 16.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sec.), II (hauteur de l'aquifère) = 50 m.,  $K = 3.10^{-4}$  m./sec. = 25 m./j.). Nous sommes dans le cas d'application de la formule générale d'Ernst (terrain présentant des couches de perméabilité différente) que nous rappelons ci-dessous. Nous considérerons deux couches de perméabilité : K1 et K2 et d'épaisseur D1 et D2.

$$h = q \frac{(D1 \quad D2)}{(K1 \quad K2)} + \frac{L2}{8 (K1 D1 + K2 D2)} + L \cdot W_r$$

$h$  : charge hydraulique sur le drain à la limite d'influence du drain, en mètre.

$q$  : débit à drainer en m./j.

D1, D2 : épaisseurs des couches aquifères en mètres de perméabilités K1, K2.

K1, K2 : perméabilités en m./j.

L : espacement entre drains.

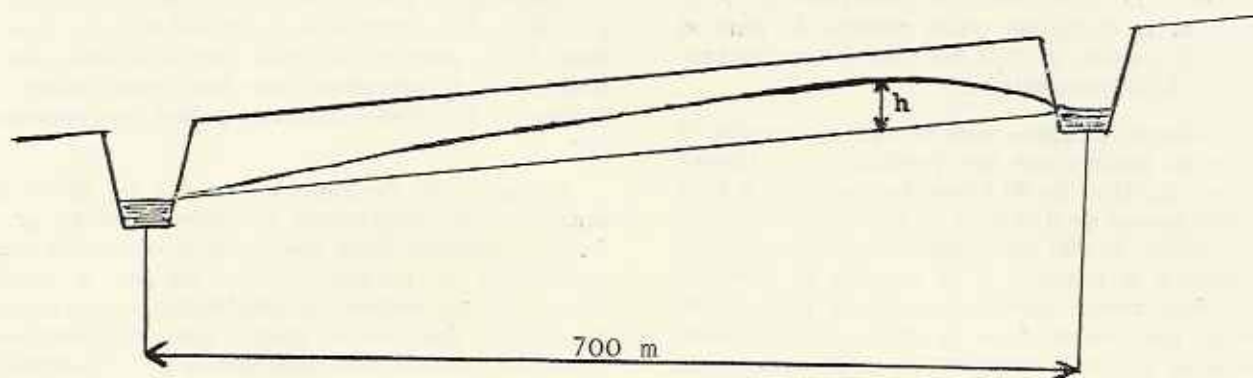
$W_r$  : expression complexe égale à :

$$W_r = W_0 + \frac{0.733}{K1} \log \frac{0.8 d}{U}$$

$W_0$  donné par table ( $W_0$  K1 fonction de  $\frac{K2}{K1}$

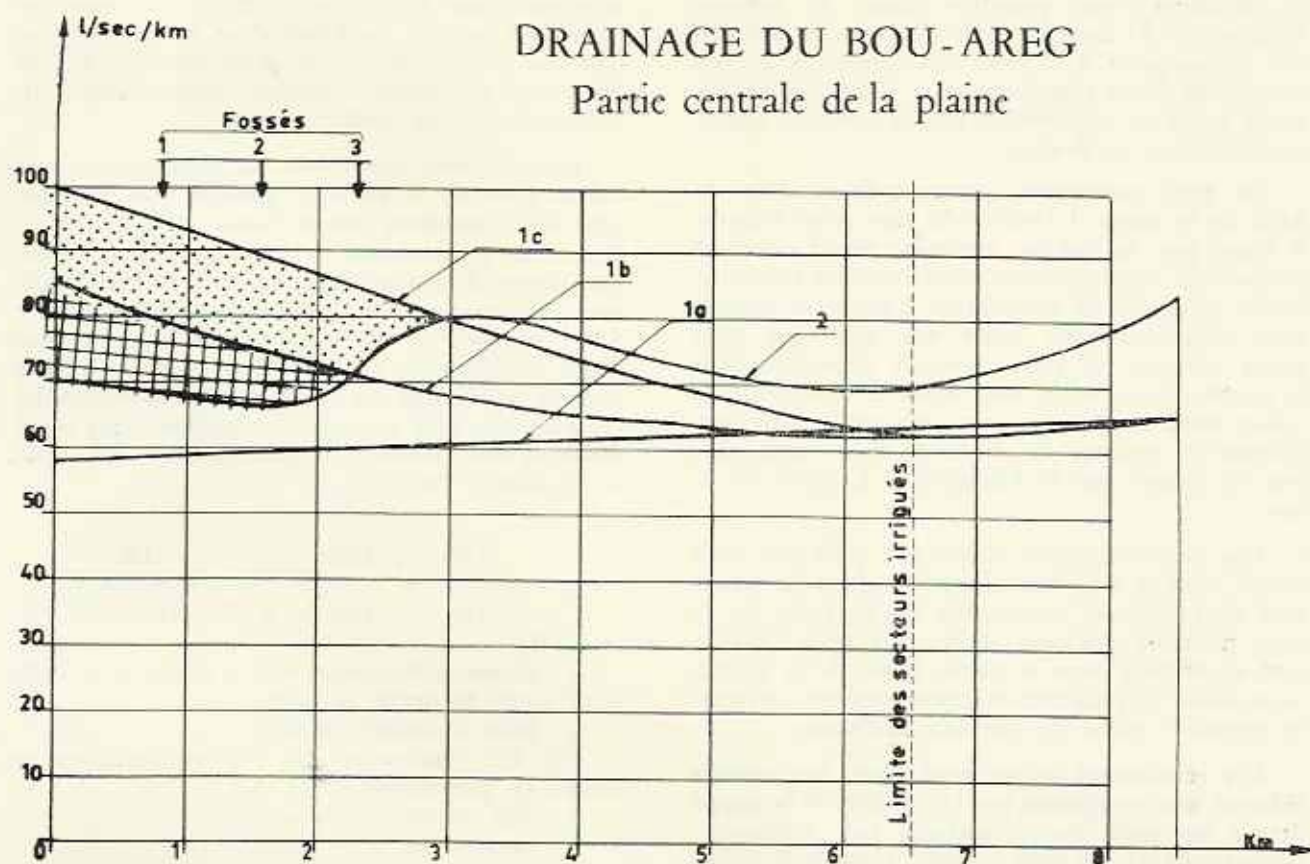
$\frac{D2}{D1}$  et  $\frac{D2}{D1}$ ).

$d$  : distance du plan d'eau dans le drain à la base de la première couche (en m.).



## DRAINAGE DU BOU-AREG

### Partie centrale de la plaine



- 1a - débit de la nappe avant équipement (1969)
- 1b - débit à écouler dans une phase intermédiaire de la mise en valeur
- 1c - débit à écouler après mise en valeur complète
- 2 - débit maximum possible de la nappe

en abscisse : distance à la mer  
 en ordonnée :  $l/sec$  par kilomètre de front de nappe

U : périmètre mouillé dans le fossé.

Dans notre cas particulier nous considérerons qu'il existe, préalablement à l'action des fossés, un écoulement souterrain, déterminé par une pente de la surface de la nappe égale à la pente de la surface du terrain. La charge hydraulique « h » à retenir dans la formule d'Ernst doit être prise égale à la charge hydraulique sur le drain diminuée de la dénivelée du terrain naturel entre le drain et le profil d'application de la charge (voir figure ci-dessous), ceci pour l'action du drain à l'amont. L'action du drain à l'aval paraît au contraire devoir être conditionnée par la charge hydraulique sur le drain, qui reste faible.

Nous avons effectué les calculs dans les deux cas suivants :

- a) K1 = 2 m./j.      D1 = 10 m.  
     K2 = 25 m./j.      D1 = 40 m.  
 b) K1 = 2 m./j.      D1 = 5 m.  
     K2 = 25 m./j.      D2 = 25 m.

Dans les deux cas :

U = 1,50 m. (largeur à la base des fossés : 1,00 m.).

W<sub>0</sub> K1 = 0,55 (donnée par table).

Il vient, tous calculs faits :

- a)  $h = q \left( 6,6 + \frac{L^2}{8160} + 0,5 L \right)$   
 b)  $h = q \left( 3,5 + \frac{L^2}{5080} + 0,35 L \right)$

Nous estimons que l'action du fossé à l'aval sera limitée à 100 ou 200 m. L'écartement L, à faire intervenir dans la formule, est donc de  $2 \times 500$  m. = 1.000 m. ou  $2 \times 600$  m. = 1.200 m. Nous avons alors :

- a) L = 1.000 m.      h = 630 q.  
     L = 1.200 m.      h = 780 q.  
 b) L = 1.200 m.      h = 710 q.

Pour h = 1,25 m. (terrain assaini sur 1,25 m.) q varie suivant les formules ci-dessus entre 2,3 mm./j. et 1,6 mm./j.

Pour h = 1,50 m. (terrain assaini sur 1,00 m.) q varie suivant les formules ci-dessus entre 2,7 mm./j. et 2,00 mm./j.

Au chapitre précédent nous avons estimé qu'il y aurait lieu de drainer une hauteur d'eau de 300 mm./an, soit un peu moins de 1 mm./j. Si l'ensemble de nos hypothèses se vérifiait, notre système de fossés devrait fonctionner de façon satisfaisante en régime normal, par contre, en régime transitoire, lors du drainage d'un sol complètement saturé par exemple, les durées de rabattement pourraient être excessives. On déduit, en effet, des formules cidessus, que pour h : 2,50 m. et L : 1.000

m., q est voisin de 4,5 m./j. ce qui, pour une porosité efficace de 0,06, donne un abaissement de la

nappe de l'ordre de 0,15 m./j.  $\left( 2 \times \frac{4,5 \text{ mm./j.}}{0,06} \right)$

ce qui est peu à ce stade d'évolution de la nappe. Il est peu probable, cependant, que des pluies puissent saturer le sol, les doses de lessivage éventuelles devront, quant à elles, être limitées à des valeurs compatibles avec l'efficacité des fossés ou être appliquées sur des sols nus.

La salinité actuelle de la nappe est variable, souvent excessive. A ne considérer que le seul bilan des sels apportés par l'eau d'irrigation (0,7 mg./l.), elle pourrait se limiter à plus ou moins long terme à 2-2,5 mg./l. sans lessivage excessif, mais il faut compter également avec les apports amont à la nappe, notamment en provenance du Garet. On peut noter cependant que dans la partie amont de la plaine du Bou Areg la salinité de la nappe est assez faible (1 g./l.) ce qui semblerait prouver que la salinité est avant tout due à une concentration des sels existants dans une nappe naturellement peu chargée et localement à une invasion de sels marins.

#### IV.4. Caractéristiques des fossés

Notons, tout d'abord, qu'il a été jugé préférable de dissocier les fossés de drainage des deux grands collecteurs d'eaux de ruissellement, les collecteurs Sidi Amar et Zeluan, qui ont des profils au voisinage de la mer à très faible pente, larges et peu profonds et où les faibles débits auraient déterminé des écoulements divagants et difficiles à maîtriser.

Les caractéristiques des fossés n'appellent pas de grands commentaires. Nous avons déjà indiqué ci-dessus que le plan d'eau se situerait à une profondeur de 2 m. 50, la profondeur totale pourra atteindre 3,00 m. La largeur au fond a été fixée à 1,00. Les pentes, suivant les différents tronçons, sont comprises entre 1 ‰ et 1,50 ‰.

Les fossés recevront, dans les secteurs où ils se trouvent, les eaux des colatures de surface réalisées en même temps que le réseau d'irrigation et évacueront ainsi les eaux de ruissellement de ces secteurs dont le débit est nettement supérieur à celui des eaux de drainage.

Il y a lieu de remarquer que l'importance des travaux, une fois fixées la profondeur des drains et la pente, cette dernière conditionnée en partie par des facteurs indépendants du débit maximum à transporter, dépend beaucoup plus de la pente des talus que de la largeur à la base des fossés. La pente des talus a été fixée à 3/2 ce qui paraît être la valeur maximum pouvant être retenue, compte tenu des constatations déjà faites lors du creusement des collecteurs d'eaux de ruissellement.

Tout surdimensionnement, lié à la largeur au fond des fossés, n'entraîne qu'un faible accroissement des dépenses et permet de faire face aux détériorations éventuelles des fossés.

Les débits caractéristiques des fossés seront progressifs vers l'aval jusqu'à atteindre, pour les deux exutoires au débouché à la mer, 2 m<sup>3</sup>/sec. environ, le plan d'eau étant maintenu à 2,50 m., ceci pour la largeur de l'ensemble du projet qui intéresse 6 km. Le débit moyen de drainage à assurer suivant nos calculs ci-dessus est de 30 L./sec./km.

#### IV.5. Partie occidentale du projet

Nous donnons, pour compléter l'information sur le drainage dans le Bou Areg quelques informations sur la partie occidentale du projet intéressée par le système de fossés prévus. Cette partie se présente assez différemment de celle étudiée plus haut :

— Les débits à drainer sont nettement moins élevés, les surfaces irriguées y étant moins importantes et la zone n'étant pas intéressée par la nappe du Garet. Cependant les bassins versants dominants sont relativement importants (60 km<sup>2</sup> intéressant un front de 5 km.) et pourraient apporter à la nappe un débit annuel de 2,4 hm<sup>3</sup> (60 km<sup>2</sup> × 400 mm./an × 10 %, soit 80 l./sec. par km. de front de mer. Compte tenu des pertes ponctuelles dans la plaine (pluie et irrigations) le débit à drainer devrait se situer, en front de mer, entre 40 et 50 L./sec.

— Les perméabilités en profondeur, surtout au voisinage de la mer, sont bonnes et diminuent en remontant vers l'amont.

— Les perméabilités au voisinage de la surface sont très variables et souvent très mauvaises et il est probable que, sauf évolution favorable de celles-ci après irrigation, il y aura lieu de compléter les fossés par un réseau de drains dans des secteurs limités.

En résumé, il est à craindre dans cette partie du projet des phénomènes quelque peu assimilables

à des nappes perchées rendant l'action des fossés insuffisante et nécessitant un drainage dense par drains enterrés. Une évolution favorable des perméabilités en surface, liée à la désalinisation, est cependant probable et devrait entraîner, tout au moins, une homogénéisation de celle-ci vers des valeurs moyennes, ce qui permettrait d'établir rationnellement un réseau de drains.

#### CONCLUSION

Le réseau des fossés (2) qui va être réalisé dans l'immédiat devrait parer aux menaces les plus urgentes de remontée de la nappe dans la partie basse de la plaine du Bou Areg, actuellement la plus en danger. Ce réseau constitue une première tranche obligatoire de travaux et devra être complété vraisemblablement dans un avenir assez proche, par un troisième fossé, plus à l'amont, et peut-être très rapidement par un réseau de drains enterrés dans les secteurs limités dans la partie occidentale du projet. Avant d'engager ces travaux, il apparaît préférable d'observer les résultats sur l'évolution de la nappe de ces deux premiers fossés, une modification favorable des perméabilités en surface pouvant par ailleurs intervenir.

Il conviendra également de suivre attentivement l'évolution des salures du sol et de la nappe qui normalement vont diminuer sous réserve de lessivages et d'un drainage efficace. Une augmentation de la salure due au voisinage de la mer n'est pas à craindre, sauf éventuellement au voisinage immédiat du rivage, la nappe phréatique devant rester en toutes hypothèses en charge par rapport au niveau de la mer.

On ne saurait trop insister par ailleurs sur la précarité de l'équilibre qui pourra être atteint eu égard à un accroissement éventuel substantiel des apports à la nappe du Bou Areg par celle du Garet tel qu'il pourrait se produire si aucune précaution n'était prise lors de l'irrigation de cette plaine. L'équipement en réseau d'irrigation du Garet devra aller de pair avec la mise en œuvre de solutions propres à réduire les apports à la nappe.

La Nappe phréatique salée  
du Tafilalt, son contrôle pour  
le développement de la mise  
en valeur.

**INTRODUCTION**

La mise en service en 1971 du barrage Hassan Addaïhil sur l'oued Ziz va entraîner une modification importante des conditions de la mise en valeur de la plaine du Tafilalt dans le Sud du Maroc ; en effet, la plus grande partie de son approvisionnement en eau est maintenant constituée par des eaux régularisées alors qu'elle l'était avant par des eaux de crues ; le caractère aléatoire des ressources disponibles va donc se trouver considérablement réduit. Aux équilibres fragiles concernant la salure des sols, celles des eaux et la profondeur de la nappe que les agriculteurs avaient pu maintenir grâce à des moyens enseignés par la tradition, il va falloir en substituer d'autres. Leur recherche demande à être soigneusement réfléchie, car toute erreur pourrait se traduire par des dégradations irréversibles et par des souffrances intolérables pour une population déjà déshéritée naturellement.

Le drainage des eaux, naturel ou artificiel est un élément capital des solutions à étudier et c'est pourquoi cette communication avait sa place dans le colloque sur le drainage.

Il importe donc avant d'aborder l'examen des solutions partielles déjà adoptées et des solutions complémentaires envisageables, de rappeler les principales composantes du milieu naturel ainsi que la situation avant transformation.

**1 LE MILIEU NATUREL**

La plaine du Tafilalt est située au Sud-Est du Maroc dans la zone présaharienne entre les latitudes 31° 30' et 31°. Elle constitue la vallée commune des oueds Ziz et Rheris, plaine alluviale dont le centre occupé par les palmeraies du Tizimi (ou d'Erfoud) et par les palmeraies du Tafilalt sensu stricto (ou de Rissani). L'altitude moyenne est de 750 m.

Le climat du Tafilalt est de type semi-désertique : la pluviométrie moyenne annuelle calculée sur 25 ans est de 60 mm. à Rissani et de 70 mm. à Erfoud ; elle présente une très grande inégalité annuelle et interannuelle. La température moyenne annuelle est de 21° 7 à Rissani et la moyenne des maxima dépasse toujours 40° en juillet. L'évapotranspiration est très élevée à l'extérieur des palmeraies, plus faible à l'intérieur. Pour en donner une idée, disons qu'à Ksar-es-Souk l'évaporation moyenne annuelle mesurée sur surface libre est de l'ordre de 2.500 mm., sous palmeraie elle est de 1.280 mm.

Les sols du Tafilalt sont classés dans la catégorie gris désertique. Ils sont peu évolués et sont essentiellement limono-sableux et en quelques emplacements limono-sablo-argileux.

On peut dire que c'est l'homme qui a fait ces sols puisqu'il sont constitués des alluvions apportées par les eaux de crues dérivées (leur turbidité moyenne est de 2 % mais elle peut atteindre 40 g./l. en tête de crue).

Le niveau du sol du Tafilalt se relève de 0,8 à 1,2 cm. par an, soit d'environ 1 mètre par siècle. La profondeur des sols varie de 1 à 8 mètres avec une dominante aux environs de 6 mètres.

Ces sols ont une structure peu différenciée. La plupart sont de très bonne qualité.

L'étude pédologique semi-détaillée au 1/50.000° faite en 1973 sur 23.114 ha a rangé les sols comme suit :

Classe II (sols présentant un grand potentiel de fertilité, malgré quelques limitations (faible profondeur) et sous réserve de quelques améliorations : 18.877 hectares (82 %).

Classe III (sols à texture défavorable demandant des améliorations importantes pour une mise en valeur intensive) : 3.256 (14 %).

Classe IV (sols salés) : 909 ha (4 %).

La porosité naturelle de ces sols est généralement faible, mais la perméabilité d'ensemble est importante grâce au réseau de vides créés par les vers (lombrics) et les racines (palmiers, luzerne) qui descendent très profondément dans le sol.

Du point de vue hydrographique la plaine du Tafilalt est dominée principalement par les bassins du Ziz (7.835 km<sup>2</sup>) et du Rhéris (9.918 km<sup>2</sup>) dont les vallées y confluent.

L'ensemble de ces deux bassins et des bassins versants secondaires débouchant dans le Tafilalt s'étend sur plus de 20.000 km<sup>2</sup>, dont 44 % compris dans le Haut-Atlas.

Le régime annuel de ces oueds se caractérise par deux saisons de hautes eaux, automne et printemps, séparées par deux périodes d'étiage, hiver et été. Les apports moyens annuels du Ziz sont de 150 Mm<sup>3</sup>/an, ceux du Rhéris légèrement supérieurs à 100 m<sup>3</sup>. Ils sont très variables d'une année à l'autre.

Il sera parlé de la géologie de l'aquifère du Tafilalt plus loin dans l'étude de la nappe phréatique.

La densité de la population est très élevée : 500 habitants au km<sup>2</sup> si on se rapporte au domaine irrigué et l'agriculture est de loin pour elle la plus grande source de revenus.

## 2. SITUATION AVANT MISE EN SERVICE DE HASSAN ADDAKHIL (situation actuelle)

*Remarque :* Lorsque dans la partie de ce rapport, on parlera de situation actuelle il faudra entendre en fait la situation avant la mise en service du barrage Hassan Addakhil.

Présentement tous les équipements n'étant pas encore mis en service, le Tafilalt se trouve dans une période de transition.

### 2.1. - Mise en valeur et utilisation actuelle des eaux

Les cultures se font dans les palmeraies qui sont avant tout des périmètres de cultures de céréales (blé et orge), de luzerne et de légumes, jardinés en sous étages de palmiers dattiers (800 à 900.000) accompagnés de quelques arbres fruitiers (surtout figes). Elle est très étendue (surface 630 km<sup>2</sup>, longueur au Tizimi).

L'ensemble des palmeraies couvre 17.000 hectares nets :

- 1.500 hectares dispersés de palmeraies denses irriguées par des eaux pérennes (khattara, sources),
- 10.000 hectares assez régulièrement irrigués (au moins une irrigation en année moyenne),
- 5.000 hectares cultivés irrégulièrement en bour sous des palmiers clairsemés.

La plus grande partie de l'eau d'irrigation provient de la dérivation des eaux de crues de l'oued Ziz et a donc un caractère aléatoire. Les ressources pérennes proviennent des eaux superficielles, de quelques sources, des eaux prélevés par khattaras ou galeries d'irrigation et pompage.

Nous comprenons déjà que les surfaces irriguées et le degré d'intensité des irrigations sont très variables d'une année à l'autre.

Le bilan des ressources en eau utilisées par année moyenne a été établi comme suit :

Ressources	Volume annuel moyen (Mm <sup>3</sup> )	% des ressources potentielles
Eaux de crues .....	Ziz .....	60
	Rhéris .....	13
	Total .....	95 à 110
Eaux superficielles semi-pérennes (1), Ziz .....	50	100
Eaux superficielles pérennes .....	Ziz .....	100
	Rhéris .....	95
Eaux souterraines .....	Puits .....	1 à 2
	Khettara .....	6 à 15
	Pompage .....	0,7 à 8
	Total .....	8 à 20 (moyenne 14)
Total .....	170 (156 à 187)	50 ? 40 environ

Ce bilan fait ressortir :

■ l'importance des eaux de surface dans l'alimentation du Tafilalt : plus de 90 %,

■ l'importance particulière des eaux de crues : 60 % du total,

■ la faible part des eaux souterraines exploitées (14 %) : elles constituent néanmoins la plus grande partie des ressources en eau pérenne,

■ la faible part des eaux de crues du Rhéris qui peuvent être dérivées. Ceci tient à ce que le Rhéris domine mal le Tafilalt et à la difficulté de construire des barrages de dérivations du fait de la largeur du lit et de la hauteur des berges rive gauche.

Les quantités utilisables d'eau de crues sont naturellement très variables d'une année à l'autre ; elles sont d'autre part disponibles pendant peu de temps, moins de un mois par an en moyenne. Pendant la période 1933-1959, soit pendant 27 ans, le nombre annuel de jours de crue a varié de 3 à 81, et le nombre de crues de 2 à 13 par an.

Elles sont dérivées sur l'oued Ziz par treize barrages et sur l'oued Rhéris par deux barrages de construction récente.

Suivant la coutume générale au Maroc, l'amont a priorité sur l'aval, c'est-à-dire que lorsqu'un barrage est atteint par une crue, sa séguia peut dériver le débit maximal qu'elle peut absorber sans limitation de temps.

C'est ainsi que la plaine de Tizimi dont l'irrigation est commandée par un seul barrage, celui d'El Borouj, qui a une capacité de dérivation de 10 à 15 m<sup>3</sup>/sec., utilise 80 Mm<sup>3</sup> d'eaux de surface en moyenne chaque année :

■ 10 à 15 m<sup>3</sup>/sec. pendant les crues du Ziz de débit supérieur à ce débit, soit 26 Mm<sup>3</sup>,

■ tous les débits du Ziz inférieurs à 10-15 m<sup>3</sup>/sec., soit 60 Mm<sup>3</sup>, alors que la palmeraie de Rissani beaucoup plus grande reçoit 70 Mm<sup>3</sup> d'eaux de crues uniquement,

■ 50 à 60 Mm<sup>3</sup> du Ziz pendant les fortes crues, c'est-à-dire pendant un nombre de jours faibles (25 jours en moyenne),

## ■ 15 Mm3 du Rhéris.

De même, pour la répartition des eaux entre les riverains d'une même séguia la priorité est donnée à l'amont : chaque riverain irrigue à son tour quand l'eau arrive au niveau de son champ, c'est-à-dire quand ceux placés au-dessus de lui ont fini d'irriguer (système du M'sou).

Ces règles connaissent quelques exceptions qui en atténuent un peu les effets.

L'exploitation des eaux souterraines se fait essentiellement grâce à des puits traditionnels, des khattaras ou des stations de pompage.

Près d'un millier de puits traditionnels avaient été dénombrés en 1962 dont la moitié utilisée est équipée d'arhour. Le puisage se fait par remplissage d'une outre (dlou) tiré par un animal.

Ils sont rares dans le Tizimi, on les rencontre essentiellement dans plusieurs secteurs de la plaine de Rissani, en particulier dans le Siffa.

Un arhour ne permet d'irriguer au maximum qu'un 1/4 d'hectare mais bien souvent moins de 500 m<sup>2</sup>.

Dans beaucoup de cas, d'ailleurs, l'irrigation par puits ne constitue qu'un appoint à l'épandage des eaux de crue.

Les khattaras sont des galeries drainantes, amenant pour l'irrigation l'eau de la nappe en surface.

Elles se trouvent principalement en rive droite du Rhéris et au Nord-Ouest du Tafilalet. Une quarantaine environ fonctionnent dont 5 ont été bétonnées par l'Administration.

Le débit total de ces khattaras varie en fonction de l'état de recharge de la nappe. Le débit est sensiblement constant au cours de l'année.

Les stations de pompage construites par l'Administration sont actuellement au nombre de 14 ; 8 nouvelles stations ont été mises en service depuis 1968 dont le débit d'équipement varie de 10 à 100 l./sec., le débit d'équipement total étant de 300 l./sec. 6 anciennes stations ont été rééquipées.

La bonne utilisation de ces stations de pompage se heurte à de nombreuses difficultés qui font ressortir les problèmes posés par les attitudes de la population, les structures sociales et foncières et les niveaux de ressources en eau traditionnelles.

## 2.2. - Hydrogéologie - La nappe phréatique

Il existe une nappe phréatique et deux nappes profondes sous la plaine du Tafilalet, mais seule la nappe phréatique a de l'importance dans les problèmes de mise en valeur.

Cette nappe a fait l'objet depuis plus de 20 ans de nombreuses observations et études.

### 2.2.1. - Principales caractéristiques de la nappe phréatique

La nappe phréatique se trouve dans la couverture quaternaire du Tafilalet.

40 km. et largeur variant de 3 à 18 km.), mais elle est peu puissante et peu profonde.

La profondeur du substratum imperméable varie de 5 à 30 mètres, cette dernière profondeur n'étant dépassée que sur une faible superficie, dans la partie aval de la plaine de Rissani ; dans le Tizimi, elle ne dépasse pas 30 mètres.

En raison de la complexité de la disposition et de l'imbrication des dépôts, les horizons perméables ne se répartissent pas suivant une règle simple. Dans l'ensemble les perméabilités tendent à diminuer d'amont en aval, mais dans le détail elles présentent une grande hétérogénéité. A remarquer que dans la plaine de Rissani, il existe des sortes de lits fossiles d'alluvions graveleuses très perméables qui constituent des axes de drainage privilégiés.

La perméabilité est :

■ élevée ( $K = 10^{-3}$  à  $3.10^{-2}$  m./sec.) pour les alluvions sablo-graveleuses,

■ moyenne ( $K = 10^{-5}$  à  $5.10^{-2}$  m./sec.) pour les conglomérats et les calcaires lacustres,

■ faible ( $K = 10^{-6}$  à  $10^{-5}$  m./sec.) pour les marnes lacustres, les calcaires compacts ainsi que la plupart des limons.

La nappe présente un gradient hydraulique moyen de 2 ‰ avec des maxima de 5 ‰ et des minima de 0,4 ‰.

Un relèvement de l'Atlas ferme la plaine du Tafilalet en empêchant pratiquement l'écoulement de la nappe à l'aval.

De même le sous-écoulement de la nappe du Tizimi à son aval est considérablement gêné par la présence d'un seuil naturel au droit de Bouia.

L'aquifère du Tafilalet se présente donc comme un bassin partagé lui-même en deux parties par une cloison presque étanche entre Tizimi et la plaine de Rissani.

Un projet de rabattement de la nappe à l'aval de la plaine de Rissani a été étudié et a vu un commencement de réalisation.

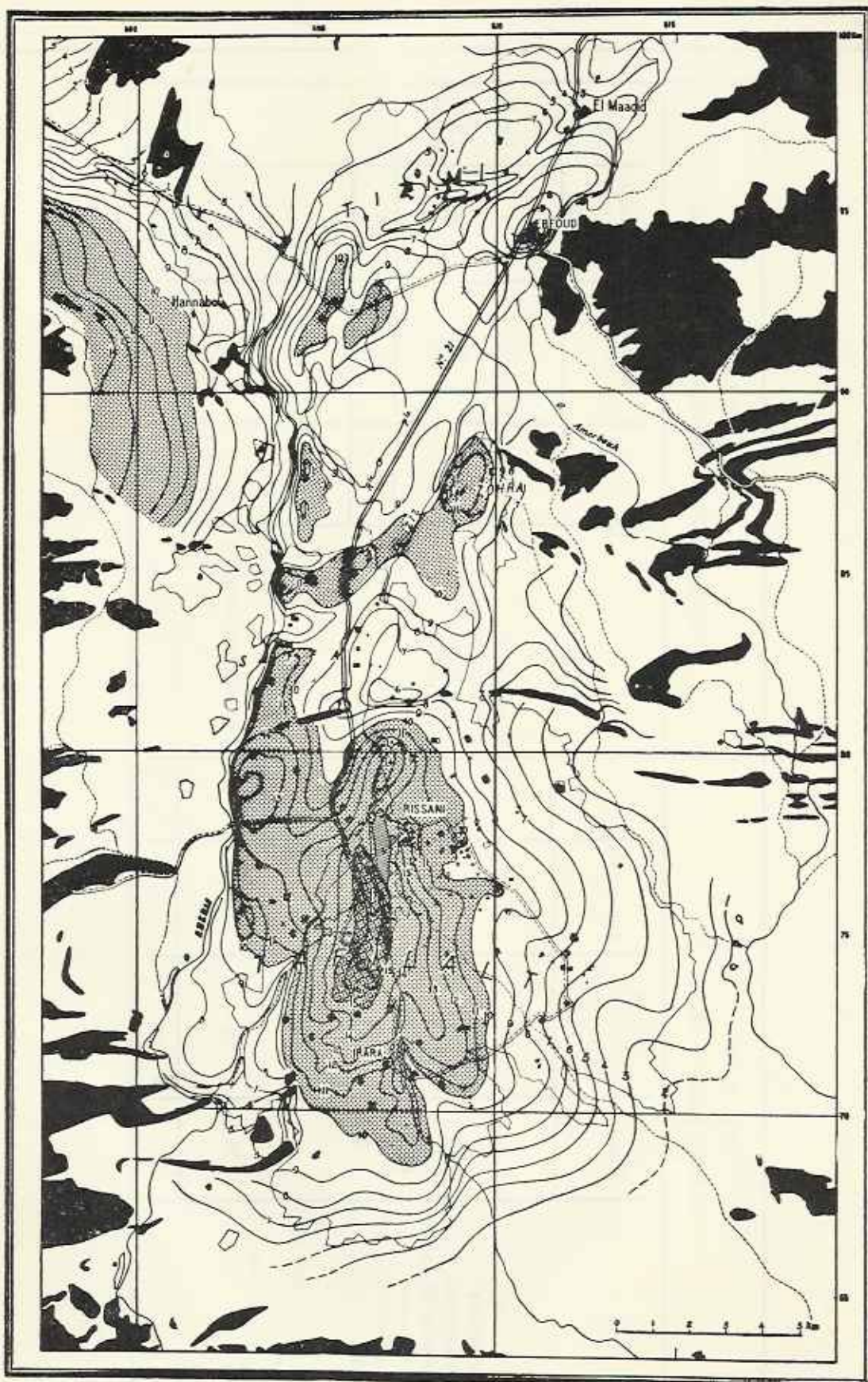
Il sera présenté plus loin mais déjà dans cette partie consacrée à la nappe phréatique, il sera insisté sur la partie aval de cette nappe qui a été étudiée d'une manière détaillée pour ce projet.

*A C T I F*  
ALIMENTATION (Mm3)

	Tizimi	Tafilalt du Rhéris et rive droite du Rhéris	Ensemble de la nappe	%
Précipitations (infiltrations) .....	0,3	0,7	1	1,4 %
Écoulement de l'amont et affluences .....	4 à 5	15	14	20 %
Infiltrations dans les oueds .....	3	7	10	4 %
Infiltrations des eaux épanchées pour l'irrigation : Ziz .....	15	25	40	64 %
Rhéris .....	23	53	70	100 %
Totaux ..				

*P A S S I F*  
EXUTOIRES ET PRELEVEMENTS (Mm3)

	Tizimi	Tafilalt et rive droite	Ensemble de la nappe	%
Emergences .....	0,5	2,5	3	4,3 %
Exutoires occultes (écoulement à l'aval)	6	2	2	2,9 %
Exploitations .....	0,5	13,5	14	20 %
Totaux ..	7	18	19	27,2 %
Evapotranspiration ..	16 (70 %)	35 (66 %)	51	72,8 %
Totaux ..	23	53	70	100 %



~ Isobathe de la nappe phréatique } en période d'étiage moyen  
 10 Profondeur en mètres  
 (ou puissance moyenne de la zone d'aération de la nappe)  
 o Source

Fig. 40 : Profondeur de la nappe phréatique

### 2.2.2. - Alimentation de la nappe

Le tableau ci-dessous donne le bilan alimentation et décharges en année moyenne en distinguant la nappe du Tizimi et celle du Tafilalt - rive droite du Rhéris.

L'examen de ce tableau montre que l'alimentation de la nappe est assurée essentiellement par l'infiltration d'eaux superficielles (80 %), et tout particulièrement (64 %) par infiltration d'une partie de celles dérivées par l'irrigation.

Comme il a été dit, cette alimentation se fait en très grande partie à partir d'eaux de crue ou semi-pérenne présentant dans leur disponibilité une grande variabilité annuelle et interannuelle.

Les observations simultanées des volumes d'eau épandus pour l'irrigation et des variations de niveau de la nappe ont permis de calculer les coefficients d'infiltration des eaux d'irrigation ; il est pour l'ensemble de la plaine de 35 %. Mais on constate pour la plaine du Tizimi et celle de Rissani des valeurs très différentes. Cette différence est liée à la variation du coefficient d'infiltration en fonction de l'importance des débits dérivés ; c'est ainsi qu'au Tizimi, pour les débits dérivés inférieurs à 10 m<sup>3</sup>/sec., dont une partie a un caractère semi-pérenne, le coefficient d'infiltration est estimé à 10 % du fait que les modules d'irrigation sont plus faibles et que la part évapotranspirée au droit des irrigations est très importante (palmiers).

Pour les eaux de crue proprement dite (les seules que peut utiliser la plaine de Rissani) on estime par contre à 40 % la valeur de ce coefficient d'infiltration.

C'est ainsi que sur les 45 Mm<sup>3</sup> d'apports à la nappe provenant des épandages pour irrigation, 15 Mm<sup>3</sup> s'infiltreraient au Tizimi et 30 Mm<sup>3</sup> dans la plaine de Rissani.

Lorsque l'on considère d'une part, l'importance des doses d'irrigation fournies et d'autre part l'existence de séguis non revêtues dans des sols perméables, les coefficients d'infiltration évalués paraissent très faibles. Ils sont, en effet, en moyenne du même ordre de grandeur que ceux rencontrés dans un périmètre moderne en irrigation gravitaire.

Cela s'explique par la présence généralisée dans les parties cultivées de palmiers dont le système racinaire très profond utilise l'eau sur une tranche très épaisse de sol.

### 2.2.3. - Décharge de la nappe

Les exutoires occultes sont les exutoires Sud-Est vers la vallée du Ziz et les exutoires Sud-Ouest vers la vallée du Rhéris.

Les valeurs des prélèvements suivant les différents modes d'exploitation ont été données plus haut.

On remarque la grande importance du poste évapotranspiration auquel on pourrait ajouter le poste exploitation puisqu'il correspond bien à de l'eau d'irrigation évapotranspirée.

Le poste évapotranspiration proprement dit, comprend :

- Une partie importante (40 Mm<sup>3</sup> environ) servant à la consommation des palmiers dont le nombre avoisine le million ; la très grande majorité n'est pas irriguée directement et s'alimente dans la frange capillaire de la nappe.

- L'eau de la nappe à faible profondeur qui remonte par capillarité et s'évapore sur sol nu, surtout à l'extrémité aval du Tafilalt au droit de la Sebkhia Mesguida.

Ce volume ne devrait pas dépasser 10 Mm<sup>3</sup>. Il a été estimé en 1962, à partir des mesures faites cette année-là à 285 l/s. (9 Mm<sup>3</sup>/an).

Notons que de nombreuses observations faites ont permis d'établir la courbe de l'évolution du résidu sec de la nappe en fonction de sa distance au sol.

On constate qu'à partir de 5 à 6 mètres la salinité augmente très vite quand la profondeur de la nappe diminue.

Cette relation est liée à celle de la transmission de la chaleur en fonction de la température.

Si on additionne pour les palmeraies les volumes d'eau évapotranspirés directement par irrigation et ceux évapotranspirés naturellement à partir de la nappe, on constate qu'ils représentent 96 % des apports.

L'évapotranspiration se produit en très grande partie au droit mêmes des zones d'alimentation. La vitesse d'écoulement moyenne de la nappe est donc très faible et la durée théorique de l'écoulement de l'eau de l'amont à l'aval serait de l'ordre d'une trentaine d'années.

Le taux de renouvellement, c'est-à-dire la fraction de la réserve totale renouvelée annuellement en moyenne, est de 0,3 à 0,7 ; la durée de renouvellement est de 1,5 à 3 ans.

### 2.2.4. - Régime de la nappe phréatique Variabilité des niveaux piézométriques

Au Tizimi la nappe est, en période d'étiage, profonde de 4 à 12 mètres avec une zone de moindre






-  Zone de dilution
-  Zone neutre
-  Zone de concentration

FIG. 48 : Zones de concentration et de dilution de la nappe phréatique

profondeur (à 6 mètres) de long d'un lit fossile du Ziz où le sol est déprimé de 1,5 à 2 mètres.

Dans la plaine de Rissani, la profondeur de la nappe varie en période d'étiage stabilisé entre 4 et 18 mètres. Elle décroît assez régulièrement du cœur de la palmeraie à la périphérie.

En période de recharge maximale de la nappe,

les profondeurs varient entre 1 et 14 mètres. Mais les fluctuations de la profondeur de la nappe en relation avec la variabilité des apports par infiltration sont généralement importantes au cours d'une même année et d'une année à l'autre.

Le tableau ci-dessous donne la fréquence des profondeurs sur une surface de 520 km<sup>2</sup>.

Profondeur (en m.)	Pourcentage de la surface de la nappe étudiée	
	En période d'étiage moyen	En période de recharge maximale
Moins de 2 mètres .....	16	22
Moins de 5 mètres .....	37,5	63,1
Moins de 10 mètres .....	80,8	96,2
Moins de 15 mètres .....	99,1	100

Les recharges saisonnières peuvent atteindre 8 mètres en année très exceptionnelle, mais les valeurs les plus fréquentes sont de 3 à 5 mètres en année exceptionnelle, 0,5 à 1 mètre en année moyenne et 0,5 mètre en année pauvre.

Elles dépassent rarement 3 mètres. Au cœur des périmètres irrigués des zones de faible recharge coïncident parfois avec des zones bien drainées naturellement.

Les variations interannuelles de la nappe ont été étudiées sur une période de 20 ans.

Elles ne sont pas apparues d'un ordre très supérieur aux variations annuelles ; elles sont en moyenne deux fois plus importantes.

#### 2.2.5. - Hydrochimie

Les eaux de la nappe phréatique sont concentrées à des degrés très variés de 0,8 jusqu'à 70 grammes par litre. Sur 50 % de sa surface la nappe a une consommation supérieure à 5 g./l., sur 75 % supérieure à 3 g./l., sur 4 % inférieure à 2 g./l.

Le sel est apporté en grande partie par les eaux de surface infiltrées. Celles-ci ont une concentration généralement comprise entre 0,4 g./l. et 5 g./l.

On évalue ainsi à 55.000 tonnes les quantités de sels amenées annuellement dans la plaine.

Les zones de concentration maximale sont avant tout le Sud de la plaine, le Nord-Ouest du Tizimi et divers secteurs plus localisés dans les palmeraies ; l'isocône 10 g./l. coïncide souvent avec la lisière de la palmeraie, l'isocône 15 g./l. avec la limite aval des palmeraies de la plaine de Rissani. On peut donc considérer d'un point de vue très global que la nappe se concentre de l'amont vers l'aval.

Mais l'inverse est assez souvent vrai.

Dans leur immense majorité, les eaux analysées sont des eaux chlorurées sodiques. Les eaux sulfatées sont très rares.

Nous nous arrêtons sur les résultats des observations faites sur les variations de la concentration, parce qu'ils peuvent présenter de l'intérêt pour prévoir le sens de l'évolution causée par une modification dans les apports.

La concentration de l'eau de la nappe phréatique varie dans le temps suivant un régime saisonnier ou annuel, en relation avec les fluctuations du niveau de la nappe donc des irrigations et des crues.

Les amplitudes absolues des variations sont comprises entre 0,5 et 2 g./l.

Le régime est formé par une succession cyclique de période de concentration et de périodes de dilution dont les effets se compensent approximativement.

## Relation de la salinité avec les fluctuations de la nappe :

On distingue en gros deux régimes :

■ Le régime parallèle (la concentration croît alors que la nappe monte et inversement). Il caractérise les zones moyennement ou faiblement irriguées des palmeraies et les zones irriguées proches des palmeraies.

■ Le régime inverse (la concentration décroît lorsque la nappe monte et inversement) qui ne s'observe que là où la recharge est massive : périmètres bénéficiant d'irrigation importante près des oueds.

Les variations dans un sens ou dans l'autre ne se compensent pas rigoureusement. Dans une même zone, la résultante est généralement de même signe, aussi l'écoulement de la nappe permet-il l'accumulation des différences, ce qui se traduit par des zones de concentration ou de dilution dont les contours ne sont pas immuables. Les zones de concentration coïncident à peu près avec les zones à régime parallèle et à bilan positif et les zones de dilution avec celles à régime inverse et à bilan négatif.

Les régimes observés impliquent un régime inverse de la teneur en sels du terrain, donc un « cycle du sel » entre l'eau et le sol en même temps qu'un lent mouvement des sels d'amont vers l'aval où ils s'accumulent.

En domaine irrigué, aux périodes de lessivages durant les irrigations, succèdent des périodes de « remontée du sel » bien connues des cultivateurs, dues à l'évaporation soit directement de la frange capillaire de la nappe lorsqu'elle est peu profonde, soit des eaux en cours d'infiltration reprises par évaporation avant d'atteindre la nappe (cas le plus fréquent en palmeraie).

En aval des palmeraies, surtout au Sud du Tafilalet, la faible profondeur de la nappe et sa stagnation concourent à déterminer une remontée du sel permanente, variant seulement saisonnièrement en fonction de l'intensité de l'évaporation, et à former une croûte saline superficielle : le bekh-bakh.

Done dans les périmètres irrigués, un certain équilibre dynamique (c'est-à-dire une moyenne annuelle ou hyperannuelle constante de la salinité de l'eau et du sol) paraît s'établir. Par contre, en aval de ces périmètres la concentration s'accroît d'une manière continue dans le temps, dans l'eau et dans le sol.

## 2.2.6. - Le bilan des sels

Le bilan des sels dans la région du Tafilalet a été établi pour la situation avant barrage et pour différentes situations futures envisageables.

Les plus grandes quantités de sels sont apportées par l'oued Ziz : 95.000 t./an en moyenne ; celles apportées par l'oued Rhéris sont beaucoup plus faibles : 1.500 t./an, soit au total 96.500 t./an.

Les quantités s'évacuant à l'extérieur de la plaine sont estimées à 41.000 t./an, soit :

- 17.000 t./an par les débits superficiels,
- 24.000 t./an par les débits de sous-écoulement quittant la plaine.

Il reste donc 55.500 t./an dans la plaine, dont la grande majorité se dépose dans la partie aval de la plaine de Rissani (estimation 50.000 t.).

## 2.3. - L'équilibre sol-sel-nappe

Plusieurs facteurs essentiels pour la salure des sols se trouvent réunis dans le Tafilalet :

- un climat chaud et sec, c'est-à-dire une évapotranspiration très élevée,
- des eaux d'irrigation chargées en sel,
- et une nappe souvent très salée à faible profondeur.

Pourtant, dans les parties cultivées du Tafilalet, les sols salés ne couvrent que 4 % de la superficie totale. Ils sont répartis dans toute la plaine. Les pédologues n'ont pu déterminer aucun cas où cette salure était due à une remontée capillaire ; elle était toujours causée, soit par une mauvaise irrigation (par exemple, stagnation d'eau dans des points bas entraînant la formation de pellicules salées), soit par l'utilisation d'eau souterraine trop salée comme cela s'est produit en particulier autour de la station de pompage de Sidi Boubker, à 5 km. au Nord de Rissani.

Le maintien de la fertilité des sols malgré les conditions naturelles très défavorables est dû au savoir faire que les agriculteurs du Tafilalet ont acquis de la tradition :

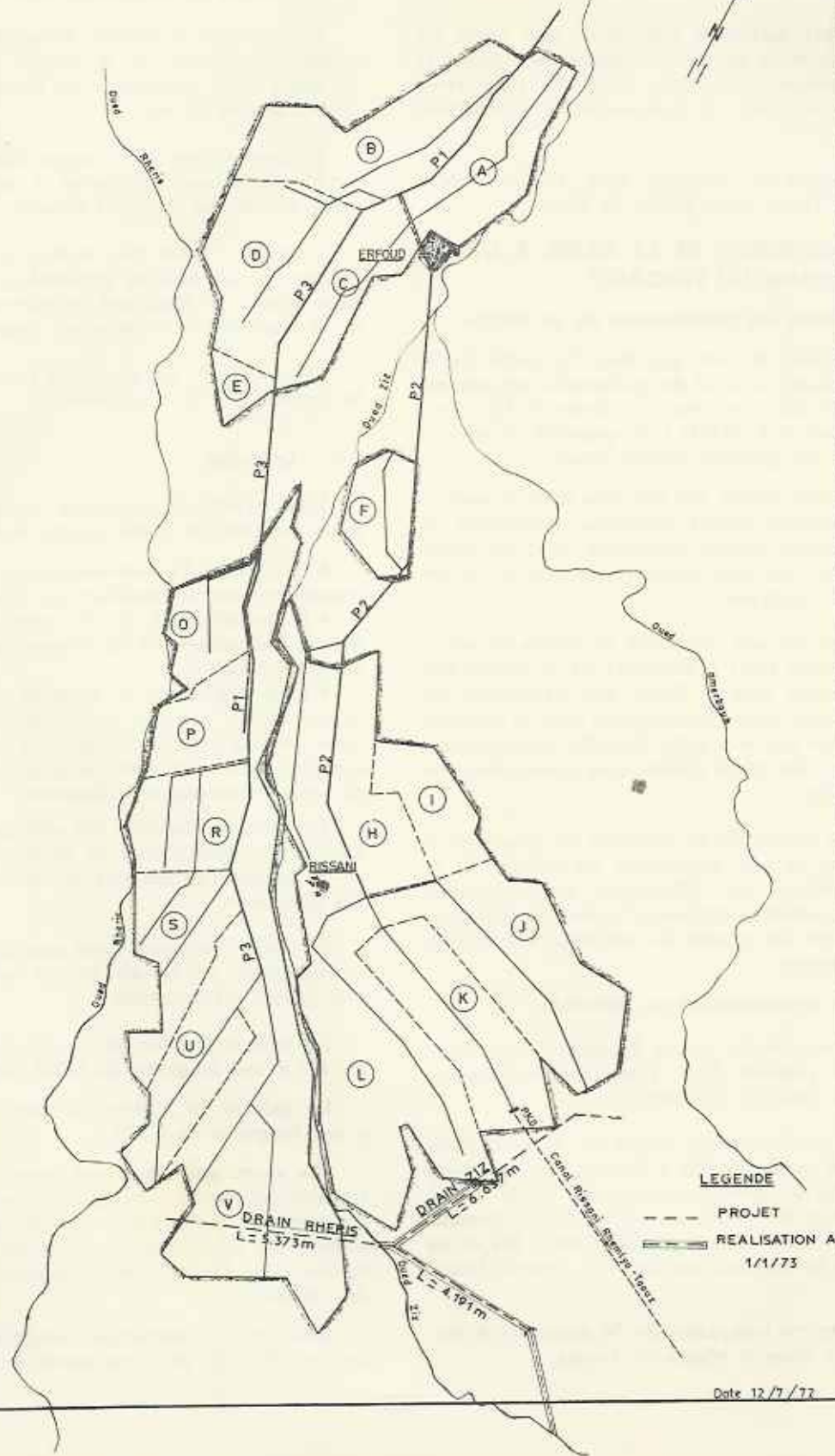
— l'ombre des palmiers, la construction de murets, le paillage créent un micro climat avec une évapotranspiration dans les palmeraies nettement moins élevée que celle rencontrée à l'extérieur,

— l'amélioration de la texture des sols lourds et de leur perméabilité par apport de sable,

— la pratique du lessivage par l'emploi de fortes doses d'irrigation. Le système de la priorité de l'amont vers l'aval dans l'usage de l'eau d'une séguia est de ce point de vue une bonne chose car

TAFILALET  
RESEAU MODERNE D'IRRIGATION

Echelle - 1/100 000



LEGENDE

- PROJET
- REALISATION AU 1/1/73

Date 12/7/72

elle assure à chaque parcelle irriguée la quantité d'eau de lessivage qui lui est nécessaire. La pratique de la répartition de la pénurie pourrait avoir par contre des effets désastreux.

L'équilibre maintenu jusqu'à ce jour entre les sols, les sols et la nappe est néanmoins fragile. Il est déjà rompu à la lisière aval des palmeraies de Tizimi et surtout à la lisière aval des palmeraies de Rissani.

Des projets de drainage sont d'ailleurs déjà entrepris à l'aval de la plaine de Rissani.

### 3. LE RABATTEMENT DE LA NAPPE A L'AVAL DE LA PLAINE DU TAFILALET

#### 3.1. - Nécessité du rabattement de la nappe

Nous venons de dire que dans la partie de la plaine de Rissani à l'aval des palmeraies, on pouvait estimer à 10 Mm<sup>3</sup> environ le volume de la nappe s'y évaporant et à 50.000 t. la quantité de sel qui s'y déposait en moyenne chaque année.

Il s'est donc formé des sols très salés et notamment une *sebkha* (*sebkha mesguida*) recouverte de véritables croûtes salines (*bekh-bakh*) et d'une épaisseur de sable pouvant contenir jusqu'à 16 % de sels (Na Cl et gypse).

La salure des sols réduisant les débits de capillarité, la nappe tend à remonter et la salure des sols à s'étendre vers le Nord. Les palmeraies en bordure de cette zone d'évaporation sont en mauvais état, en bonne partie à cause de cette augmentation de la salure ; des traces d'anciennes palmeraies sont encore visibles.

Il a donc été décidé de procéder au rabattement de la nappe et son évacuation en dehors de la plaine ; d'autant que l'évolution lente actuelle, s'accélérera certainement lorsqu'après aménagement ou augmentera les apports de sels sinon les apports d'eau à la nappe.

#### 3.2. - Etude hydrogéologique détaillée

L'établissement du projet de rabattement de la nappe a été précédé d'une étude hydrogéologique détaillée en 1961 et en 1962.

L'étude a couvert une région de 35 km<sup>2</sup> encadrée par les oueds Rhéris à l'Ouest et Amerbouh à l'Est et qui se présente comme une bande de 1,5 km. de large en moyenne avec un axe E.S.E. partant à l'Ouest du Rich Gaouz jusqu'à l'oued Ziz et en rive gauche de cet oued un axe N.E. jusqu'à l'oued Amerbouh.

Une première campagne de 80 puits a été réalisée en 1961 dans la région de Gaouz.

Elle a été suivie en 1962 par la réalisation de 180 autres puits d'étude ceinturant la palmeraie et de 23 sondages dont 12 équipes de piézomètres afin de suivre la fluctuation de la nappe.

Cette étude a permis d'établir une carte des niveaux isobathes de la nappe faisant ressortir les zones où la profondeur de la nappe est à moins de 5-6 mètres du sol.

La profondeur de la nappe diminue dans l'ensemble de l'Ouest au centre, à cause de l'entaille créée par le Ziz dans les limons.

L'eau se trouve par endroit à moins de deux mètres du sol puis sa profondeur augmente vers l'Est avant de diminuer rapidement à la faveur de la remontée du substratum imperméable.

Des essais de pompage ont permis de connaître la perméabilité de l'aquifère.

#### 3.3. - Le projet

Pour arrêter le processus de salure, les projecteurs devaient se fixer comme objectifs :

- le captage du sous-écoulement et des sols qu'il transporte pour les conduire en dehors de la plaine.
- le rabattement de la nappe, au moins en dehors des palmeraies, en dessous de la profondeur critique (5-5,50 m.).
- mais également le contrôle de la nappe de façon qu'elle reste à une profondeur suffisante pour que les palmiers, dont c'est le seul moyen de survivre dans cette partie aval qui reçoit peu d'eau de surface puissent s'y alimenter.

La solution choisie a été celle des galeries drainantes perpendiculaires ou presque à l'écoulement de la nappe. Ces galeries drainantes sont en fait des *khettaras*.

Le projet comprend deux galeries drainantes qui se rejoignent au niveau du Ziz en rive gauche et une galerie d'évacuation.

La galerie du Ziz qui va de l'oued Amerbouh au Ziz a une longueur de 6.637 mètres.

La galerie du Rhéris qui part du Rich-Gaouz a une longueur de 5.373 m.

Ces deux galeries étant construites dans des terrains cohérents, elles ne sont pas revêtues. Leur diamètre est de deux mètres. Elles sont construites comme les *Khettaras* avec des puits tous les 50 mètres pour l'attaque de la galerie et l'évacuation des déblais.

L'ouvrage d'évacuation comprend une galerie revêtue de 4.191 m. et un canal de 2.709 mètres.

Le contrôle du rabattement de la nappe est obtenue grâce à une vanne placée en tête de la galerie d'évacuation.

En fait, la position de ces galeries drainantes, leur calage, leur diamètre n'ont donné lieu à aucun calcul, autrement dit n'ont pas été déterminés pour l'évacuation d'un débit fixé et pour l'établissement d'une courbe de rabattement donnée.

Sur la rive gauche du Ziz, leur implantation a été faite à 300 à 500 mètres à l'aval de la palmeraie pour que le rabattement n'y soit pas trop important.

Dans le tracé en long des conduites il a été recherché la profondeur maximum compatible avec la côte du substratum imperméable, la pente minimum nécessaire pour l'écoulement des eaux (0,5 ‰ dans les galeries drainantes, 0,3 ‰ dans la galerie d'évacuation).

Le diamètre des galeries (2 mètres) a été imposé par les nécessités constructives.

La profondeur moyenne est de :

- 11,7 mètres pour le drain du Ziz,
- 17,5 mètres pour le drain du Rhéris.

L'ingénieur conseil a calculé à l'aide de la formule de Zichard le débit pouvant être évacué par ces drains pour les hauteurs piézométriques moyennes existantes de la nappe.

Il a trouvé que la galerie drainante du Ziz pourrait évacuer 163 l/s. (5 Mm<sup>3</sup>/an), celle du Rhéris 635 l/s. (19,725 Mm<sup>3</sup>), soit au total 798 l/s. ou 25 Mm<sup>3</sup>/an.

Nous venons de dire que les débits que ces drains auraient à capter après le réaménagement du Tafilalet seraient très vraisemblablement nettement inférieurs à ceux calculés sans étranglement de leur ouverture à l'aval et pour les niveaux piézométriques existants avant leur réalisation. En fait, la quantité de sel apportée au Tafilalet augmentant après réaménagement, la salure de la nappe dans la partie aval de la palmeraie s'accroîtra sensiblement et la limite de salinité tolérable par les palmiers remontera vers le Nord, si une partie des sels ne peut être captée plus à l'amont. Dans ce cas, il y aura nécessité d'abaisser la nappe pour empêcher le dépérissement des palmiers. Les drains pourraient peut-être ainsi jouer leur rôle, sans qu'il y ait besoin d'étrangler leur sortie.

#### 4. L'UTILISATION DES NOUVELLES DISPONIBILITES EN EAU - LE CONTROLE DE LA SALURE DANS LA NOUVELLE SITUATION CREEE

Le barrage Hassan Addakhil est mis en service depuis 1971, la construction des canaux primaires et secondaires est bientôt terminée et pourtant l'utilisation des nouvelles disponibilités en eau n'est pas encore complètement définie.

Il a été jugé nécessaire, en effet, compte tenu des risques encourus de s'accorder un nouveau temps de réflexion, réflexion à laquelle les participants au colloque ont pu apporter une contribution précieuse.

##### 4.1. - Les nouvelles données

##### 4.1.1. - Les disponibilités en eau pour le Tafilalt après la mise en service d'Hassan Addakhil

— *Eaux garanties :*

- Barrage : volume programmé fourni par ce barrage avec d'ailleurs un taux de déficit admis assez élevé ..... 141 Mm<sup>3</sup>
- Les résurgences de l'oued Ziz formées par le drainage des eaux d'irrigation utilisées entre le barrage et le Tafilalt qui s'infiltrent + source Aïn Meski ..... 25 Mm<sup>3</sup>
- Les volumes d'eau prélevés dans la nappe ; estimation ..... 15 Mm<sup>3</sup>

180 Mm<sup>3</sup>

— *Eaux aléatoires*

Les volumes moyens annuels peuvent être estimés comme suit :

- Déversement des barrages ..... 25 Mm<sup>3</sup>
- Bassins intermédiaires entre Hassan Addakhil et le Tafilalt .... 24 Mm<sup>3</sup>
- Rhéris ..... 100 Mm<sup>3</sup>

149 Mm<sup>3</sup>

Sur ces 149 Mm<sup>3</sup>, 20 à 35 Mm<sup>3</sup> sont actuellement utilisables dans le Tafilalt, compte tenu des ouvrages de dérivation existants.

Les prélèvements en amont (irrigation, pertes par évaporation dans le cours du Ziz) sont évalués à 50 Mm<sup>3</sup> d'eaux régularisées.

La plaine du Tafilalt peut donc disposer de :

- Eaux garanties ..... 130 Mm<sup>3</sup>
- Eaux aléatoires ..... 20 à 35 Mm<sup>3</sup>

Total ..... 150 à 165 Mm<sup>3</sup>

Nous avons vu que dans la situation antérieure à la mise en service du barrage, l'efficacité, c'est-à-dire le taux d'évapotranspiration au droit des palmeraies de l'eau de surface apportée était de l'ordre de 90 %, donc très élevée.

Le maintien d'un tel taux, correspondrait sur les 17.000 ha de palmeraies à un volume moyen réellement évapotranspiré de 7.500 m<sup>3</sup>/ha.

Compte tenu de la présence des palmiers ce volume est insuffisant pour assurer une mise en valeur intensive sur l'ensemble de la plaine. Certains techniciens estiment qu'il serait souhaitable, pour assurer un revenu correct à la majorité des agriculteurs d'apporter 18.000 m<sup>3</sup> d'eau par hectare pour permettre un assolement très intensif. Il est à noter que les besoins d'une palmeraie moderne bien irriguée sont estimés à 25.000/m<sup>3</sup> par an et par hectare.

#### — Apports de sels.

Hassan Addakhil réduit sensiblement les volumes des crues du Ziz qui sortent du Tafilalt sans avoir été utilisés.

Les quantités de sels que recevra la plaine du Tafilalt vont donc être augmentées de celles se trouvant dans ces parties de crues dorénavant retenues. On a estimé que les apports de sels restant dans le Tafilalt en l'absence de drainage artificiel passeraient de 50.000 t. à 74.000 t., soit une augmentation de près de 50 %.

Nous avons constaté que Hassan Addakhil modifiait peu les volumes d'eau moyens annuels disponibles, il en améliore simplement la régularité alors que les quantités de sels augmentent; on prend conscience déjà des problèmes qui vont se poser.

#### 4.1.2. - Le nouveau réseau

Le nouveau réseau d'irrigation primaire et secondaire est en voie d'achèvement. Il couvre l'ensemble de la plaine.

Son point de départ est au barrage d'El-Borouj en tête de la plaine.

Il est entièrement bétonné. Sa longueur est de 221 km. sur lesquels 196.000 sont déjà réalisés.

Dans son tracé, ce réseau ne tient pas compte du réseau traditionnel de séguias de crues.

#### 4.2. - Solutions possibles pour l'utilisation des eaux

Nous avons vu que l'eau restait le facteur limitant, puisque les quantités dont on dispose ne permettront pas une mise en valeur intensive généralisée.

#### 4.2.1. - Conditions nécessaires pour qu'une solution soit techniquement envisageable.

— *Maintien de la salure des sols, dans les limites de tolérance des cultures pratiquées.*

Il semble que la part du lessivage d'entretien doit atteindre 20 à 30 % de l'eau appliquée, soit 2 à 3.000 m<sup>3</sup> pour un assolement intensif moyen du point de vue besoin en eau.

Les volumes d'eau considérables cités par Monsieur Chang dans son exposé pour récupérer un sol stérilisé par le sel montrent tout l'intérêt du maintien de la salure d'un sol à un taux normal.

L'obligation où se trouvaient les agriculteurs d'utiliser des doses très importantes d'eau de crues avait le mérite de garantir le lessivage.

— *Entraînement des sels en dehors des zones cultivées :*

Dans la situation antérieure les sels restant dans le Tafilalt, s'évacuaient par remontée capillaire à l'aval de la partie cultivée. Mais cette limite des cultures correspond à la limite de salure acceptable de l'eau de la nappe (10 g./l.).

Il ne semble pas possible de maintenir au moins dans la partie aval de la palmeraie à la fois le transport des sels vers l'aval, une profondeur de la nappe qui permette l'alimentation des palmiers et les pompages dans cette nappe.

L'augmentation des apports de sels au Tafilalt va en effet s'accompagner dans ces conditions d'une augmentation de la salure de la nappe et une remontée vers l'amont des isocônes.

Donc vouloir maintenir l'alimentation des palmiers par la nappe et les pompages suppose que l'on capte les sels, ou tout au moins une partie d'entre eux, en amont pour les rejeter en dehors des zones cultivées.

On peut penser par exemple reprendre l'idée du drain à l'extrémité aval de la plaine du Tizimi.

L'évolution de la salure de la nappe devra donc faire l'objet d'une surveillance très attentive pour mettre en service à temps les dispositifs de drainage qui s'imposeront.

#### 5. L'EXPLOITATION DE LA NAPPE

Dans la situation antérieure, l'exploitation par pompage de la nappe était relativement réduite. Le rôle qu'elle jouait était néanmoins important. Les pompages maintenaient, au moins localement, la profondeur de la nappe en dessous des horizons de forte évapotranspiration.

La nappe assurait également une régularisation annuelle et interannuelle en jouant le même rôle que la réserve d'un barrage.

Malgré l'existence d'Hassan Addakhil ce rôle de régularisateur gagnerait peut-être à être accru au profit notamment des zones qui bénéficieront peu ou pas d'eaux de surfaces régularisées. La gestion du barrage par lâchures d'une partie au moins de ses eaux sous forme de crues artificielles accroîtrait l'alimentation de cette nappe.

Il serait intéressant de la comparer avec une gestion de type habituel avec lâchures correspondant aux besoins immédiats des cultures, du point de vue notamment économies d'eau (évaporation, déversées) et liberté dans les affectations.

L'utilisation de ces eaux souterraines dont la salure sera généralement élevée demande à être réfléchie. Il faut éviter le recyclage sur place qui conduira à une augmentation de la salure des eaux et des sols comme cela s'est produit à Sidi Boubeker. Un mélange eau de surface pour le lessivage et eaux souterraines sera souvent indispensable.

#### CONCLUSION :

L'animation des discussions qui ont suivi les exposés, à certains moments même leur passion, ont bien montré la difficulté du problème.

Le manque d'eau qui oblige à l'économiser au maximum, l'impossibilité de faire un drainage généralisé à un prix raisonnable, les traditions d'irrigation qu'il sera peut-être impossible de remplacer complètement et qui sont mal adaptées pour utiliser convenablement un aménagement entièrement drainé rendent difficile la résolution de ce problème. On peut déjà dire que cette résolution inclue obligatoirement le mode de gestion des ressources en eau et de celui du barrage Hassan Addakhil en particulier. Elle s'accompagnera certainement d'ajustements successifs à la suite d'observations continues et attentives de l'évolution du milieu qu'il est nécessaire de poursuivre. Il faut espérer que les techniciens sauront garantir le patrimoine que les agriculteurs ont su conserver jusqu'à ce jour grâce au respect des leçons de la tradition.

# S O C E A

## SOCIÉTÉ EAU ET ASSAINISSEMENT

•

B. P. 121

51, avenue Allal - Ben Abdallah

RABAT

•

**BÉTON CENTRIFUGÉ PRÉCONTRAIT CONDUITES FONTE**  
**DES FONDERIES PONT - A - MOUSSON ET ACCESSOIRES**

---

## Communications

Par M. AOUANALLAH

Ministère de l'Agriculture (Tunisie)

---

### Tessai de drainage dans l'oasis de Tozeur (Tunisie)

---

#### I. - INTRODUCTION : BUT DU DRAINAGE DANS LES OASIS

Le drainage dans les oasis de Tunisie a pour but d'évacuer l'excès d'eau de la pluie et de l'irrigation et de prévenir la remontée de la nappe phréatique à un niveau nuisible aux cultures et aux sols.

Dès que l'on installe un périmètre irrigué, l'excès d'eau percolant en profondeur fait changer l'équilibre hydrologique qui existe entre l'alimentation de la nappe et son évacuation. A cause d'une alimentation plus importante la nappe remonte. On peut distinguer trois zones :

— le terrain de coteau où le drainage se fait d'une façon naturelle vers la plaine ;

— la plaine, où la nappe remonte près de la surface et le drainage naturel ne suffit pas d'où nécessité d'installer un drainage artificiel ;

— la zone intermédiaire, où le drainage pourrait être nécessaire, mais moins intensif que dans la plaine.

Il serait toujours utile de prendre les précautions nécessaires en matière de drainage avant l'installation même du périmètre. Le drainage naturel ou artificiel, est le complément essentiel de l'irrigation.

Une nappe trop élevée présente trois inconvénients :

1°) *Un manque d'aération du sol*, ce qui amène à un pauvre développement et un fonctionnement insuffisant du système racinaire.

2°) *Une mauvaise structure du sol*, les sols trop humides sont difficiles à travailler. Les rendements seront médiocres.

3°) *Une remontée capillaire de l'eau amenant en même temps des sels à la surface.*

Si la nappe se trouve à 150 m. de profondeur environ, le danger d'une remontée capillaire est réduit, même si le sol reçoit de l'eau d'irrigation ou de la pluie.

Cependant, en absence des irrigations ou de la pluie, par exemple sous climat désertique, même des sols ayant une nappe à 2-3 m. de profondeur peuvent se saler par remontée capillaire, qui a lieu à une vitesse réduite, mais continue !

## II. - RESULTATS DE L'ETUDE EXPERIMENTALE : STATION HELBA

### a) Caractéristiques techniques

Dans l'Oasis de Tozeur, en bordure du chott, la nappe se trouvait à 0,5-1 m. de profondeur. D'après les résultats obtenus à la station expérimentale de Helba la perméabilité est de l'ordre de 2 m./j. ( $2 \times 10^{-5}$  m./sec.).

Le palmier Degla exige au moins 1,20 m. de sol sain. Pour une profondeur de drains de 1,60 m., la charge deviendra 0,4 m., le débit à évacuer est de l'ordre de 1,5 mm./j. en été lors des irrigations de pointe (un excès d'eau de 15 mm. sur un apport de 75 mm. tous les jours).

Tout calcul fait, on a adopté un espacement des drains de 200 m.

On a constaté à la station de Helba que les drains à ciel ouvert, espacés de 40 m. pour des raisons expérimentales, ne fonctionnent que très peu de temps et que la plupart des eaux de drainage est évacuée par les collecteurs, espacés de 200 m. (profondeur 2 m., 2,5 m.) ou directement vers le chott.

Dans des conditions pareilles, où la perméabilité est bonne jusqu'à une grande profondeur, on peut se limiter à un grand espacement, qui s'adapte aux dimensions des parcelles, c'est-à-dire un système de drains à ciel ouvert, qui serviront, en même temps, pour l'évacuation de l'excès d'eau en bout de parcelle recueillie par les collatures.

### b) Le lessivage

A la station de Tozeur, nous nous sommes trouvés devant un problème important concernant la « salure ». Le sol de cette parcelle était en effet

très salé, d'une part parce que la nappe était très proche de la surface par suite d'une insuffisance de drainage et, d'autre part, parce que la parcelle était soumise, depuis plusieurs années, à un régime de sous-irrigation. Nous avons mis en place un nouveau réseau d'irrigation amélioré qui permet un débit fletif continu d'environ 0,8 l./sec./ha en été, soit un apport de 75 mm. tous les 10 jours et un nouveau système de drainage comprenant des collecteurs de 2 à 2,25 m. de profondeur et des drains espacés de 40 m. à 1,60 de profondeur.

### Caractéristiques physiques et chimiques :

— *Le sol* : peut être défini comme étant à texture finement sableuse à limoneuse. Le gypse est abondant, de l'ordre de 40 à 60 %.

— *L'eau d'irrigation* : RS : 2,1 g./l.

D'après la classification américaine, cette eau se trouve dans la classe C4 S1 et peut être considérée comme bonne pour l'irrigation.

— *Le climat est désertique* : pluviométrie 80 mm./an.

L'évolution de la salure a été étudiée sur une période de quatre années, des prélèvements de sol étant faits et analysés régulièrement tous les trois mois.

Après la première année, au cours de laquelle la parcelle a reçu 1.200 mm. d'eau (irrigation + pluie) et a drainé 250 mm., un dessalage très important s'est produit : plus de 70 % des sels présents en début d'expérimentation ont été évacués. Depuis, il semble que la salure se soit stabilisée ou conserve une légère tendance à la diminution.

Ce résultat a été obtenu en apportant des doses de :

— 75 mm. toutes les trois semaines en hiver.

— 75 mm. toutes les deux semaines au printemps.

— 75 mm. tous les 10 jours en été.

L'excès d'eau étant environ de 20 % de l'apport.

## Communications

Par **H. LAUDELOUT**

Professeur à l'Université Catholique  
de Louvain

### La Modélisation des Processus Pédologiques de drainage et d'irrigation

Tous les processus dont le sol est le siège actif ou passif sont extrêmement complexes. Qu'il s'agisse du mouvement des sels, du cycle de l'azote, de la nutrition minérale des plantes ou du cycle de la matière organique, pour n'en citer que quelques-uns, un très grand nombre de réactions élémentaires de solubilisation, d'échange, de précipitation ou de transformations biochimiques se déroulent dans un milieu hétérogène à travers lequel se propagent des flux de chaleur ou d'eau.

Le problème posé par la modélisation de tels processus pourrait a priori sembler insoluble. Néanmoins des tentatives assez nombreuses ont été faites dans cette direction avec un succès total lorsqu'il s'agissait de processus relativement simples comme la propagation de la chaleur ou des résultats très encourageants pour des processus plus complexes comme le mouvement des sels ou des molécules adsorbées même lorsque les modèles utilisés étaient extrêmement simples et que l'ensemble des réactions de solubilisation, d'échange et de précipitation était relativement complet.

Ces succès ont été dus tout d'abord à la facilité de l'accès à des calculateurs électroniques de grande puissance puis à l'introduction il y a six ou sept ans de langages de simulation particulièrement bien adaptés et d'un maniement facile. Il ne fait pas de doute que la tendance à la recherche dans cette direction continuera à s'affirmer au cours des prochaines années en raison des immenses avantages qu'offrent ces méthodes en science du sol après avoir fait leurs preuves dans des domaines aussi divers que l'économie, la construction aéronautique ou la physiologie cardiovasculaire.

L'avantage primordial que peut fournir la modélisation d'un processus pédologique est incontestablement la synthèse qu'elle représente de l'effort analytique qui a été fait par l'expérimentateur en vue d'en démontrer le mécanisme.

L'expérimentateur tentera évidemment d'étudier l'effet d'un seul facteur sur le processus considéré « toute chose égale par ailleurs ». Dans des domaines comme la science du sol une telle étude n'a

de sens que si elle peut être intégrée dans la description quantitative du « système ».

Si l'on admet comme définition opérationnelle du système celle donnée par Watt (1) : « An interlocking complex of processus characterized by many reciprocal cause-effect pathways », on voit que la compréhension du mécanisme du processus à partir des études séparées suppose une formulation globale quantitative.

Un avantage pratique évident qui découle immédiatement de la modélisation adéquate d'un processus est la possibilité d'optimiser le déroulement de ce processus au point de vue technique ou économique en maximisant ou en minimisant certains facteurs compte tenu des contraintes économiques ou techniques. Souvent cette optimisation s'obtiendra d'une façon empirique en faisant varier les paramètres qui déterminent le processus dans ce qu'il est convenu d'appeler des essais de simulation.

Ce type d'essai présente l'avantage considérable que lorsque des paramètres déterminant l'évolution du système sont peu ou mal connus, des essais de simulation permettront de déterminer le degré de sensibilité du système à la valeur de ces paramètres et par conséquent de l'utilité d'une expérimentation destinée à en préciser la valeur.

Si un modèle mathématique décrit correctement les résultats d'une expérience en champ, par exemple d'un essai de dessalage, des essais de simulation permettront de répéter cette expérience un très grand nombre de fois en faisant varier les facteurs expérimentaux dans des domaines et suivant des combinaisons qui seraient irréalisables dans la pratique.

Un très large domaine d'application de cette modélisation en relation avec la technique du drainage et de l'irrigation est celui du mouvement des sels dans le profil.

L'équation la plus générale décrivant ce phénomène peut s'écrire comme suit :

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \text{div} (\phi_i) = F(t, C_i, C_i^*)$$

où  $C_i$  est la concentration de l'ion  $i$ ,  $\phi_i$  son flux (diffusionnel ou convectif) et  $F$  une fonction du temps et des concentrations actuelles  $C_i$  et à l'équilibre  $C_i^*$  de l'ion considéré.

Cette fonction doit exprimer les interactions au cours du temps entre le sol et l'ion qui y est transporté. Si ces interactions sont nulles on aura la forme bien connue de l'équation de diffusion avec convection :

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

où  $v$  est la vitesse de l'eau supposée constante à travers le profil.

Cette équation peut être résolue pour les conditions initiales et les conditions aux limites par l'une ou l'autre des méthodes analytiques ou numériques appropriées pour les équations dérivées partielles.

Si l'on affecte l'indice  $i$  à la distance et l'indice  $j$  au temps pour lesquels nous choisirons des incréments  $h$  et  $k$  respectivement nous aurons pour l'équation aux dérivées partielles sous forme d'une équation aux différences finies :

$$C_{i,j} - C_{i,j-1} = \frac{Dk}{h^2} (C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}) - \frac{vk}{2h} (C_{i+1,j} - C_{i-1,j})$$

Si l'on choisit :

$$4 \quad \frac{Dk}{h^2} = \frac{vk}{2h} = \frac{1}{2}$$

(1) K.E.F. Watt. Systems analysis in Ecology. Academic Press, 1966.

L'équation se simplifie ainsi et devient :

$$C_{i,j} = \frac{1}{2} (C_{i,j-1} + C_{i-1,j})$$

Il s'agit là d'une méthode très ancienne pour la solution des équations aux dérivées partielles laquelle a été supplantée depuis par les méthodes implicites de Crank-Nicolson et n'est citée ici que pour des raisons qui deviendront claires ci-dessous.

Notons que le choix des incréments de temps et d'espace de façon à ce qu'ils satisfassent aux relations :

$$h = \sqrt{2Dk}$$

$$\text{et } v = h/k$$

revient à les choisir de façon à ce qu'ils vérifient la relation du mouvement brownien d'une part et

que la vitesse soit égale au rapport des incréments d'espace et de temps d'autre part.

Si le déplacement du sel dans le profil est purement convectif, le mouvement de l'eau ayant lieu en milieu saturé, on peut écrire que dans une couche  $i$  du profil, la quantité de sel qui s'y trouve après apport d'une aliquote d'eau d'irrigation est égale à celle qui s'y trouvait plus celle qui a été apportée.

Si l'on admet que le profil se trouve à saturation au moment du ressuyage d'une couche dans la suivante et à la capacité en champ au moment de l'introduction de l'aliquote d'eau d'irrigation, on a pour l'équation de conservation de la quantité de sel :

$$PS_i C_{i,j} = FC_i C_{i,j-1} + (PS_i - FC_i) C_{i-1,j}$$

ou

$$C_{i,j} = \frac{FC_i}{PS_i} C_{i,j-1} + (1 - \frac{FC_i}{PS_i}) C_{i-1,j} = \alpha C_{i,j-1} + (\alpha) C_{i-1,j}$$

en désignant par  $\alpha$  la valeur du rapport de la capacité en champ au pourcentage de saturation  $FC_i/PS_i$ . Comme dans les sols on observe, en général, la valeur  $\alpha = 0.5$ , la relation de récurrence s'identifie avec l'équation explicite pour le calcul de la solution de l'équation aux dérivées partielles vue ci-dessus.

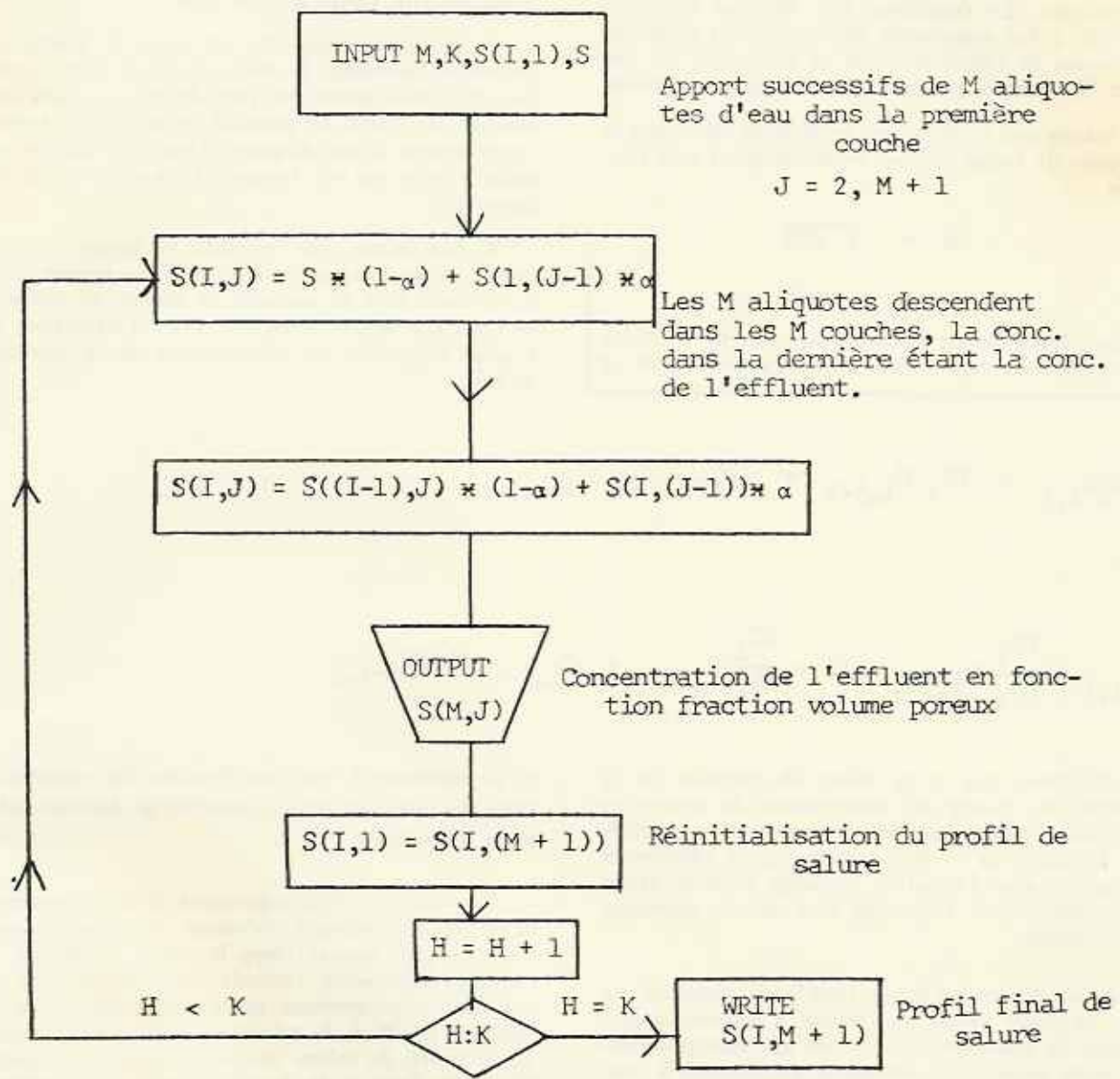
Il va de soi qu'il est inutile de chercher un sens physique précis au facteur  $\alpha$  souvent appelé facteur de rétention ni à donner une interprétation physique concrète au processus qui consiste à fractionner la dose d'irrigation en  $j$  aliquotes que l'on fait cascader le long des  $i$  couches du profil lesquelles oscillent à chaque passage d'une aliquote entre la capacité en champ et la saturation.

L'intérêt de ce modèle réside en sa simplicité et de nombreux auteurs l'ont utilisé en science du sol. La forme explicite de la relation permet d'utiliser des calculatrices de très faible capacité

et de procéder à une équilibration des concentrations des ions lessivés en fonction de diverses relations d'équilibre.

Un exemple d'organigramme d'un programme de ce type est présenté ci-dessous. A chaque passage d'un volume poreux dans le profil divisé en  $M$  couches d'épaisseur variable mais de contenu en eau égal le programme calcule une matrice de  $M$  lignes et de  $(M + 1)$  colonnes. La première colonne est le profil de salure initial, la dernière le profil de salure final et la dernière ligne est la concentration de l'effluent récolté en  $M^{\text{me}}$  d'un volume poreux.

Le profil de salure est réinitialisé et le programme recalcule une seconde matrice  $M \times (M + 1)$  dont la première colonne est la dernière de la précédente et ainsi de suite jusqu'à ce que la quantité d'eau totale ait traversé le profil.



Le choix de la valeur de  $M$  et par conséquent de l'increment  $h$  n'est pas arbitraire et peut être calculé si l'on se donne le coefficient de diffusion et la dispersivité hydrodynamique du milieu poreux correspondant à la vitesse  $v$  de l'eau dans le sol.

L'expression que nous avons donnée pour la divergence du flux :

$$- \operatorname{div} \phi = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x}$$

n'est évidemment valable que si  $D$  est indépendant de la concentration ce qui ne sera rigoureusement vrai que pour des molécules neutres et que si la vitesse est constante, s'il n'en est pas ainsi le processus de modélisation du transport des sels dans le profil implique qu'une solution adéquate soit trouvée pour la modélisation du mouvement de l'eau à travers le profil.

Si l'on représente le mouvement de l'eau en négligeant le déplacement sous l'influence des forces de gravité par l'équation :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D(\theta) \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)$$

où  $D(\theta)$  est la diffusivité de l'eau, laquelle dépend de la teneur volumétrique  $\theta$ .

Le transport convectif du sel aura la forme :

$$\phi = - D \frac{\partial C}{\partial x} + v \theta C$$

$\theta$  et  $v$  devront être calculés à partir de la solution de l'équation relative au mouvement de l'eau ce qui suppose que la relation  $D(\theta)$  soit connue. En d'autres mots, il est nécessaire que les caractéristiques de forces de rétention des divers horizons du sol soient préalablement déterminées.

La technique consistera comme précédemment à partager le profil en couches élémentaires d'épaisseur  $h$  et à y calculer les modifications subies pendant un intervalle de temps  $k$  tant par rapport aux variations de la teneur en eau et par conséquent de son flux à travers la couche considérée que des modifications subies par les constituants entraînés par le flux convectif et diffusionnel au cours de leur transport à travers la couche considérée.

Le calcul de ces modifications peut être dominé soit par des relations d'équilibre, soit par des relations cinétiques, soit par une combinaison des deux.

Si les réactions d'échange et de solubilisation peuvent en première approximation être considérées comme rapides par rapport au temps de séjour de l'eau dans la couche considérée, il n'en va pas de même pour beaucoup de réactions biologiques comme par exemple celles qui interviennent dans le cycle de l'azote.

Lorsqu'il en est ainsi, des études préliminaires sont nécessaires de façon à déterminer les paramètres cinétiques régissant ces transformations.

Il est curieux de constater que lorsque les auteurs qui ont entrepris de modéliser le cycle de l'azote dans la couche arable se sont rapidement trouvés confrontés au manque de données quantitatives concernant les processus essentiels.

La technique de choix pour obtenir ces données est la perfusion du sol par des solutions dont la composition est suivie au cours de leur recyclage à travers un même volume de sol. La solution des systèmes d'équations différentielles décrivant les transformations de substrats est évidemment beaucoup plus simple que celle des équations aux dérivées partielles décrivant le mouvement de solutés à travers le sol.

On peut penser que quels que soient les avantages pratiques de la modélisation, cette approche aura eu le grand mérite d'obliger à repenser la recherche en science du sol et à la diriger vers une approche plus intégrée et par conséquent beaucoup plus proche de la solution des problèmes pratiques de mise en valeur.

---

## Communications

---

Par M. P.J. DIELEMAN

spécialiste en drainage et récupération des terres,  
Service des ressources en eau et de leur mise en  
valeur, Division de la mise en valeur des terres  
et des eaux, F.A.O., Rome

### Compte rendu du séminaire de Bagdad sur les problé- mes de salinité

---

#### 1. INTRODUCTION

La production agricole dans la région du Proche-Orient dépend pour une part très importante, de l'irrigation. Pourtant, dans la presque totalité des zones irriguées et des oasis des pays de la région, les phénomènes d'engorgement, la salinité et l'alcalinité constituent des obstacles à l'irrigation. Les zones endommagées par le sel et engorgées représentent 50 % de la superficie totale irrigable en Irak, 23 % du Pakistan Occidental, 50 % dans la vallée de l'Euphrate en Syrie et 30 % en R.A.U. Cela est dû en partie au fait que l'eau est rare, que les taux d'évaporation sont élevés mais, plus encore, au fait que l'on irrigue des terres difficiles à drainer, en utilisant, mal, une eau mal exploitée, et qui tant en qualité qu'en quantité ne convient

pas réellement à l'irrigation. En conséquence, les rendements des terres irriguées sont médiocres et, chaque année, une bonne partie des terres est perdue pour la production. Leur récupération est coûteuse et lente.

Il s'agit là d'un problème permanent, dont on distingue de mieux en mieux les graves répercussions sur l'économie nationale et le milieu rural. En 1964, la F.A.O. a tenu, à Lahore (Pakistan) un séminaire sur « La saturation du sol par l'eau, dans ses rapports avec l'irrigation et la salinité ». Par la suite, la neuvième Conférence régionale de la F.A.O. pour le Proche-Orient réunie à Bagdad en septembre 1968, a demandé que soit organisé un autre séminaire portant sur le même sujet et couvrant les problèmes de récupération des terres.

Conformément à cette recommandation, la F.A.O. a organisé, en coopération avec le gouvernement de l'Irak, un séminaire intitulé « Méthodes d'amélioration des sols engorgés et salins », qui s'est tenu à Bagdad du 5 au 14 décembre 1970. Le séminaire était financé par le Programme des Nations Unies pour le Développement.

## 2. ASPECTS GENERAUX DU DRAINAGE DES TERRES IRRIGUEES

La plupart des terres irriguées se situent dans les zones alluviales formées par les fleuves, qui sont relativement plates et dépourvues d'un drainage naturel suffisamment rapide. Le niveau de la nappe phréatique est à faible profondeur. Quand on irrigue ces terres, ce niveau monte et produit un excès d'humidité et une accumulation de sels dans la couche du sol où se trouvent les racines des végétaux. En conséquence, la production diminue et, ultérieurement, on doit abandonner le terrain. Cette situation s'est manifestée, et se manifeste encore de nos jours, dans plusieurs pays du Moyen-Orient et du monde entier.

Trois facteurs entraînent la montée du niveau phréatique :

a) Les pertes d'eau dans les canaux d'adduction. Leur volume et leur vitesse dépendent des caractéristiques hydrauliques du sol, de la présence d'un revêtement, etc. Ces pertes ont plutôt un caractère permanent portant sur la campagne d'irrigation.

b) Les pertes d'eau d'irrigation au niveau de la parcelle, qui sont généralement inévitables. Celles-ci, pour la plupart, percolent en profondeur et rejoignent la nappe phréatique. L'eau arrive au niveau phréatique en principe le jour de l'irrigation, tandis qu'il n'y a pas percolation les jours où l'on n'irrigue pas. La montée du niveau phréatique a donc un caractère « instantané ».

c) La percolation d'un certain volume d'eau à travers la zone des racines afin de lessiver les sels. Toutes les eaux contiennent une certaine quantité de sels qui, après irrigation et évaporation, restent dans le sol. Il faut donc lessiver celui-ci régulièrement afin d'éviter que les sels s'accumulent et influencent la production d'une manière négative. Le volume d'eau requis pour le lessivage dépend de la minéralisation de l'eau d'irrigation, du type de culture, etc. ; il est souvent de l'ordre de 10 à 25 % du volume d'irrigation net. Comme les pertes inévitables, ce type de percolation a lieu le jour de l'irrigation.

Toutes les pertes et percolations contribuent à la montée du niveau phréatique. Il en résulte la nécessité d'un système de drainage profond, qui a pour but de maintenir ce niveau suffisamment bas

afin d'éviter l'accumulation capillaire des sels et un excès d'humidité dans le sol. Le débit spécifique à drainer est basé sur les volumes des pertes et le lessivage requis. Il faut cependant réduire les pertes inévitables à un niveau acceptable du point de vue technique et économique.

## 3. RESUME DES CONCLUSIONS GENERALES

A l'origine des débats, on trouve la préoccupation profonde que suscite la salinisation des terres, phénomène responsable d'une diminution progressive des rendements agricoles sur des terres dont l'étendue s'accroît à chaque campagne. Dans plusieurs pays de la région, des superficies considérables sont menacées de stérilité, et ce dans un délai que l'on évalue en années plutôt qu'en décennies.

Le séminaire a estimé qu'il est de mauvaise politique de laisser des terres irriguées non salées dépourvues de protection contre le processus de salinisation, alors que, d'un autre côté, on investit massivement dans la récupération des sols salins. On constate également, dans certaines zones récemment restaurées, un processus de salinisation qui risque de les rendre à nouveau salines, annulant ainsi en partie ou en totalité les efforts de mise en valeur et les investissements consentis.

Le séminaire a confirmé que l'absence de drainage convenable constitue la cause principale de la resalinisation après restauration et irrigation. Convaincus qu'il vaut mieux prévenir que guérir, les participants ont convenus à l'unanimité que, pour lutter contre la salinisation, le drainage doit aller de pair avec l'irrigation. Par drainage, ils avaient plus particulièrement en vue le drainage au niveau de l'exploitation ou du champ. De nombreux participants ont fait remarquer qu'il est en quelque sorte inutile de construire un réseau de collecteurs souterrains, si l'on crée en même temps un réseau au niveau des exploitations.

Il est assez rare que l'on puisse, par drainage, abaisser le plan phréatique à des profondeurs suffisantes pour éliminer totalement la salinisation temporaire due au mouvement capillaire mais on peut le ramener à un niveau où la remontée capillaire des sols est suffisamment limitée pour que l'on puisse en venir à bout dans des conditions pratiques. Afin de contrôler économiquement le niveau phréatique il faut, et l'on a beaucoup insisté sur ce point, s'efforcer d'améliorer le rendement de l'utilisation de l'eau, et de parvenir à des techniques optimales d'aménagement des eaux et des terres.

Le séminaire a reconnu que, à l'appui de la réglementation en matière d'eau souterraine, il faut envisager l'application de mesures agricoles.

On possède déjà, dans la région, une bonne connaissance de ces techniques. Il semblerait donc qu'on ne puisse invoquer, pour retarder l'exécution des projets, le manque des données nécessaires à la planification ou à la conception. Le séminaire a admis, cependant que pour connaître, avec toute la finesse désirable, les valeurs des critères et paramètres utilisés, il convenait de faire une place à la recherche dans les projets de restauration des terres et d'irrigation. Dès qu'ils deviennent disponibles, les résultats de la recherche devraient être appliqués à l'exécution des projets. On a beaucoup insisté sur le fait que, pour un certain nombre de disciplines importantes, des études de ce genre devaient être entreprises dans le cadre du programme de recherche appliqué du Proche-Orient.

A cet égard, le séminaire a estimé qu'il était de la plus haute importance que les gouvernements de la région qui n'ont pas encore créé de comités nationaux de l'utilisation des terres et des eaux prennent des mesures immédiates en ce sens. C'est par l'intermédiaire de ces comités de la Commission régionale de l'utilisation des terres et des eaux au Proche-Orient, et grâce à l'aide et aux directives de la F.A.O. et du P.N.U.D., que les problèmes de la région pourront être traités efficacement.

Le séminaire s'est déclaré satisfait de la valeur du personnel disponible dans la région, tout en soulignant l'insuffisance des effectifs. Reconnaisant également la nécessité d'encadrer les nombreux agriculteurs qui s'efforcent de faire évoluer des techniques agricoles, il a vivement recommandé l'organisation de programmes de formation dans la région à tous les niveaux, et plus spécialement aux niveaux inférieurs. Sur le plan universitaire, il a de nouveau estimé qu'il était très important d'inclure les questions relatives aux aménagements hydrauliques dans les programmes d'études.

Le séminaire a confirmé que la restauration des terres et l'aménagement des terres et des eaux requièrent une coopération poussée entre les diverses disciplines intéressées. Afin de promouvoir une méthode intégrée et d'assurer une exécution homogène et ininterrompue des projets, il a été suggéré de concentrer les diverses activités sous une même autorité, qui serait chargée également d'assurer l'infrastructure physique et organisée des projets dans leur ensemble. Elle serait en outre responsable du fonctionnement et de la gestion des projets après achèvement. Le séminaire a attaché une importance considérable à cette dernière idée.

#### 4. QUELQUES QUESTIONS TECHNIQUES

##### a) Intégration :

La réunion rappelle que la restauration, l'irrigation et le drainage ont pour objectif essentiel

l'agriculture et ne doivent pas être traités séparément.

##### b) Application des résultats de la recherche :

La réunion a reconnu que les connaissances scientifiques de base nécessaires pour entreprendre le drainage et la conservation des terres dans les régions actuellement et potentiellement menacées par la salinité existent ou qu'on peut les obtenir sans trop de difficultés. Il semble que le problème réside plutôt dans les possibilités de mettre en application, au niveau des projets et du terrain, les résultats de la recherche et de leur conférer une valeur pratique ; l'absence de personnel qualifié, le manque de crédits et des difficultés d'ordre organisationnel viennent grossir le problème. On a fortement fait valoir que, dans la plupart des domaines cités ci-dessus, la coopération régionale devra jouer et qu'elle contribuera dans une mesure considérable, à résoudre les difficultés actuelles.

##### c) Drainage au niveau de la parcelle :

La réunion a reconnu que toute conception de projet devait inclure les réseaux d'irrigation et de drainage au niveau des champs des agriculteurs ; il s'agit là d'une condition préalable à tout aménagement hydraulique efficace. On a souligné à nouveau la nécessité absolue d'aménager de manière efficace l'hydraulique agricole.

##### d) Construction des drains :

La réunion a noté avec intérêt un système mis au point récemment, consistant à construire des drains horizontaux à l'aide de machines permettant la pose des tuyaux sans terrassement. La réunion a demandé à la F.A.O. d'entreprendre une étude sur les possibilités d'introduction de ces machines et d'emploi des drains de matière plastique dans la région, compte tenu des conditions locales.

##### e) Drainage vertical :

Le système qui consiste à rabattre le plan phréatique en exploitant l'eau souterraine pour l'irrigation a été traité de manière assez complète. La réunion a noté avec intérêt que les autorités du Pakistan, où ce système se pratique intensivement, se proposent d'en étudier les effets à long terme.

##### f) Formation :

La réunion reconnaît l'importance déterminante des aménagements hydrauliques pour assurer une bonne mise en œuvre et une exploitation efficace

des projets de restauration des terres. Il a été proposé d'inclure dans les programmes universitaires un enseignement sur les aménagements hydrauliques. Lors du séminaire F.A.O. sur la mise en valeur des eaux, pour la région de l'Asie et de l'Extrême-Orient, qui s'est réuni récemment à Manille, les délégués ont formulé la même proposition.

L'aménagement rationnel du sol et de l'eau exigera la participation de millions d'agriculteurs qui devront être encadrés et formés. Il faudra bientôt pouvoir compter sur des services de vulgarisation en matière d'utilisation de l'eau au niveau des exploitations, ce qui va augmenter considérablement les besoins de formation, notamment pour les techniciens de terrain. Les participants au Séminaire ont donc vigoureusement recommandé la création de programmes de formation intensive, à tous les niveaux, dans la région. Notons que cette recommandation répond à celles déjà formulées par le Séminaire régional F.A.O. de Manille, mentionné plus haut, et par un Séminaire sur la planification de l'irrigation pour la région du Proche-Orient réuni à Berlin et à Tunis en 1969.

#### g) Les agriculteurs et l'entretien des projets :

Le fonctionnement, l'administration, la gestion et l'entretien des projets de restauration des terres doivent, après achèvement, bénéficier d'une attention particulière.

Les agriculteurs doivent être associés au fonctionnement et à l'entretien de « leur » projet dans toute la mesure du possible, compte tenu évidemment de leur niveau d'éducation, de leur compréhension des problèmes en jeu, de l'animation des communautés, et de l'intérêt des agriculteurs à constituer de telles communautés et y apporter leur concours. Les organisations ou associations d'agriculteurs ont, à cet égard, leur utilité mais doivent être constituées avec des responsabilités bien définies et un certain pouvoir qui doivent se fonder sur une bonne législation des terres et des eaux.

La réunion recommande de renforcer l'action des services de vulgarisation en matière d'utilisation de l'eau au niveau des exploitations ou l'effort de vulgarisation dans ce domaine au niveau des projets.

#### h) Programme régional :

La réunion a noté que les données de la recherche appliquée ne sont pas suffisamment comparables pour permettre une utilisation plus rationnelle, sur le plan régional et national des résultats de ces recherches pour la planification des projets. Pour assurer la comparaison des données, il faut mentionner tous les renseignements utiles relatifs au milieu, tels que le sol, le climat, la qualité de l'eau, etc... Il faudrait aussi élaborer, dans le cadre du programme de recherche appliqué du Proche-Orient, des normes relatives à leur enregistrement.



# **H INTERNATIONAL®**

282, rue de Stasbourg - CASABLANCA - Tél. 26-05-41 à 43

---

Discours de cloture de Monsieur le  
Ministre de l'Agriculture et de la  
réforme agraire

---

Monsieur le Président,  
Mesdames,  
Messieurs,

Le premier colloque international organisé par l'Association Nationale des Améliorations Foncières de l'Irrigation et du Drainage, vient de s'achever.

Il a permis aux experts nationaux et aux délégations étrangères d'échanger leurs connaissances et leurs expériences dans un domaine particulièrement difficile : celui du drainage.

Soyez assurés, Messieurs, que le Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire a suivi avec la plus grande attention ce qui a pu se faire ici et se félicite du succès rencontré par cette manifestation scientifique.

Comme je vous le disais lors de la séance d'ouverture, les thèmes choisis me paraissaient particulièrement judicieux. La présence permanente de très nombreux auditeurs venant de toutes les régions du Maroc, l'intérêt des communications faites par les experts nationaux et étrangers ainsi que le niveau extrêmement élevé des débats n'ont fait que confirmer cette première impression.

Vos travaux me permettent, d'ores et déjà, de dégager trois conclusions :

— Les communications et les interventions faites par nos frères algériens et tunisiens durant ce colloque, montrent que les problèmes que vous venez de traiter se posent, en des termes très voisins, dans les trois pays du Maghreb.

Une collaboration permanente serait donc de nature à faciliter leur résolution, et je suis heureux de constater, en cette occasion, le désir d'échange et de coopération manifesté par nos techniciens.

— Ensuite, les impressions recueillies auprès de nombreux experts des pays amis confirment que, dans le domaine du drainage, l'utilisation de « techniques de pointe », tant au niveau des études qu'à celui des réalisations, permet au Maroc d'occuper une place importante au sein des grands courants d'échanges scientifiques internationaux.

— Enfin, la création de l'A.N.A.F.I.D. et le dynamisme remarquable de cette jeune Association, montrent combien il était souhaitable de réunir et confronter, en marge de leurs activités quotidiennes et en dehors des structures classiques, les connais-

sances et les expériences acquises par tous les spécialistes marocains de l'hydraulique agricole.

Qu'il me soit donc permis de remercier, une nouvelle fois, l'A.N.A.F.I.D. pour la contribution efficace qu'elle apporte au Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, et de la féliciter pour le remarquable succès rencontré par ce colloque.

Avant de clôturer définitivement vos travaux, qu'il me soit permis de dire aux membres des délégations étrangères combien nous avons été heureux de les accueillir, et de leur exprimer toute notre gratitude pour leur éminente participation et l'intérêt qu'ils ont bien voulu accorder à nos problèmes. J'espère donc les revoir le plus souvent possible au Maroc et leur souhaite une agréable fin de séjour dans notre pays.

# DIMATIT



ADDUCTION - IRRIGATION - DRAINAGE - ASSAINISSEMENT

“de Judicieuses Combinaisons Amiante - Ciment - Plastique”



DISTRIBUTEUR EXCLUSIF: **DOLBEAU** 81, RUE KARATCHI  
CASABLANCA

Tél : 626-81 à 85

# BULLETIN D'ADHESION

NOM ET PRENOM OU ORGANISME : .....

QUALITE ET PROFESSION : .....

ADRESSE : .....

Après avoir pris connaissance des statuts de l'A. N. A. F. I. D. ou de l'A. N. P. A. (1) désire adhérer à cette association.

Je joins à la présente demande un chèque bancaire de (2) ..... DH représentant le montant de ma cotisation au titre de l'année 1972.

Signature :

- (1) Ces documents peuvent vous être envoyés sur simple demande adressée à l'ANAF.I.D. ou à l'ANPA  
(2) 240 DH pour les personnes morales.  
50 DH pour les personnes physiques.

Ce bulletin d'adhésion est à retourner à : l'A.N.A.F.I.D. ou à l'A.N.P.A., B.P. 704 - RABAT.

## BULLETIN D'ABONNEMENT A «HOMMES, TERRE ET EAUX»

NOM ET PRENOM OU ORGANISME : .....

ADRESSE : .....

Désire souscrire ..... abonnements (1) au bulletin de « HOMMES, TERRE ET EAUX ».  
L'abonnement est valable pour un an (4 numéros) et pour les numéros spéciaux éventuels.  
Je joins à la présente un chèque bancaire de ..... DH.

### TARIFS :

MAROC	20 DH - Etudiants 10 DH
ETRANGER	50 DH

Ce bulletin d'adhésion est à retourner à : l'A.N.A.F.I.D. ou à l'A.N.P.A., B.P. 704 - RABAT.

N.B. — Pour les adhérents de l'A.N.A.F.I.D. ou de l'A.N.P.A. l'abonnement au bulletin est compris dans la cotisation.

(1) Indiquer le nombre d'abonnements désirés.