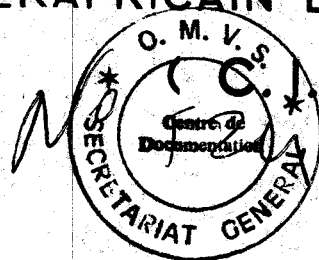


08758 → 08762
COMITÉ INTERAFRICAIN D'ÉTUDES HYDRAULIQUES

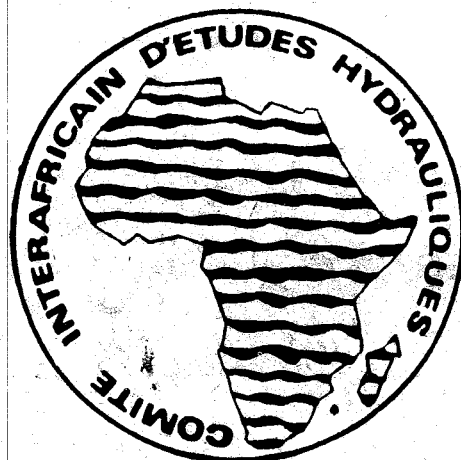


E. H.)

DIXIÈME RÉUNION DU CONSEIL

BAMAKO
19 - 27 FEVRIER 1980

COMPTE RENDU DES JOURNEES TECHNIQUES
TOME 1



VINGTIÈME ANNIVERSAIRE

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES
(C.I.E.H.)

DIXIEME REUNION
DU CONSEIL

BAMAKO



19-27 Février 1980

COMPTE RENDU DES JOURNEES TECHNIQUES

VINGTIEME ANNIVERSAIRE

AVANT PROPOS

Les trois journées, échelonnées du 19 au 21 février 1971, qui ont précédé la dixième réunion du Conseil des Ministres ont été consacrées à des discussions techniques. Près de 35 communications ont été présentées devant plus d'une centaine de délégués, représentant des Etats Membres, des organismes internationaux et des instituts de recherche.

Trois grands thèmes ont été développés :

- Irrigation à partir des eaux souterraines.
- Energie au service de l'hydraulique rurale.
- La décennie de l'eau et de l'assainissement - Objectifs et Programmes.

On trouvera ci-après le texte intégral des communications présentées ainsi que le résumé des débats qui ont suivi les exposés de chacun des thèmes.

Ces journées ont été organisées comme suit :

Monsieur Ali DEMBELE, Directeur de l'hydraulique et de l'énergie a présidé l'ensemble des réunions ; un bureau particulier a été constitué pour chacun des thèmes.

<u>Thème 1</u> :	Vice président	:	M. BEN MOUFFOK	(Algérie)
	Rapporteur	:	M. HALIDOU	(Niger)
	Corapporteurs	:	M. HEMMADI	(CEFIGRE)
		:	M. DI LUCA	(CIEH)
<u>Thème 2</u> :	Vice président	:	M. NGASSAM	(Cameroun)
	Rapporteur	:	M. CHEIKH OMAR TRAORE	(Mali)
	Corapporteurs	:	M. LIDON	(CIEH)
		:	M. LAHAYE	(CIEH)
<u>Thème 3</u> :	Vice président	:	M. BENNANI	(Maroc)
	Rapporteur	:	M. KATAKOU	(Togo)
	Corapporteurs	:	M. ATIVON	(CIEH)
		:	M. BENAMOUR	(CIEH)

SOMMAIRE GENERAL

SOMMAIRE DU TOME I.

PAGE

Avant propos.....		1
✧ Premier Thème : Irrigation à partir des eaux souterraines.....		2
- Rapport introductif par C. DILUCA et A. BENAMOUR (CIEH).....		2
✧ - Irrigation à partir des eaux souterraines par A. de CASANOVA (SATEC)		21
- Présentation du projet de mise en valeur hydroagricole intégrée de la basse vallée de l'Oued Sébaou dans la Wilaya de Tizi Ouzou en Algérie par B. BEN MOUFFOK (Hydraulique W.T.O).....		31
- Aménagement hydroagricole du Souss-amont par M. DAOUDI (MARA) et A. BENTAYEB (MEPN).....		48
✧ - Note de présentation sur le système d'irrigation au goutte à goutte par J.C. MENAGER (EIER OUAGADOUGOU).....		67
- Recharge artificielle des nappes - Conception Technique du sous projet d'Iferouane par le bureau d'études GKW (ALLEMAGNE FEDERALE).....		76
- Irrigation à partir des eaux souterraines au Togo par DEH KOSSI Ingénieur Géophysicien.....		84
✧ - Système de cultures irriguées à partir des eaux souterraines par TRAN MINH DUC (CNRA de BAMBEY Sénégal).....		89
- Aménagement hydroagricole du bassin côtier Drader Soueir (Maroc) par A. BENNANI (MARA) et A. BENTAYEB (MEPN).....		100
✧ - Eaux souterraines et irrigation le point de vue du modéliste par A. LEVASSOR (Ecole Mines Paris).....		130
- Etude des possibilités d'exploitation des ressources en eaux souterraines de la Thessalie (Grèce) pour l'irrigation par J.M. DUJARDIN, P.GAILLARD, R. HUBER, J. SIEBERT (SOGREAH).....		137
✧ - Résumé des débats et conclusions sur le Thème 1 : Irrigation à partir des eaux souterraines (CIEH).....		169

SOMMAIRE DU TOME II.

Deuxième Thème : Energie au service de l'hydraulique rural.....		171
Avant propos.....		175
Introduction du Thème : L'énergie au service de l'Hydraulique rurale par B. LIDON (CIEH).....		172
- Energie solaire - Expérience à l'EIER de Ouagadougou par E. VERIDIQUE		180
- Energie pour le pompage la production d'électricité et la climatisation par M. VERGNET et P. DUFOUR (SOFRETES/MENGIN).....		197

.../...

X - Pompe solaire - Premiers résultats de contrôle du débit de pompage par TRAN MINH DUC (IRAT - Bamby - Sénégal).....	213
- L'énergie au service de l'Hydraulique Rurale au Niger par ASSOUMANE Assoufou.....	223
- Les expérimentations de l'EIER en matière d'énergie éolienne par B. GIRAUD.....	231
X- L'irrigation de complément à la portée de systèmes agricoles vivriers par F. FOREST (IRAT).....	236
- Programme biogaz-Compost - Etat d'avancement de la recherche par MM. B.LIDON, M.NACRO et G. SOLA (CIEH/Rép. de Haute-Volta)	240
- Microcentrales hydroélectriques par Henri MOUSSU (BRGM).....	254
- Résumé des débats et conclusions sur le thème 2 : Energie au service de l'hydraulique rurale.....	261
<u>Troisième Thème : La décennie de l'eau et de l'assainissement</u>	
- Note introductive par K. ATIVON.....	262
- Elaboration de projets d'Hydraulique Villageoise par Pierre MARTIN. (CIEPAC).....	269
- REGIDESO - Objectifs et programmes par Kapila WANDOMBA (Zaïre)	274
- L'alimentation en eau potable en zone aride ou semi-aride - Problèmes spécifiques et rôle de l'ingénieur conseil par Denis ROBERT. (SOGREAH).....	281
- La campagne d'Hydraulique Villageoise du "Projet coton" - Méthodologie et résultats par BURGEAP SA et la Direction Centrale de l'Hydraulique de Côte-d'Ivoire..	290
- L'eau souterraine des roches cristallines - travaux complémentaires sur le milieu fissuré par M. ENGALENC (GEOHYDRAULIQUE)	316
- Recherche d'eau en roches à porosité de fissures - contribution de la Géophysique par MM. E ALESSANDRELLO, Y. BERTRAND et J. LAKSHMANAN (CPGF)	320
- Méthodes de prospection électrique en milieu cristallin fracturé - apport du dispositif carré par M. BRION et J.C. LACHAUD.....	342
- Exemples d'application des isotopes du milieu à des problèmes d'hydrologie souterraine en Afrique par M. DRAY, R. CONFANTINI, B.R. PAYNE et G.M. ZUPPI (AIEA).....	355
- Programme d'Hydraulique Villageoise - 4ème FED au Togo par M. BISCALDI, BRGM/AGE.....	371
- Décennie Internationale de l'eau et de l'assainissement - Rapport du Gouvernement Sénégalais.....	376

III

PAGE

- Quelques aspects du programme de l'UNESCO dans le domaine des ressources en eau par S. DUMITRESCU..... 378
- x - Résumé des débats et conclusions sur le thème III : La décennie de l'eau potable et de l'assainissement - objectifs et programmes..... 380

DIVERS ET RECOMMANDATIONS

- Etudes diverses.....

Sont citées seulement :

- . Programme scientifique de l'ASECNA pour WAMEX par Mme KHEBET MA Fatoumata
- . Etat des connaissances sur le problème de la pluie provoquée au Sahel par Mme KHEBET.(ASECNA)
- . Utilisation de la télédétection spatiale dans les projets d'étude et de surveillance des barrages par M. MALACAMP Jean.CRTO - Ouagadougou.
- . Transmission par satellites des données hydrométriques par M. CALLEDE (ORSTOM).

- Déclaration du Représentant du Centre de télédétection de Ouagadougou (C.R.T.O.)..... 384
- Recommandations à caractère général..... 387

x

x

. x

DISCOURS D'OUVERTURE DES JOURNEES D'ETUDES
par M. GAGARA, SECRETAIRE GENERAL DU CIEH.

Messieurs les Ministres,
Messieurs les Représentants des Pays Membres du CIEH,
Mesdames, Messieurs.

C'est pour moi une tâche agréable d'ouvrir ces Journées d'études et je tiens en premier lieu à remercier le Gouvernement du Mali d'avoir accepté que les assises du CIEH se tiennent à Bamako, et d'avoir aussi largement participé à leur organisation. Je dois également remercier les nombreux rapporteurs qui m'ont adressé le texte de leur exposé à l'avance. Ceci nous a permis de préparer la duplication de ces textes et concourt de cette manière à la réussite de ces Journées en donnant par avance à chacun des sujets de réflexion.

Il me faut remercier tout particulièrement nos amis des pays anglophones qui ont fait l'effort de quitter leurs pays respectifs, pour se joindre à nous.

Je suppose que la plupart d'entre eux comprennent le français et s'expriment sans difficulté notable en français. S'il n'en était pas ainsi je leur demanderais de se faire connaître afin de les aider à trouver un traducteur ou un technicien bilingue qui pourraient leur faciliter la compréhension des débats. Je veux enfin faire part de ma gratitude à tous ceux qui sont venus assister à ces débats techniques et dont certains sont venus de très loin. Les thèmes que nous avons retenus pour ces Journées d'études sont au nombre de trois, mais si les débats se déroulent assez rapidement sur ces trois thèmes, il est entendu que nous pourrions éventuellement ouvrir la discussion sur des sujets divers. Ceci pourrait permettre éventuellement de déceler certaines lacunes dans les préoccupations des techniciens et de voir si des études nouvelles ne pourraient pas être inscrites soit au programme du CIEH, soit dans celui d'autres organismes selon les compétences. Mais au départ je souhaiterais personnellement que l'on suive l'ordre des sujets pour les débats à savoir :

.../...

- 1) Irrigation à partir des eaux souterraines ;
- 2) Energie au service de l'hydraulique rurale ;
- 3) La décennie de l'eau et de l'assainissement -
Objectifs et programmes.

Le premier sujet peut surprendre car la majeure part des irrigations en Afrique se fait avec des eaux de surface. Mais il convient de rappeler que la ration alimentaire devrait tendre à se diversifier et que dans l'avenir les populations d'Afrique aussi bien rurales qu'urbaines pourraient judicieusement cultiver et consommer des légumes en plus grande quantité ; ainsi on pourrait sans doute mieux rentabiliser une eau relativement coûteuse puisque pompée.

Le deuxième thème est placé dans la ligne des préoccupations actuelles de crise d'énergie et son inscription à notre programme se justifie déjà : mais c'est surtout pour que le CIEH fasse part de ses connaissances en matière de biogaz que ce thème a été retenu : ces connaissances reposent essentiellement sur une expérimentation prolongée et couronnée de succès et également sur les enseignements acquis lors d'un voyage en Chine de l'un des techniciens du CIEH. De même dans ce domaine plus spécialement en matière d'énergie solaire, l'EIER a des expériences qui méritent d'être connues.

Le troisième thème trouve sa justification dans les préoccupations générales de la décennie de l'eau qui se rapportent essentiellement à la facilité d'obtention d'une eau propre, et participer ainsi au mieux-être des populations. Ce devrait être pour plusieurs années la tâche de très nombreux techniciens dont le CIEH pourrait sans doute coordonner les actions en liaison avec les dirigeants des pays membres.

ALLOCUTION D'OUVERTURE PAR MR. ALY DEMBELE.DIRECTEUR
GENERAL DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'ENERGIE DE LA REPU-
BLIQUE DU MALI -

- Honorables délégués des pays membres du Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques;
- Messieurs les invités;
- Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs .

C'est pour moi, un plaisir réel et un agréable devoir de souhaiter la bienvenue aux Experts des Pays amis et frères qui ont bien voulu répondre à l'invitation qui leur a été faite à l'occasion des journées techniques du C.I.E.H.

Je formule le voeu que votre séjour dans notre pays soit particulièrement agréable et vous prie de bien vouloir nous excuser des imperfections que vous auriez pu relèver dans l'accueil et les commodités mises à votre disposition.

Nos souhaits de bienvenue vont de même à tous ceux qui :

- Délégués des Organisations soeurs Inter-Africaines et Internationales;
 - Bailleurs de Fonds;
 - Représentants des Sociétés, Entreprises et Bureaux d'Etudes;
- qui ont bien voulu apporter de par leur participation effective et leur expérience, l'éclat auquel nous sommes en droit de nous attendre, aux présentes journées techniques.
- Messieurs les délégués;
 - Honorables invités.

Comme vous le savez ce 10e Conseil de Bamako coïncide avec le 20e anniversaire de la création de notre Organisation. Au cours de ces vingt-années, nous avons conçu, élaboré, et exécuté de multiples Projets d'intérêts communs s'étendant à tous les domaines de la Recherche et de la mise en valeur des Ressources Hydrauliques dont notre Continent a un besoin pressant.

Enumérer ces études serait une tâche fastidieuse et longue.

Que l'Organisation trouve ici notre encouragement et notre exhortation à aller toujours de l'avant.

Au cours de ces trois journées techniques nous nous pencherons, sur trois nouveaux thèmes.

Il s'agit de :

- l'Irrigation à partir des Eaux Souterraines
- l'Energie au Service de l'Hydraulique Rurale
- la Décennie Internationale de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement.

Nous sommes convaincus qu'à l'issue de ces débats techniques certaines solutions seront trouvées aux problèmes de recherche et d'exploitation des eaux souterraines pour une meilleure condition de vie dans nos zones rurales.

En effet au moment où le plan alimentaire régional pour l'Afrique fait état d'un déficit alimentaire par tête d'habitant de 1,5 % par rapport à la moyenne de 1961 - 1970, il est évident que les systèmes agricoles traditionnelles ont bien atteint leurs limites, et qu'ils ne peuvent plus répondre aux exigences de l'autosuffisance alimentaire de nos masses laborieuses.

Cette situation nous a été brutalement rappelée, au cours de ces dix dernières années, à la suite d'une série de saisons extrêmement sèches dans une grande partie de l'Afrique, notamment dans sa partie sahélienne.

Ainsi on peut annoncer sans grand risque de se tromper que toute politique de sécurisation de la production agricole de nos pays sahéliens, doit avoir comme support indispensable, la recherche des solutions aux problèmes de la maîtrise et de l'utilisation rationnelle des eaux.

L'irrigation à partir des eaux souterraines est une perspective sérieuse si on lui garantit une exploitation des eaux adaptée aux conditions économique-socioculturelles des régions.

Nous espérons qu'au cours de nos débats nous arriverons à définir et à cerner les modalités pratiques d'application ainsi que les problèmes financiers, techniques et socio-culturelles liés à un tel système.

S'agissant du 2^e thème "l'Energie au service de l'Hydraulique Rurale" nous souhaiterions qu'à l'issue des débats, nous soyons tous mieux armés pour définitivement attaquer ce problème majeur de l'élaboration d'une politique énergétique applicable à notre monde rural; afin de résoudre d'une manière appropriée les problèmes de l'exhaure de l'eau, de la production de froid pour la conservation des produits agricoles ou de leur séchage par la production de chaleur ect...

.../...

THEME I

IRRIGATION A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES

THEME I

IRRIGATION A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES

NOTE INTRODUCTIVE SUR L'IRRIGATION
A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES

Par C. DILUCA et A BENAMOUR
Département Hydrogéologie du CIEH

Si en Afrique de l'Ouest, le problème le plus important est encore celui de l'alimentation en eau des populations, le développement de l'agriculture irriguée contribue efficacement à assurer une auto suffisance alimentaire des pays.

Lorsque les conditions hydrogéologiques sont économiquement favorables les eaux souterraines peuvent pallier l'insuffisance des ressources en eau de surface, au cours de la période sèche.

L'utilisation combinée des eaux de surface et des eaux souterraines pour l'irrigation devrait permettre d'atteindre les objectifs du Plan Mondial de Développement Agricole de la FAO : 800.000 ha irrigables à l'échéance 1985.

Une récente estimation établie par la SCET International évalue à l'horizon 2.000 une superficie irrigable de 200.000 ha à partir des eaux souterraines issues des grands aquifères de l'Ouest Africain. Dans les régions de socle cristallin où les eaux souterraines constituent des aquifères de faible dimension et discontinus, les projets de moyenne et faible envergure comportent des avantages inconstables tels que leur coût modéré et la participation de la population.

Le présent rapport a pour but d'établir les éléments de base à une réflexion sur les possibilités de l'Irrigation à l'aide des eaux souterraines en Afrique de l'Ouest.

I - AVANTAGES DES EAUX SOUTERRAINES.

Les eaux souterraines constituent la seule ressource utilisable pour l'irrigation lorsque :

- les ressources en eau de surface sont inexistantes en saison sèche. C'est le cas de la plupart des "marigots" qui s'assèchent au début de la saison sèche et où l'agriculture irriguée va dépendre du débit du cours d'eau.
- l'on s'intéresse à des régions éloignées des vallées. Les eaux souterraines permettent alors une mise en valeur de secteurs dépeuplés et peuvent favoriser le réaménagement et l'extension d'oasis dans les zones désertiques. En Mauritanie, l'intérêt des oasis est incontestable puisqu'elles permettent d'assurer le ravitaillement (alimentaire) des centres miniers (actuels et futurs) et constituent le seul point d'échange entre les nomades et les sédentaires.
- les conditions topographiques ne favorisent pas l'implantation d'un barrage.

La topographie généralement plate des vallées se prête peu à de tels aménagements dont l'efficacité dépend des pertes par évaporation.

.../...

- L'eau de surface favorise le développement des maladies parasitaires telles que la bilharziose ou l'Onchocercose. L'utilisation des eaux de surface nécessite alors la réalisation de programmes coûteux pour leur éradication, comme par exemple le programme "Onchocercose" dans les vallées des Voltas. Il est certain que dans ces conditions particulières, les eaux souterraines présentent un avantage de qualité bactériologique.

II - ETABLISSEMENT DE CARTES DES ZONES OU L'IRRIGATION A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES EST POSSIBLE DANS LES BASSINS SEDIMENTAIRES.

Il a été dressé une carte par bassin sédimentaire sur laquelle nous avons localisé les zones où l'irrigation à partir des eaux souterraines est techniquement et économiquement possible. (Voir annexe).

Les bassins étudiés sont les suivants :

- bassins sénégal-mauritanien,
- bassin du Niger,
- bassin du Delta Central du Niger,
- bassin du Lac Tchad.

Les cinq cartes ont été élaborées à partir des données fournies par les notices et cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique Sahélienne établies par le BRGM en 1975, quatre cartes intéressent l'aquifère le plus proche de la surface du sol.

Les systèmes aquifères inférieurs sont représentés sur une cinquième carte pour le bassin sénégal mauritanien et pour le bassin du Niger.

Les critères adoptés pour l'établissement de ces cartes sont de trois types.

- productivité des nappes ou débit initial d'ouvrage,
- coût au m³ d'eau,
- aptitude des eaux souterraines à l'irrigation.

Nous donnons ci-après le mode de calcul et les limites admises pour l'élaboration de ces cartes :

II.1 - Productivité des nappes.

La productivité représente l'ordre de grandeur probable de la production journalière, en début d'exploitation, d'un ouvrage ponctuel captant un aquifère. Elle ne préjuge pas de l'influence de facteurs tels que le renouvellement des réserves, l'interaction des ouvrages, le vieillissement des ouvrages.

La productivité initiale a été calculée au droit de chaque ouvrage connu suivant deux cas types :

- Nappe libre d'épaisseur connue : $P = Q_s \times \frac{H}{3}$

- Nappe captive ou nappe libre d'épaisseur inconnue : $H = Q_s R_c$

avec Q_s = débit spécifique en $m^3/j/m$ d'un ouvrage parfait (forage captant toute l'épaisseur de l'aquifère et sans pertes de charge dues au captage) situé à l'emplacement de l'ouvrage considéré pour 24 h. de pompage.

H : Epaisseur de la nappe.

R_c : Rabattement admissible comptant pour un secteur donné.

$H/3$: Rabattement admissible égal au tiers de l'épaisseur de la nappe.

Dans le cas de nappes captives jaillissantes, la productivité est le débit naturel de l'ouvrage. Dans le cas des aquifères ingénieurs, il a été admis un rabattement de 10 m au Niger et de 30 m au Sénégal.

On a retenu les zones où la productivité est supérieure ou égale à $550 m^3/j$. Dans ce cas, il est possible de créer un périmètre de l'ordre d'une dizaine d'hectares en cultures intensives dont les besoins utilitaires sont voisins de $0,65 l/s/ha$.

II.2 Coût de l'eau.

Le coût de l'eau exprime le coût de production du m^3 d'eau souterraine à la côte + 10 m par rapport à la surface du sol.

La formule retenue pour les calculs des coûts est la suivante :

$$C_u = \frac{IF}{na} + \frac{DV}{V} = C_{uF} + C_{uV}$$

avec C_u = coût unitaire du m^3 d'eau souterraine produit.

IF = montant des investissements (fixes) des infrastructures et équipements.

na : nombre d'années d'amortissement des investissements.

DV = dépenses variables.

V = volume annuel d'eau souterraine extrait (m^3).

C_{uF} = coûts unitaires fixes.

C_{uV} = coûts unitaires variables.

Les coûts unitaires fixes font intervenir les coûts du forage (charges fixes, forage, tubage, crépine), des équipements de pompage et du moteur compte tenu du nombre d'années d'amortissement évalué comme suit :

- forage : 15 ans.
- équipement : 5 ans.
- moteur thermique : 4 ans.

.../...

Malgré l'intérêt primordial de l'Aménagement de la Vallée du Fleuve Sénégal, il est impossible de ne pas tenir compte de la mise en valeur des régions sahéliennes et désertiques où vit la majorité des populations. Dans ce but, il a été envisagé une utilisation conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines pour l'irrigation de plaines des régions sahéliennes et la mise en valeur d'oasis à partir des eaux souterraines dans les régions désertiques.

.../...

* Inventaire extrait des rapports nationaux présentés par l'équipe de travail "Cultures irriguées" du Club des Amis du Sahel. Mars 1977.

Les coûts unitaires variables constituent les dépenses énergétiques.

On a retenu les zones où le coût du m³ d'eau produit est inférieur ou égal à 20 F CFA.

II.3. Aptitude des eaux souterraines à l'irrigation.

Les eaux doivent répondre à certaines tolérances hydrochimiques pour être utilisées en irrigation.

La méthode utilisée pour classer les eaux est celle du laboratoire de Riverside (US Salinity Laboratory - Département de l'Agriculture - Californie). Elle est fondée sur :

Les aménagements hydroagricoles prévus et leurs programmations sont les suivants :

- Tammourt en Naaj : aménagement de 600 ha à court terme (1980) et 400 ha à moyen terme (1990) en assolement fourrager-légumier.
- Achram Diouk : aménagement de 300 ha à moyen terme avec le même type d'assolement.
- Plaine d'Aleg : aménagement d'un périmètre céréalier de 1000 ha à long terme (2.000).

L'identification d'autres périmètres aménageables à moyen ou long terme est en cours d'étude.

IV.2. Au Sénégal.

Mis à part, l'aménagement de la vallée et du Delta du Sénégal qui doit être régularisé dès 1981 par les barrages de Diama et de Manantali, le Gouvernement sénégalais envisage d'utiliser les eaux souterraines pour l'irrigation :

- Dans la région des Niayes - Cap-Vert : il est prévu à court terme, la réalisation de 2 opérations pilotes destinées à irriguer 300 ha à partir des eaux souterraines contenus dans les sables dunaires ou éventuellement dans le Paléocène.

Des études sont en cours ou en projet pour évaluer les possibilités d'irrigation dans d'autres régions : notamment.

- Etude schématique de l'utilisation de la nappe des calcaires lutés de la région de Longa (région du centre).
- Etude sur modèle mathématique de la nappe des sables maestrichtiens dans la région sylvopastorale du Ferlo.
- Etude de la nappe des sables du Continental Terminal dans la région du Bas Saloum. Dans ce secteur, il est envisagé une irrigation faisant intervenir les eaux de surface (Bâo Bolon; rivière Nema, Koutar Bolon) et les eaux souterraines. Les potentialités sont estimées à 4.000 ha.

IV.3. Au Niger.

Les potentialités de la République du Niger sont estimées à 150.000 ha irrigables à partir des eaux de surface (vallée du Niger - après réalisation du projet de Kandjari, Aderdoutchi, Koumadougou, Lac Tchad) et des eaux souterraines. Ces dernières participeraient pour 40 % (soit 60.000 ha) et seraient exploitables dans les vallées sèches (Dallols, Goulbi et Koris). Dans ces zones, les eaux de surface sont inexistantes. La solution "barrage" n'est pas envisageable. Les eaux souterraines sont par contre économiquement très avantageuses puisqu'elles sont souvent artésiennes.

Les projets ou réalisations sont les suivants :

- Réalisation de petits périmètres dans la vallée de l'Irnazer et du Dallol Maouri.

- Projet d'aménagements hydroagricoles du Goulbi de Maradi, du Dallol Dosso et de la vallée de Tarka dans la région du Centre.

L'étude hydrogéologique de la vallée de Tarka vient d'être entreprise.

- Projet d'exploitation de la nappe des Koramas dans le secteur Est.

- Aménagement des plaines de Talah et des Koris de l'Aïr et de Balma au Nord du Territoire.

IV.4. Au Cameroun.

L'étude de la nappe alluviale du Logone, dans le Nord Cameroun, est en cours d'exécution. Elle devrait permettre d'aboutir à un schéma d'exploitation de cet aquifère en vue d'une mise en valeur hydroagricole de la région.

IV.5. Au Bénin.

Au NE du Bénin, dans la zone de Borgou, une irrigation à petite échelle est réalisée depuis quelques années à partir de puits construits en investissement humain et équipés d'un "dalu".

IV.6. En Haute-Volta.

Les Organismes Régionaux de Développement (ORD) favorisent l'implantation de petits périmètres maraîchers irrigués à partir des eaux souterraines. Leur superficie ne dépasse guère 1 à 2 ha. L'investissement revient à 1,8 million/ha et comprend la création d'un puits, la pose d'une clôture, la construction d'un bassin et l'achat d'une moto pompe. Les bénéfices nets de ces périmètres sont de l'ordre de 1 million/an/périmètre. Le financement est assuré par le F.D et géré dans le cas des microréalisations (pépinières, par le FDR (Fonds de Développement Rural). Quelques périmètres maraîchers et pépinières, alimentés par puits et forages, ont pu être recensés dans les ORD suivants :

ORD	Périmètres maraîchers - Pépinières
OUAGADOUGOU	70 maraîchers répartis en 7 villages dans le secteur de Basseko.
YATENGA	Gourcy (1 ha) ; Ouahigouya (2 ha) ; Ramasse (1 ha) ; Bidi (1 ha) ; Titac - Thiou - Koumbri.
KOUDOUGOU	Salbisgo
BANFORA	Sienana et Diongolo - Kafiela

V. EVALUATION ECONOMIQUE DES DEUX TYPES DE PRODUCTION.

V.1. Les eaux de surface.

Nous avons calculé le coût total annuel d'un barrage à vocation hydro-agricole et le coût du m³ d'eau fourni. Ce calcul est effectué à partir de données fournies par 3 barrages en Haute-Volta. Les hypothèses sont les suivantes :

- 40 % du volume total de la retenue est utilisé pour l'irrigation, les 60 % inutilisées constituent en pertes par évaporation et la réserve conservée en fin d'exploitation,

- La durée d'amortissement du barrage est de 30 ans,

- L'entretien du barrage est estimé à 300.000 F CFA/an,

- Le coût annuel du barrage est basé sur le coût d'investissement, un taux d'intérêt de 8 % par an, un "facteur de récupération du capital" ou "facteur d'amortissement" calculé par la formule :

$$f = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad \text{avec } i : \text{taux d'intérêt } 8\% \\ N = \text{durée de vie de l'ouvrage.}$$

Les résultats sont les suivants :

Barrage	Volume total 10 ⁶ m ³	Volume utile 10 ⁶ m ³	Coût 1979 10 ⁶ FCFA	Coût annuel 10 ⁶ FCFA	Coût du m ³ m ³ FCFA
Sitenga	9,45	3,78	90	8,22	2,17
Diébanga	1,04	0,41	50	4,7	11,4
Séguénéga	0,06	0,024	24	4,92	205

V.2. Les eaux souterraines.

Les cartes de planification des ressources en eau établies pour les pays sahéliens et pour les pays côtiers fournissent le coût du m³ d'eau souterraine exploitée dans les bassins sédimentaires. Ce coût comprend l'exécution du forage, l'équipement du forage en tubage et matériel de pompage, les dépenses énergétiques. Il tient compte des durées d'amortissement.

Ainsi calculé, le coût du m³ eau souterraine varie de 2 à 50 F CFA. selon le tableau suivant :

.../...

Aquifère	Bassin du	Coût du m ³ FCFA
Maestrichtien	Sénégal	9 à 10
Nappes phréatiques	Sénégal	20 à 50
Continental Intercalaire	Niger	15 à 40
Nappes superficielles	Tchad	20 à 25
Nappes phréatiques	Côte-d'Ivoire	2 à 30
	Ghana	
	Togo	
	Bénin	
Nappes du Paléocène	Togo	5 à 30
Nappes du Cretacé Supérieur		

Dans les régions d'aquifères discontinus, le coût du m³ d'eau est très variable. Il est plus élevé que le coût de production des eaux souterraines en aquifères généralisés. Nous donnons, ci-dessous, les coûts de m³ d'eau souterraine, fournie par une pompe à main et par une pompe électrique.

Profondeur du forage	Moyen d'exhaure	Débit d'exploitation	Coût du m ³ d'eau
50 m	Pompe à main	6 m ³ /j	146 F
60 m*	Electropompe	30 m ³ /j	200 F
120 m*	Electropompe	10 m ³ /j	400 F

Dans ces régions de socle cristallin, le forage type utilisé pour l'irrigation a une profondeur moyenne de 50 m et fournit un débit de 10 m³/j.

Le coût d'un tel ouvrage est de l'ordre de 1.800.000 F CFA. Sa durée de vie est de 20 ans et celle de la pompe à main de 5 ans.

Le coût annuel de l'ouvrage est alors de :

.../...

* Installation nécessitant un réservoir et un réseau de distribution embryonnaires.

- Amortissement du capital :		
1.800.000 \times 0,10185 ^{*1}	1.83 10 ⁵	F CFA
- Majoration pour échec : 10 %.....	1.83 10 ⁴	F CFA
- Pompe : 240.000 \times 0,25 ^{*2}	6.10 ⁴	F CFA
- Entretien ouvrage et pompe.....	6.10 ⁴	F CFA
Coût annuel.....	3.2.10 ⁵	F CFA

Nous avons calculé ce coût annuel d'un système de forages effectués en zone de socle cristallin et fournissant un volume d'eau équivalent à la solution barrage :

Barrage	Volume utile 10 ⁶	Coût annuel de la solution barrage	Nombre de forages	Coût annuel de la solution forage
Sitenga	3,78	8,22	1.890	6 10 ⁸ F CFA
Diébanga	0,41	4,7	205	6.5 10 ⁷ F CFA
Séguénéga	0,024	4,92	120	3.8 10 ⁶ F CFA

La figure 1 montre que la solution forage équipé de pompes à main devient plus avantageuse que la solution barrage pour des volumes annuels nécessaires inférieurs à 2 10⁴ m³. Cette comparaison n'intéresse que les zones de socle cristallin et explique le grand nombre de périmètres irrigués à partir des eaux souterraines en Haute-Volta.

VI. CONCLUSION.

La tendance actuelle d'un développement de l'agriculture irriguée est très nette en Afrique de l'Ouest. Son évolution à long terme a constitué l'un des thèmes de travail du Club des Amis du Sahel réuni à Ottawa en juin 1977. Si l'utilisation des eaux de surface, après régularisation des grands fleuves, présente un attrait considérable, l'exploitation des eaux souterraines pour l'irrigation peut jouer un rôle important au cours des prochaines années.

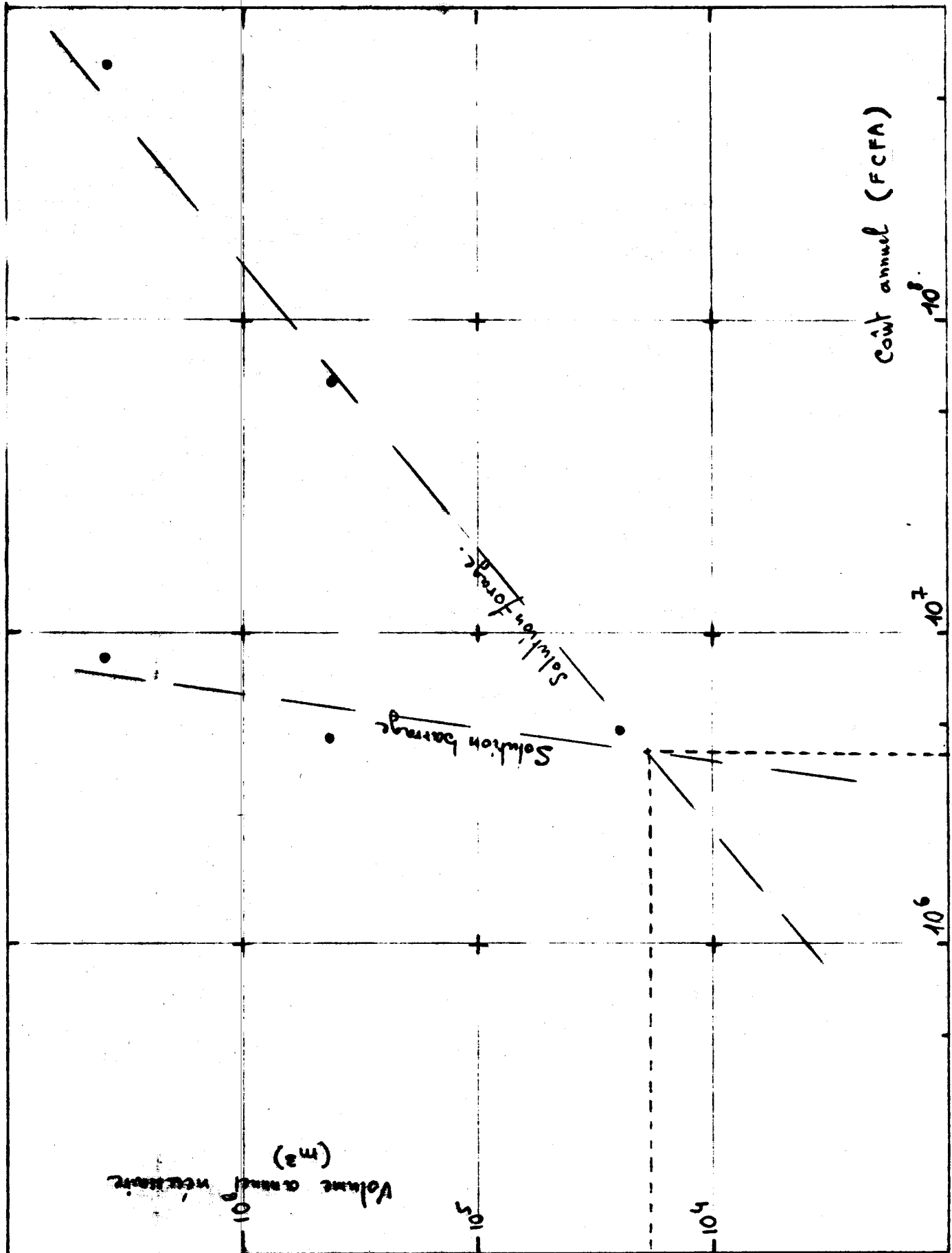
.../...

*1 : 0,10185 : facteur d'amortissement du forage.

*2 : 0,25 : facteur d'amortissement de la pompe.

COMPARAISON ECONOMIQUE BARRAGES - FORAGES

Figure 1



Leur avantage sur la solution "eau de surface" est incontestable dans les secteurs où ces dernières sont insuffisantes ou de mauvaise qualité chimique (invasions salées). Elles présentent en outre un avantage de qualité bactériologique.

Plusieurs réalisations existent déjà en Afrique de l'Ouest, que ce soit en zone d'aquifère généralisé qu'en zone de socle cristallin où les aquifères sont très localisés et discontinus.

Nous avons établi des cartes localisant les zones où l'irrigation à partir de ces eaux souterraines est possible, dans ces bassins sédimentaires en respectant des hypothèses de productivité, de coût et de qualité chimique des eaux.

Nous avons donné l'ordre de grandeur du coût du m³ d'eau fourni par chaque hypothèse de production.

Ce calcul n'est qu'une approche grossière et doit être affiné lors des évaluations des projets.

La comparaison économique a été faite pour des régions de socle cristallin où les forages sont peu profonds et où les eaux souterraines fournissent des faibles débits, (de l'ordre du m³/h). Dans ce cas la solution forage présente un intérêt pour les petits périmètres irrigués nécessitant des volumes annuels inférieurs à 20000 m³.

L'exploitation et la gestion d'aquifères dans certaines régions en vue d'un aménagement hydroagricole nécessitent encore la réalisation d'études de leurs potentialités faisant intervenir la simulation sur modèle mathématique ; (nappe des sables maestrichtiens au Sénégal).

L'utilisation de techniques et de matériel de forage modernes doivent contribuer à diminuer le coût du m³ d'eau souterraine.

x

x x

- 44 -
BIBLIOGRAPHIE

I. GENERALITES.

GIEZES CLAUDE : 1964 : Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Ministère de la Coopération/Ministère de l'Agriculture - Direction Générale du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole. PARIS - République Française.

BOGOMOLOV LEBEDEV : 1976 : Influence of irrigation on hydrogeological processes in the aeration zone in Proceedings of International Symposium on Arid Land Irrigation in Developing Countries. Environmental problems and Effects : ALEXANDRIA - Egypt.

BERGMANN, HELLMUTH, J.M. BONNARD : 1976 : OCDE - Guide de l'évaluation économique des projets d'irrigation. PARIS - République Française.

Ministère de la Coopération : 1977 : Wémento de l'Adjoint Technique des travaux ruraux. PARIS - République Française.

II. UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU EN AFRIQUE DE L'OUEST.

FAC : 1971 : Développement de l'utilisation des eaux souterraines (Dahomey). Agronomie. Etude de deuxième phase. ROME - Italie.

République Française : 1973 : Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères. Direction de l'Aide au Développement. Services des Etudes Techniques. Aperçu synthétique sur les problèmes de l'eau dans les zones arides et semi-arides au Sud du Sahara.

Agronomie Tropicale : 1974 : Séminaire FORD/IITA/IRAT. IBADAN - Nigeria 1972 : les perspectives pour l'irrigation en Afrique de l'Ouest.

Eaux souterraines : facteur important du développement agricole de l'Afrique Occidentale (C. des Bouvries).

BRGM : 1975 : Notices explicatives et cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique Sahélienne.

FAO : 1975 : Planification du développement de petits aménagements hydroagricoles en Afrique au Sud du Sahara. Séminaire FAO/DANIDA. OUAGADOUGOU 1975.

Ministère de la Coopération : 1976 : Etude préliminaire sur le bilan des ressources en eau des pays sahéliens de l'Afrique de l'Ouest et sur les possibilités d'utilisation. Rapport et Annexes. République Française.

BURGEAP : 1978 : L'équipement des villages en puits et forages en fonction des conditions hydrogéologiques dans les Etats ACP d'Afrique.

.../...

SCET International - SEDES : 1976 : Essai de réflexion sur les stratégies antisécheresses possibles dans le Sahel de l'Afrique de l'Ouest. Rapport de synthèse.

BDPA : 1976 : Carte d'aptitude des terres à l'irrigation pour l'utilisation des eaux souterraines du Sahel.

Conférence des Nations-Unies sur l'Eau : 1976 : Réunion Régionale Africaine. Problèmes de la mise en valeur des ressources en eau en Afrique. Rapport régional. ADDIS ABABA - Ethiopie.

MATON GUY : 1976 : L'irrigation, facteur de survie du Sahel dans Revue Juridique. Indépendance et Coopération Tome 30 n° 4.

Club des Amis du Sahel/BRGM : 1977 : Les eaux souterraines du Sahel. Etudes des ressources. Propositions d'étude. Typologie des captages.

CILSS : 1977 : Club des Amis du Sahel : Equipe cultures irriguées. Rapport de synthèse et rapports nationaux.

BURGEAP : 1978 : Possibilités de petite irrigation à partir de certaines nappes peu profondes d'Afrique de l'Ouest. Proposition d'étude CIEH.

BRGM/CIEH : 1979 : Carte de planification des ressources en eau. Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin.

TAMS/CIEH : 1979 : Utilisation des ressources en eau et des terres des régions de Savane. Volume 5 et volume 7.

BRGM/CIEH : à paraître en 1980 : Carte des ressources en eau de la République du Cameroun.

III. EVALUATION DU COUT DES BARRAGES A VOCATION AGRICOLE.

BDPA : 1965 : Réalisation de barrages en investissement humain. Rapport de travaux des barrages de Souls et Lagrengo - Haute-Volta.

SOGREAH : 1973 : Reconnaissance des sites de barrages dans les vallées des Volta Blanche et Rouge - Haute-Volta.

SOGREAH : 1976 : Inventaire des sites de barrages dans les Monts de Mandara. Etude préliminaire. République Unie du Cameroun.

TAMS : 1979 : Préparation des plans détaillés et cahiers des charges pour l'irrigation des périmètres en aval de quatre barrages en terre. Rapport définitif. Haute-Volta.

ONBI : 1979 : Situation du projet "4 barrages" en Haute-Volta.

.../...

LEGENDE

 Zone où l'irrigation à partir des eaux souterraines est techniquement et économiquement possible

Critères adoptés:

- Débit d'exploitation initial: $> 550 \text{ m}^3/\text{j}$
- Coût du mètre cube: $< 20 \text{ F CFA (valeur 1975)}$
- Qualité des eaux: excellente, bonne, admissible (d'après les normes du laboratoire de Riverside - Californie - USA.)

Seul est représenté l'aquifère le plus proche de la surface du sol.

D'après BRGM 1975

Bassin Sénégal-Mauritanien



0 60 120 Km

MAURITANIE

o ALEG

SENEGAL

ROSSO

lac de Gues

ST LOUIS

o LOUGA

o LINGUERE

KAEDI

MATAM

TIVAOUANE

o BAMBEY

BAKAR

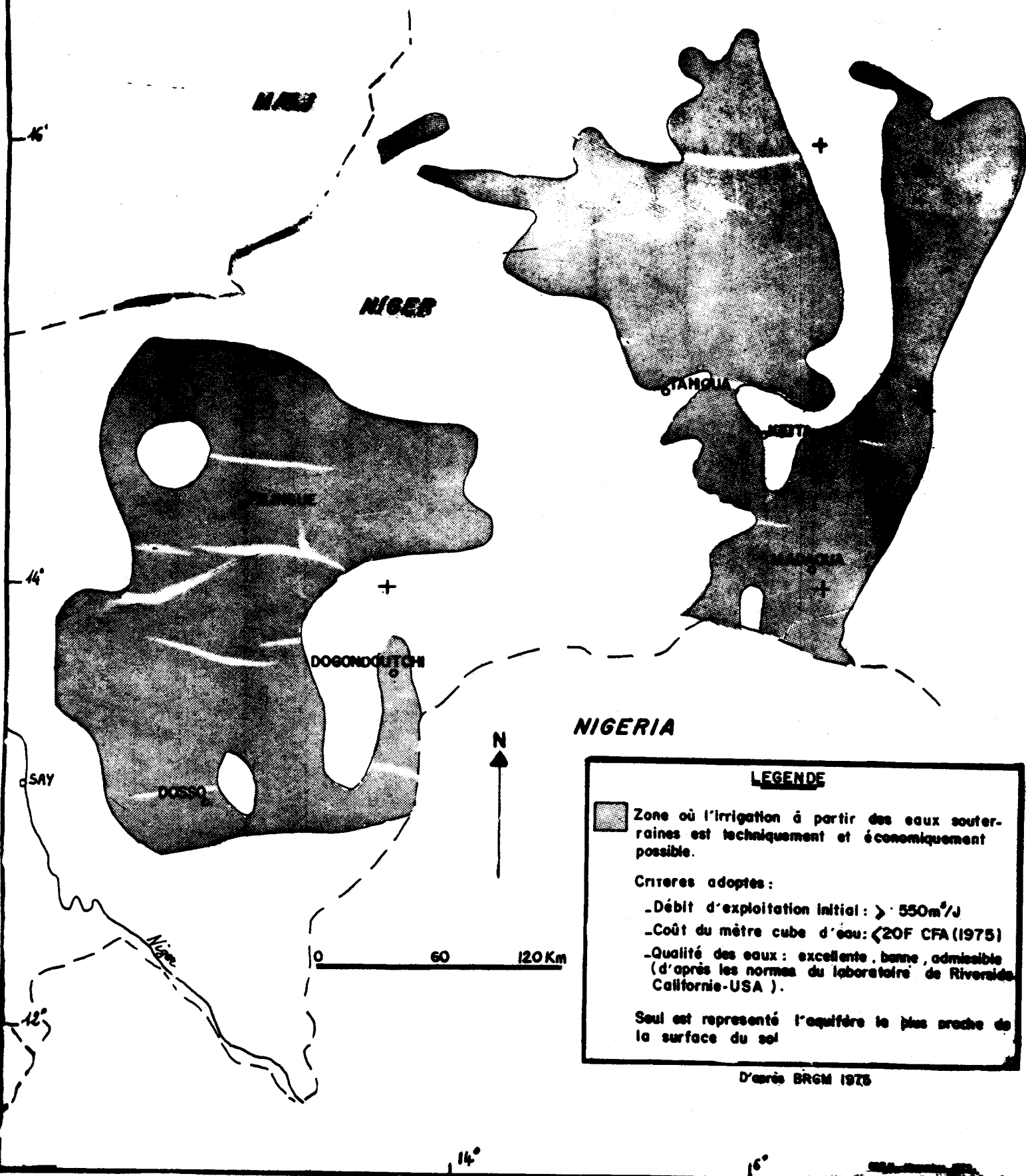
KAOLACK

Saloum

BATHURST

Bassin du Niger

WGM



IRRIGATION A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES

N

MAURITANIE

Delta Central du Niger

MALI

D'après BRGM 1975

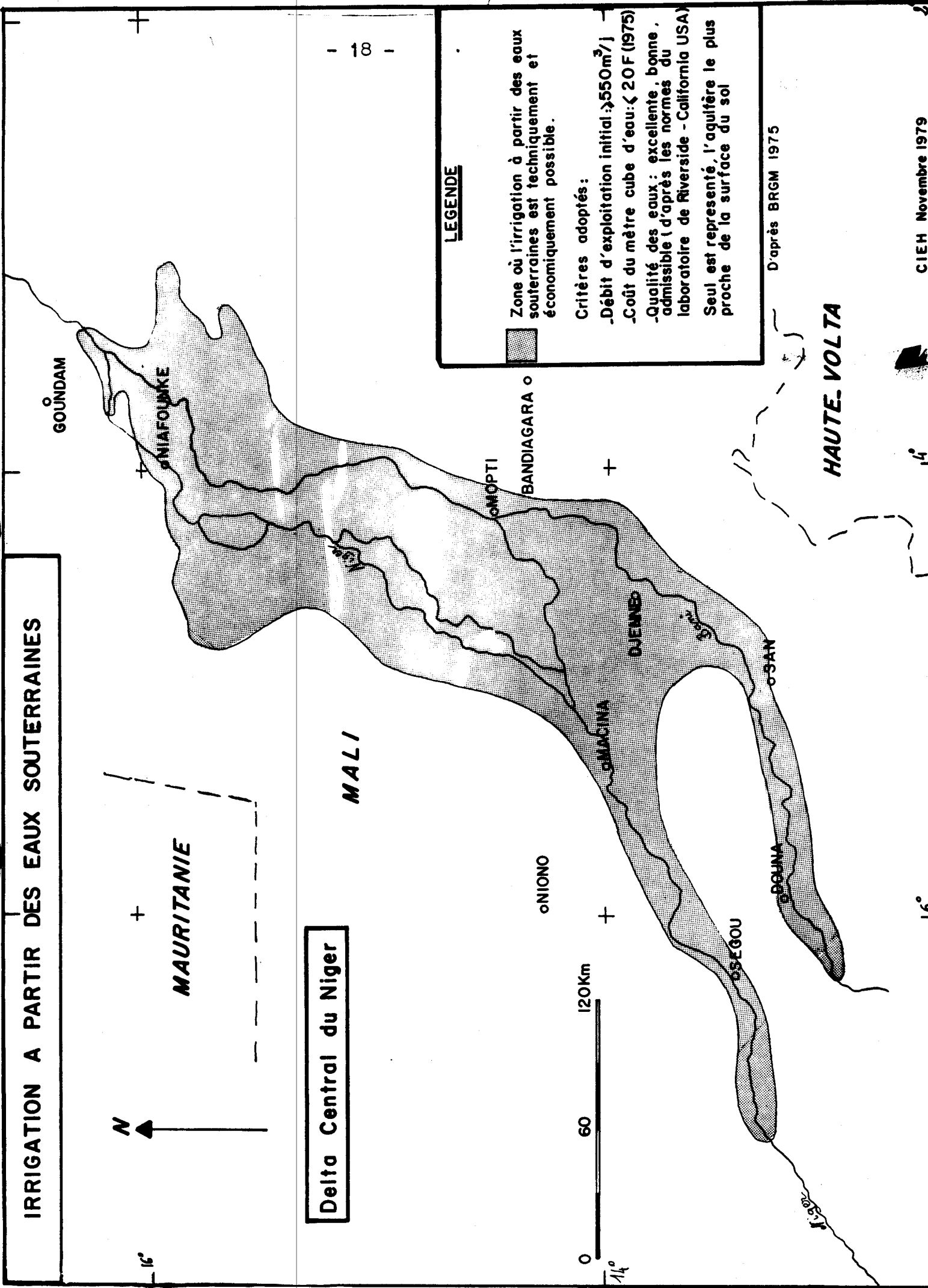
HAUTE-VOLTA

LEGENDE

Zone où l'irrigation à partir des eaux souterraines est techniquement et économiquement possible.

Critères adoptés:

- Débit d'exploitation initial: $\geq 550 \text{ m}^3/\text{j}$
- Coût du mètre cube d'eau: $\leq 20 \text{ F (1975)}$
- Qualité des eaux: excellente, bonne, admissible (d'après les normes du laboratoire de Riverside - California USA)
- Seul est représenté, l'aquifère le plus proche de la surface du sol



LEGENDE

Soul est représenté l'aquifère le plus proche de la surface du sol

CJEN Noviembre 1979

IRRIGATION A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES

LEGENDE

Zone où l'irrigation à partir des eaux souterraines est techniquement et économiquement possible.

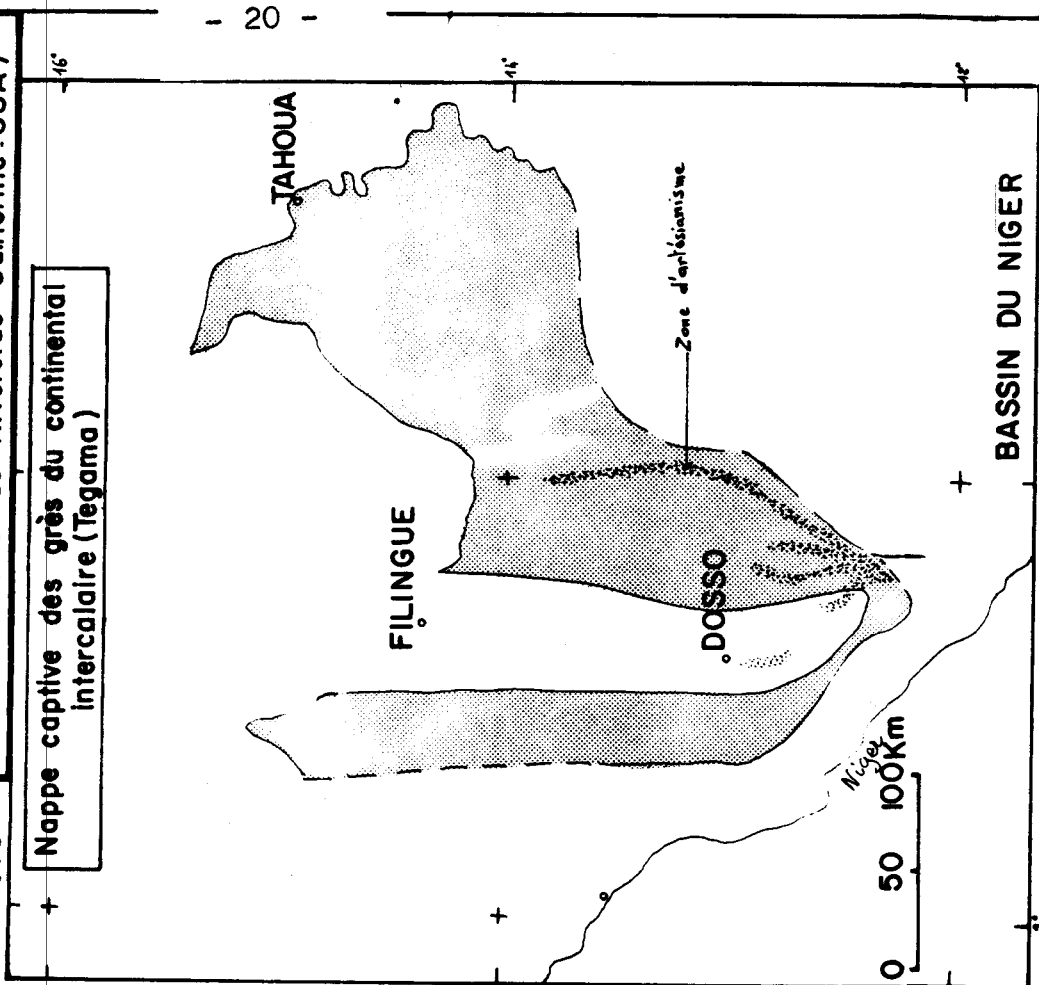
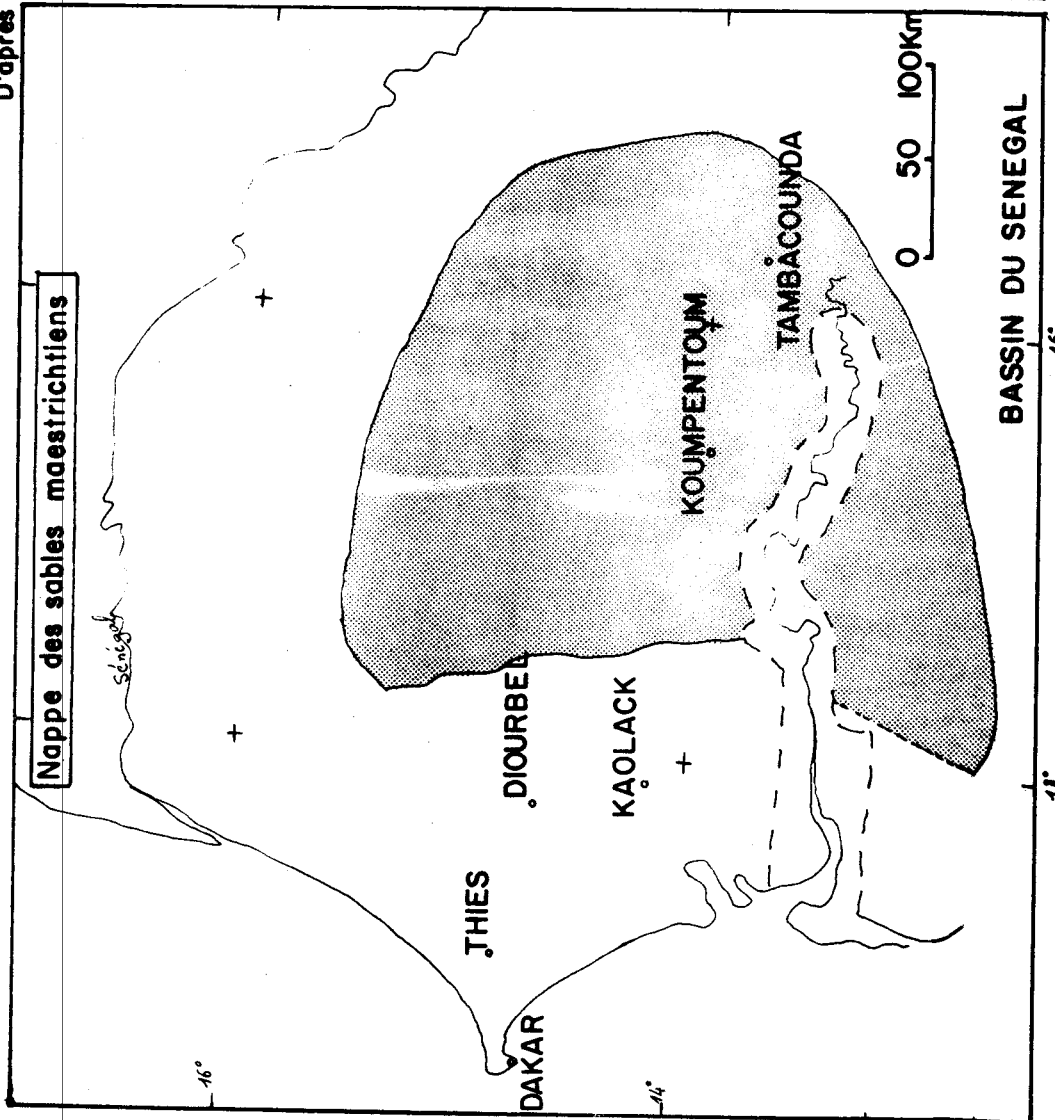
Critères adoptés:

- Débit d'exploitation initial: $\geq 550 \text{ m}^3/\text{j}$
- Coût du mètre cube d'eau: $\leq 20 \text{ f cfa}$ (valeur 1975)
- Qualité des eaux: excellente, bonne, admissible (d'après les normes du laboratoire de Riverside - Californie - USA)

D'après BRGM 1975

Nappe des sables maestrichtiens

Nappe captive des grès du continental intercalaire (Tegama)



IRRIGATION A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES

J. ARRIGHI DE CASANOVA
(SATEC)

DES CONSTATATIONS D'EVIDENCE

Les deux tiers des terres cultivées dans le monde reçoivent moins de 500 mm de pluie par an et ne peuvent produire intensivement qu'avec un apport d'eau d'irrigation.

Les disponibilités en eau douce de la planète se répartissent approximativement comme suit :

RESSOURCES	KM3	%
Fleuves, rivières	30 000	0,3
Lacs	120 000	1,2
Eaux souterraines		
. de 0 à - 700 m	4 500 000	42,-
. de - 700 à - 3 500 m	6 000 000	56,5
TOTAL	10 650 000	100 %

La mobilisation des eaux de surface, en saison sèche, exige souvent des stockages préalables et, toujours, des ouvrages de captage et de transport de plus en plus difficiles à réaliser et coûteux, car, dans nombre de pays les sites aisés à traiter ont déjà été aménagés.

Les contraintes techniques et économiques pesant sur les eaux souterraines pour des usages agricoles (irrigation) peuvent en première approche se résumer comme suit :

- . Profondeur maximale de pompage : 100 m
- . Débit minimal pour l'irrigation traditionnelle (soit 1 main d'eau de 15 l/s) = 50 m³/h environ.

Sous réserve de ces sujétions, des prospections récentes laissent entendre que les nappes souterraines présentent des potentiels correspondant à l'irrigation de :

200 000 ha en Afrique Saharienne et Sahélienne
300 000 ha en Egypte

Si l'on recherche à faire bénéficier de l'irrigation le plus grand nombre d'exploitants (quitte à n'arroser que 10 à 20% des surfaces cultivées par eux) il faut, nécessairement, recourir à des aménagements éclatés, dispersés sur des surfaces "brutes" étendues, ne mettant chacun en oeuvre que des débits limités. A cet égard les nappes souterraines offrent un intérêt tout particulier, ne serait-ce que parce que les forages ne peuvent être contigus, sauf rares exceptions.

Si l'on veut, à la fois, agir vite -comme nous y invite toute étude économique "actualisée" et comme nous l'impose la presse des besoins devant l'afflux démographique- et laisser aux usagers la responsabilité de la gestion des aménagements hydro-agricoles les concernant, il faut consentir à travailler au niveau de la maille hydraulique élémentaire c'est-à-dire dans le cadre de périmètres villageois. Le recours aux forages convient exceptionnellement bien à ce mode d'organisation. (En Inde, des périmètres villageois desservis par des forages se sont installés à l'intérieur de grands casiers équipés de réseaux gravitaires classiques, aussi bien pour des raisons techniques liées à la mise à disposition de l'eau "à la demande" que pour des raisons psycho-sociologiques, l'irrigation devenant l'affaire propre des paysans).

UNE VISION GLOBALE DU PROBLEME

Outre les considérations générales évoquées plus haut quant au sens même des opérations d'irrigation et quant au rythme des mises en valeur, il convient de traiter d'une façon globale tout essai de comparaison entre l'utilisation des eaux de surface et celle des eaux souterraines.

Les investissements doivent être évalués à partir du niveau de la maille hydraulique définie par la capacité du forage, tous les travaux à l'intérieur de cette maille étant par hypothèse, identiques, quel que soit le mode d'amenée de l'eau et ce jusqu'au forage d'une part, au point de captage voire de stockage de l'eau d'autre part.

Ces investissements doivent être programmés dans le temps, pour permettre l'exercice de l'actualisation des coûts - et des revenus. A cet égard, des réalisations échelonnées à la mesure des réseaux unitaires dépendant de chaque forage peuvent se révéler rapidement rentables, sans être grevées du poids d'aménagements "lourds" à l'amont.

Les dépenses d'exploitation doivent tenir compte de tous les éléments en cause, au niveau de l'usager et au niveau du périmètre. Les méthodes d'irrigation (gravité ou aspersion) doivent être définies, notamment pour ce qui concerne les dépenses d'énergie : soit par exemple deux projets mettant en oeuvre des pompes, dans les conditions suivantes :

Ressources en eau	Hauteur manométrique pompage			
	captage	Irr. gravit.	Aspersion seule	Aspersion totale
Eaux de surface	10 m	0	50 m	60 m
Eaux souterraines	40 m	0	50 m	90 m

Dans la 1ère hypothèse (irrigation gravitaire), à débit égal, la dépense d'énergie à partir d'un forage sera 4 fois plus forte qu'à partir d'eaux de surface.

Dans la 2ème hypothèse (aspersion), cette dépense sera seulement 1,5 fois plus dans le système "eaux souterraines" que dans le système de puisage d'eaux superficielles.

Les charges de personnel de surveillance, d'entretien et de logistique, dans le cas de casier gravitaire sont presque constantes, quelle que soit l'étendue des surfaces réellement irriguées dans le "casier" intéressé. Ces mêmes charges, dans le cas de périmètres irrigués par forages sont quasi proportionnelles au nombre d'installations en service.

Les revenus dépendent des cultures choisies, de la progression des surfaces mises en valeur et des rendements agricoles susceptibles de s'améliorer avec le temps.

La programmation de ces évolutions mérite une attention toute particulière. L'utilisation de la formule de la "loi logistique du développement temporel et borné" - à partir d'exemples historiques dans des situations comparables - peut être utilement conseillée à cet effet.

L'EXPERIENCE DE LA SATEC

1. Etudes

NEPAL (1978) : Zone du Teraī (Nord de la Plaine Indogangétique). Projet de développement de la zone de Sagarmatha, comprenant 1 district de "collines" (altitude 300 à 3000 m) et 2 districts de plaine (altitude 60 à 300 m).

Ces deux derniers districts représentent une surface géographique de 250 000 ha et comprennent une population de 500 000 habitants, dédiés pour le 9/10 à des activités agricoles.

Le climat se caractérise par une seule saison pluvieuse, la mousson : 1200 à 1500 mm de pluies de juin à octobre.

L'irrigation aussi bien pour pallier les irrégularités de la mousson que pour assurer des cultures de saison sèche est actuellement pratiquée à partir de réseaux gravitaires dérivés des rivières himalayennes sur quelque 10 000 ha. Des projets, de même nature, sont en cours, susceptibles d'intéresser 20 000 ha supplémentaires soit, au total, environ 20% des terres cultivables des 2 districts considérés. Les ressources en eau de surface étant ainsi totalement mobilisées, il a été procédé avec le BURGEAP à une étude hydrogéologique des nappes souterraines. Le potentiel de ces nappes, soit 22 m³/sec. permet d'envisager la mise à l'irrigation de quelque 30 000 ha (c'est-à-dire autant que les irrigations par eaux de surface) portant au total à 60 000 ha l'ensemble des surfaces irriguées.

Le programme arrêté en première étape comporte :

- . 510 forages de faible profondeur (50m) "tubés en 8 et 10" capables d'un débit unitaire de 28 l/sec. (1 pied cubique/seconde), espacés de 1 100 m. Niveau dynamique = -10 m.
- . 15 forages de profondeur moyenne (150 - 180 m), casing de 8" et 14",

de 60 à 80 l/sec. de débit, espacés en première approche et pour des fins expérimentales de 4 à 5 km (en fait la densité semble pouvoir être de 1,8 x 1,8 km). Niveau dynamique : - 20m.

Si, pour ces derniers types de forage, en raison de leur isolement, l'équipement a été prévu avec des turbines actionnées par moteur diesel autonome, plusieurs solutions ont été envisagées pour les forages de 50 m de profondeur, relativement denses.

Au double point de vue des charges d'amortissement et d'exploitation, la solution aboutissant au prix de revient minimal au m³ d'eau pompé est celle consistant à desservir des ensembles de 30 forages à partir d'un groupe générateur électrique (300 KVA), par lignes électriques MT (5 KV sur 18 km de développement), des transformateurs (de 40 KVA par sous-ensemble de 5 forages), des lignes électriques BT (20/380 V sur 28 km) alimentant une électropompe immergée.

I) Investissements (FF valeur 1978)

	Solution électrique 1 générateur 300 KVA 30 forages 1 transfo. 40 KVA pour 5 forages			Solution diesel autonome 1/forage	
	Pour 30 forages F.F	Pour 1 forage F.F	%	F.F	%
1. Forage 8"-10" - 50 m	-	65 000	24	65 000	31
Groupe motopompe	-	12 000	4	33 000	16
Bâtiment, logement gardien	-	10 000	4	10 000	5
2. Générateur électrique 300 KVA avec bâtiment abri et réservoir fuel	510 000	61 000	12	-	
3. Lignes électriques -	1 325 000				
4. Transformateurs - 1 pour 5	125 000	25 000	9	-	
5. Réseau irrigation - canaux revêtus - bassin tampon - pistes		100 000	30	100 000	48
TOTAL par périmètre 30 ha		273 000	100%	208 000	100%
COUT par hectare équipé (30 ha)		9 100		6 900	
COUT par hectare cultivé (63 ha)		1 440		1 100	

II) Exploitation (FF valeur 1978)

	solution électrique		solution diesel
	270 000	9 000	10 000
1. Dépréciation technique			
2. Energie , carburants, lubrifiants	—	14 000 (1)	15 000 (1)
3. Entretien	-	4 500	5 700
4. Personnel	-	1 500	1 300
COUT par hectare cultivé (63 ha)		460	508
COUT par m3 (240 000 m3/an)		0,12	0,13

(1) Coûts différents, en raison de la nature du carburant utilisé (gas-oil ou fuel léger) selon la puissance des moteurs, compte tenu des "pertes en lignes" et de l'utilisation de 15% de l'énergie pour des besoins autres que l'irrigation.

Le trait peut-être le plus intéressant relevé dans cette étude est qu'en raison du morcellement très marqué des propriétés un périmètre d'une surface nette de 30 ha peut concerner une centaine de propriétaires qui bénéficieraient de l'irrigation pour une fraction (25 - 30%) de leur exploitation dont la surface moyenne est de l'ordre de l'hectare (cf. extrait du plan cadastral).

On rejoint là un exemple typique d'application de la méthode des périmètres villageois qui vise essentiellement à répartir entre le plus grand nombre d'individus cette ressource qu'est l'eau, sans chercher à intensifier la production sur toute la surface cultivée par chaque famille.

Le revenu net d'une ferme de 0,75 ha passe de 270 F à 1 140 F, celui d'une ferme de 1,50 ha de 1 770 F à 3 660 F. Le taux interne de rentabilité de l'ensemble du projet d'irrigation par forages est élevé à 32%.

Les conclusions du plan de développement proposé ont été retenus par le Gouvernement du Népal et par la Banque Asiatique de Développement. Les travaux recommandés sont en cours d'exécution.

CAMEROUN (1979) : Nappe alluviale du Logone (rive gauche). Un inventaire sommaire effectué par le BRGM a localisé plusieurs nappes s'étendant dans une bande de 300 km de moyenne et 25 à 27 km de largeur entre le "bec de canard" et le Lac Tchad. L'aquifère le plus intéressant est représenté par une séquence sableuse de 5 à 15 m de puissance, avec un niveau statique de l'eau inférieur à 20 m de profondeur. Les débits extractibles pourraient être de l'ordre de 50 à 100 m3/h. Les études engagées à ce jour ont comporté :

- une reconnaissance hydrogéologique et géophysique (200 sondages électriques) qui a permis de déceler des zones propices, de 300 ha à l'intérieur d'un périmètre de 2 000 ha
- une étude agro-socio-économique aboutissant à des systèmes de culture rationnels.

Ces premières indications orientent de nouvelles recherches (forages de reconnaissance à transformer en forages d'exploitation chaque fois que les débits exploitables seront suffisants (soit de 50 à 80 m³/h) pour des périmètres villageois de 10 à 16 ha comportant une culture de riz hivernal (25 ares par famille), maraîchage (15 ares).

NIGER (1979) : Vallée de la Tarka. Là encore, à partir des résultats d'un inventaire sommaire conduit par le BRGM, la SATEC s'est vu confier une étude portant sur les possibilités d'exploitation des eaux souterraines dans une vallée "sèche" de quelque 35 000 ha de surface brute (150 km à l'est de Niamey).

La séquence des études -qui ont démarré en octobre 1979- mérite d'être évoquée comme particulièrement "normative".

. Hydrologie : il importe de définir la "géométrie" du réservoir alluvial, ses caractéristiques hydrodynamiques, sa surface piézométrique, son alimentation, le volume des réserves, les quantités d'eau exploitables, les débits d'exhaure des forages et la qualité chimique des eaux.

L'étude hydrologique, outre les relevés des puits existants, comportera, en particulier, l'exécution de sondages électriques (au carroyage de 500 x 500 m) des sondages de reconnaissance (10, soit 1 pour 35 km²) avec essais de pompage...

. Agronomie - Génie Rural : après localisation et évaluation des ressources en eau :

- pédologie (aptitude des sols à l'irrigation)
- systèmes de culture, en fonction de l'environnement, des capacités des paysans, des conditions du marché
- dispositions techniques des forages et des réseaux
- organisation des structures d'encadrement et de logistique .

. Economie - Planification :

- évaluation économique et financière de l'opération au niveau des paysans et au niveau de l'ensemble du projet, pouvant intéresser de 5 à 10 000 ha
- établissement d'un plan de développement de la vallée.

2. Réalisations

SENEGAL : les régions Nord et Centre du "Bassin Arachidier" du Sénégal sur quelque 400 000 ha d'étendue ne bénéficient que d'une pluviométrie, au demeurant aléatoire, de 400 à 500 mm qui n'autorise qu'une culture extensive. Les meilleurs variétés d'arachide produisent en "bonne année" de 800 à 1000 kg. Les céréales (mil) fournissent normalement de 300 à 400 kg de grain.

Des nappes souterraines dite du lutétien, à l'Est et des sables littoraux, à l'ouest offriraient un volume annuel renouvelable de quelque 30 millions de m³ dont 5 seulement sont actuellement utilisés. Compte-tenu d'un éventuel prélèvement ultérieur de 3 millions m³ pour l'alimentation de Dakar, les disponibilités demeurent encore larges pour l'agriculture. En raison de la nature des sols ("Dior") et de leur relief accidenté le système d'irrigation le mieux adapté est l'aspersion.

Une réalisation expérimentale du CNRA de Bambey, installée depuis 1973, mérite d'être relatée. Elle comporte deux fermes de 4 ha chacune, irriguées par aspersion (18 x 12 m à basse pression soit 3 kg/cm²). Le forage, de 49 m de profondeur, tubé en 12" présente un niveau hydrostatique à - 19 m, et fournit 50 m³/h avec un rabattement de 9 m. Son coût réactualisé serait de 100 000 FF (5 000 000 F CFA). Le système de pompage (exhaure et reprise) est électrifié (générateur de 60 CV) ; il comporte :

- 1 électropompe immergée de 50 m³/h, HMT = 50 m
- 2 pompes de reprise 25 m³/h, HMT = 55 m

La durée moyenne de fonctionnement est de 2 500 h/an. Les résultats moyens obtenus au cours des 5 dernières années peuvent se résumer comme suit :

Ferme de 4 hectares

Cultures	ha	m ³ /ha	dépense (1) (24 FCFA/m ³ soit 0.48 F/m ³)
Mil Souna	1	774	18 576
Arachide	1	1 962	47 088
Maraîchage	1	2 823	67 752
Hivernage	3	2 338	133 416 F CFA
Maraîchage saison sèche	1	13 503	322 344
Verger, brise vents pépinière	0,7	12 488	209 784
TOTAL	4,7	-	665 544
(1) sous-détail du prix de revient du m ³ d'eau (arrondi à 24 FCFA/m ³)			

Postes de dépense	FCFA/m3		%	%
	partiel	total	partiel	total
Forage	056		7,4	
Abri tête de forage	011		1,5	
Pompe exhaure	396		52,6	
Pompe de reprise	050		6,6	
Bassin tampon	027		3,6	
Réseau conduites, asperseurs	213		28,3	
Sous-total amortissement		753	100 %	32%
Exploitation				
Carburant, lubrifiant	978		61	
Entretien, surveillance	622		39	
Sous-total exploitation		1600	100 %	68%
TOTAL GENERAL	-	2353	-	100

Malgré un équipement coûteux parce que surdimensionné, le système de production mis en oeuvre est économiquement viable et les revenus nets par actif (271 000 F CFA) supérieurs au SMIG.

La production céréalière (mil) souffre sérieusement des attaques aviaires. Aussi les agronomes du CNRA proposent-ils d'adopter la patate douce comme culture vivrière de remplacement.

Les chercheurs orientent désormais leurs travaux vers des solutions ne soumettant à l'irrigation et à la culture intensive qu'une surface réduite, de l'ordre de l'hectare par exploitation (réduction des pertes d'eau, des temps de travaux, des coûts de production). Il est important de noter que de très nombreuses données analytiques sont désormais disponibles au Centre de Bambey, géré par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), permettant ainsi aux projeteurs de modéliser des systèmes de production, en fonction des conditions écologiques et socio-économiques locales. Cette source de renseignements mérite d'être signalée.

ALGERIE (1978-79) : Haute et moyenne vallée du fleuve Sebaou soit 3 000 ha. La SATEC a été chargée, par le Gouvernement Algérien, d'assister la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Tizi-Ouzou (Kabylie) dans l'étude et la mise en place de projets d'irrigation desservis par des forages.

A l'étiage, c'est-à-dire pendant la période estivale, le débit du fleuve est très faible, voire nul. La nappe alluviale est, au contraire, pérenne mais sa puissance décroît de l'aval vers l'amont. Les études hydrogéologiques ont montré les contraintes d'exploitation suivantes :

	Moyen Sebaou	Haut Sebaou
Puissance de l'aquifère	20 m	9 m
Niveau statique (P.H.E)	(- 2 m)	(- 2 m)
Abaissment dynamique maximal	6 m	2 m
" " général fin de campagne	6 m	3 m
Hauteur minimale d'exploitation	8 m	4 m

Les forages ont des profondeurs moyennes de 15 m.
et les diamètres retenus sont :

Débits	Ø forage	Ø tubage et crépine
de 60 à 100 l/sec	600 mm	450 - 500 mm
inférieurs à 60 l/sec	500 mm	400 mm

L'énergie est électrique, amenée par le réseau de distribution de la Société Nationale (SONELGAZ) sous la tension de 30 KV au tarif de 0,053 D.A en heures pleines et 0,022 D.A en heures creuses par KWh (1 DA = 1,20 FF ou 60 F CFA).

Les périmètres, de 20 à 100 ha chacun, intéressent les domaines du secteur "auto-géré" (60% de la surface) et des propriétés privées (40% de la surface), ces dernières de faible taille (2,3 ha en moyenne).

Les cultures se répartissent ainsi :

Maraîchage	32%
Arboriculture fruitière, raisin de table	23%
Fourrage (production laitière)	45%

L'irrigation s'effectue par aspersion (rampes mobiles et asperseur à l'écartement de 12 x 12 - bornes de 3l/sec. pour des unités de 2,6 ha - la pression de service est de 3 bars soit une HMT de 90 m au maximum).

Les investissements (valeur 1978) représentent (FF/ha) :

Postes de dépense	FF/ha	%
Forage	3 400	4
Stations de pompage - lignes électriques	16 000	18,3
Réseaux: conduites fournies, posées	31 500	36
réservoirs tampons	3 500	4
matériel mobile	9 000	10,3
Drainage - Pistes - Divers	24 000	27,4
TOTAL	87 400	100 %

On voit immédiatement que le coût de forage est relativement très faible (mais il est vrai que la profondeur de ces ouvrages est exceptionnellement réduite, de 10 à 25 m). Les dépenses les plus lourdes correspondent à l'amenée d'énergie et à l'exécution des infrastructures pour le drainage et les voies de circulation.

En ce qui concerne les coûts d'exploitation, on indiquera simplement que le prix de vente du m3 d'eau, fixé par l'Administration, distribué aux bornes est de 0,13 DA par m3 soit 0,16 FF (ou 80 F CFA). Il est à noter que le tarif pour des eaux d'origine gravitaire (barrage) est de 0,10 DA le m3. Les volumes d'eau appliqués sont :

Tomates : 3 000 à 6 000 m³/ha selon les périodes de culture
et la nature des sols

Arboriculture fruitière : 7 500 m³/ha

Luzerne : 8 000 m³/ha.

PRESENTATION DU PROJET DE MISE EN VALEUR HYDRO-AGRICOLE INTEGREE
DE LA BASSE VALLEE DE L'OUED SEBAOU DANS LA WILAYA DE TIZI-OUZOU
EN ALGERIE.

Par B. BENMOUFFOK

- :: - :: -

RESUME.

Dans le cadre du thème n° 1, irrigation à partir des eaux souterraines, nous présentons un exemple de mise en valeur hydro-agricole intégrée dans la vallée du Bas-Sébaou.

Le Sébaou est un Oued, dont le débit de crue est très important (crue centennale de 5000 m³/s) en saison humide (Septembre à Avril) par contre en saison sèche le débit d'étiage n'est que de 0,2 m³/s.

La nappe alluviale est assez importante et peu profonde.

La vallée du Sébaou totalise plus de 6000 hectares irrigables d'Est en Ouest et s'étire sur une cinquantaine de kilomètres environ, pour une largeur variant de 1 à 3 kilomètres. Elle est encastrée de part et d'autre de collines à fortes pentes.

L'aménagement en cours de réalisation concerne la partie aval de la vallée.

Le projet comporte une succession de huit périmètres de part et d'autre de l'Oued ; ces périmètres comportant de 40 à 200 hectares sont totalement indépendants les uns des autres. Chaque périmètre dispose d'une batterie de forages peu profonds, équipée de pompes verticales alimentées par le réseau électrique. Le mode d'irrigation est l'aspersion.

Un périmètre pilote de 80 ha, réalisé en urgence, a permis d'assurer le succès total du projet. Il est opérationnel depuis la saison d'irrigation de 1978 et sert de modèle d'exploitation. En plus de l'aménagement en irrigué, un aménagement complémentaire en sec est en cours sur les zones de piémont. Les élevages y compris l'aviculture et l'apiculture, sont en cours d'installation et de développement.

La réalisation des travaux relatifs aux réseaux d'irrigation est confiée à 50 % à la régie des travaux de l'Hydraulique, et 50 % à l'entreprise. Cette solution permet de réduire les coûts et les délais d'exécution.

Parallèlement à l'amélioration des conditions d'exploitation agricole des investissements sociaux très importants sont mis en oeuvre pour l'amélioration des conditions de vie du paysan et pour limiter l'exode rural (construction de 5 villages socialistes et autoconstruction).

L'ensemble des données du milieu naturel et des techniques d'aménagement intégré de cette zone est étudié ci-après.

I) SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le périmètre du Bas-Sébaou se situe dans la partie du bassin versant de l'Oued-Sébaou en Grande-Kabylie.

Ce périmètre s'étend de l'embouchure de l'Oued jusqu'à Kel-El Aogab, sur une longueur de 15 kms environ. Il est bordé à l'Ouest par des collines relativement rapprochées et à forte pente ; la largeur de la vallée varie 1 à 3 kilomètres environ.

La pente générale de cette vallée est de l'ordre de 1 %, celle des versants dans les parties basses entre 0,4 et 1,7 % et au pied des collines entre 2 et 15 %.

Le périmètre comprend 1250 ha de surface agricole brute.

II) LE MILIEU NATUREL :

(A) LE CLIMAT :

a) Pluviosité :

Le périmètre du Bas-Sébaou, subit nettement les influences climatiques de la mer. La pluviométrie varie légèrement du nord au Sud du Périmètre. Cependant les observations faites à la station de Ben-N'Choud (à 7 km de la mer) correspondraient à une moyenne globale

MOIS	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	total partiel
HAUTEUR DE PLUIE	123,9	103,4	67,2	76,1	14,5	19,8	404.9
NOMBRE DE JOURNEES	12	8	11	8	6	3	48

MOIS	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC.	total général
HAUTEUR DE PLUIE	0	3,7	19,5	87,2	168,4	110,1	793.8
NOMBRE DE JOURNEES	0	1	4	7	10	15	35

La pluviosité annuelle est de 794 mm, pour 85 jours de pluie ; elle est très irrégulièrement répartie.

75 % d'Octobre à Février, durant la morte saison agricole correspondent au repos végétatif des plantes.

18 % de Mars à Avril, en début de saison agricole, c'est-à-dire au moment du démarrage végétatif.

7 % de Mai à Septembre, durant la saison agricole, au moment de la pleine croissance de la végétation et de la maturation des récoltes.

b) Température :

En raison de l'absence de poste d'observation des températures dans le périmètre, les températures mensuelles indiquées ne sont que les résultats d'interprétation et de calculs d'interpolation.

MOIS	JANV	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	moyenne de 6 mois
TEMPERATURE	12°,7	13°,3	14°,7	16°,2	19°,8	22°,6	16°,5

MOIS	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	moyenne annuelle
TEMPERATURE	26°,1	26°,4	24°,5	20°,7	16°,7	13°,7	18°,9

La température moyenne annuelle est de 18,9° C, avec des hivers doux et des étés relativement chauds. On note cependant quelques journées (4 à 6) de gelée et de grêle.

c) Vent :

Durant la période hivernale (Décembre à Mars) les vents dominants sont Ouest et Sud Ouest. Au printemps, été et Automne (Avril à Octobre) les vents dominants : sont d'Est, Ouest, et Sud Ouest. Leurs vitesses maximales se situent entre 15 et 20 m/s.

d) Hygrométrie :

Exception faites des journées de sirocco environ 10 j/par an, l'état hygrométrique de l'air dépasse presque toujours 60 %.

(B) LA PEDOLOGIE :

Les sols de la plaine alluviale de la basse vallée du Séhaou, se classent en cinq catégories :

- 1) Les sols minéraux bruts : Ils sont inaptes aux cultures.
- 2) Les sols peu évolués : Ils sont d'apport alluvial et colluvial. Ceux d'apport alluvial sont les plus répandus et correspondent à des sols jeunes formés par les alluvions récentes. Ils se caractérisent par une hydromorphie très marquée.
- 3) Les vertisols : Ils se caractérisent par une forte teneur en éléments fins (argile principalement) et par une forte compacité. Ces sols présentent une hydromorphie temporaire au bas des pentes et dans les dépressions.

- 4) Les sols calcimagnésiques : Ils se caractérisent par la présence d'ions alcalino-terreux et constituent les sols bruns calcaires hydromorphes et les rendzines nodales.

- 5) Les sols hydromorphes : Ils sont à gley ou pseudo-gley avec redistribution d'éléments (Ca, Fe, Mg), dues aux excès d'eau soit en raison de la présence d'une nappe phréatique plus au moins mobile, soit par un manque d'infiltration des eaux pluviales soit par l'existence d'une nappe perchée.

L'amélioration de ces sols passe par l'élimination de cet excès d'eau.

La fertilité de tous ces sols est faible :

- La teneur en matière organique est faible, voir nulle
- La teneur en calcium actif est très faible, avec une répartition du Ca très variable dans les profils.
- La teneur en K₂O est correcte.
- La teneur en P₂O₅ assimilable est faible.
- Le ph est faiblement alcalin (7,5 à 8).

Cependant les sols alluviaux présentent une fertilité supérieure à celle des plateaux environnants. Ils nécessitent néanmoins de fortes fumures pour l'obtention de hauts rendements. Leur fertilité reste liée au degré d'assainissement et de drainage, car les phénomènes d'hydromorphie sont très nettement marqués.

La répartition des sols est la suivante :

DESIGNATION	SURFACES (ha)	%
- Sols minéraux	11	1 %
- Sols peu évolués	804	52 %
- Vertisol à drainage externe ml	100	6 %
- Vertisol à drainage externe ne possible	235	15 %
- Sols calcimagnésiques carbonatés	70	4 %
- Sols hydromorphes à gley	144	9 %
- Sols hydromorphes à pseudogley	196	13 %
T O T A L	1560 ha	100 %

(C) HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE :

a) Hydrologie de surface : Oued-Sébaou et ses affluents.

BAGHLIA a permis l'existence d'une station de jaugeage au pont de l'étude des caractéristiques hydrologiques de l'Oued-Sébaou et de ses affluents au niveau du périmètre.

L'étiage de l'Oued-Sébaou se situe entre Avril et Octobre, avec un débit de 0,200 m³/s.

La plus grande crue a été estimée à 5000 m³/s.

Le lit de l'Oued, encombré par des bancs de sables, ne permet qu'une canalisation des crues de fréquence inférieure à 50% ; toutes les autres provoquent l'inondation des basses terrasses.

La basse vallée de l'Oued-Sébaou est fréquemment submergée par les crues des affluents qui peuvent varier de 0,45 à 22 m³/s.

b) Hydrogéologie :

Les eaux souterraines jouent un double rôle dans le périmètre du BAS-SEBAOU.

- 1) Un rôle de ressource en eau ;
- 2) Un rôle dans les problèmes de drainage et d'assainissement.

Les ressources en eau se situent dans les alluvions d'âge quaternaire et pliocène qui ont été mises en évidence par une prospection géophysique et une campagne de forages.

La largeur des terrains aquifères varie entre 400 et 600 m et son épaisseur entre 60 et 80 m ; on peut trouver deux zones aquifères séparées par une couche imperméable variant de 1 à 20 m. Les aquifères sont essentiellement constitués de sables fins et gros, de graviers, et de galets mélangés avec des argiles.

Alimentation : par infiltration des eaux de pluie et de ruissellement sur l'impluvium propre, infiltration des crues de l'Oued-Sébaou, alimentation par les petites nappes suspendues de bordure.

Pertes : par fuites souterraines vers la mer ou drainage par l'Oued et par évaporation des cultures.

Le problème de drainage : sur le périmètre est lié à la présence d'une nappe phréatique localisée fréquemment à moins de un mètre du sol. L'amplitude de battement est en général de deux mètres avec l'évolution suivante :

- baissé de niveau en fin d'été
- remontée à partir de Décembre - Janvier
- point le plus haut atteint vers février - avril
- chute de niveau à partir de Mai.

Lors des premiers travaux de réalisation du périmètre on a pu constater que la nappe phéatique était proche du sol :

1) en bordure de vallée, sur la ligne de rupture de pentes des collines ou des terrasses.

2) à distance entre la bordure de vallée et le lit de l'Oued, sur la suppression de la l'alimentation par les nappes de bordure et par la suppression des infiltrations des ruissellements des affluents.

III) STRUCTURE FONCIERE :

L'enquête foncière de la zone du périmètre du Bas-Sébaon établit la répartition des propriétés suivantes :

	Surfaces (brutes) d'exploitation	
Domaines autogérés	totale. 1666 ha	80 %
Terrains communaux et DRS	38 ha	2 %
Terrains privés	379 ha	18 %
T O T A L.....	2083 ha	100 %

Le nombre et la répartition socio-professionnelle est la suivante :

Domaines autogérés	:	5
Propriété DRS	:	1
Propriétés Communales	:	3
Propriétés privées	:	86
		<hr/>
		95

La taille des domaines autogérés varie de 77 à 715 ha, celle des terrains communaux de 4,2 à 14,7 ha.

La taille des propriétés privées se répartit comme suit :

35 % sont inférieurs à 1 ha
40 % sont comprises entre 1 et 5 ha
19 % sont comprises entre 5 et 10 ha
20 % sont comprises entre 10 et 20 ha
4 % sont comprises entre 20 et 60 ha.

Le morcellement des propriétés privées est souvent important, de ce fait il a été décidé de procéder à une restructuration foncière dans le cadre de l'aménagement intégré, au lieu d'un remembrement qui aurait mal tenu compte de la situation existante.

La restructuration foncière a pour but d'améliorer les conditions de travail, en réduisant la dispersion géographique des parcelles et leur enclavement.

Une étude établie au moyen de documents définissant des zones d'égales valeurs au point de vue de l'hydromorphie, de la pédologie, des pentes, a permis d'établir un canevas de restructuration.

La restructuration proposée prend en compte trois classes de sols :

A =	277 ha	19 %
B =	275 ha	19 %
C =	916 ha	62 %
	<hr/>	
	1468 ha	

Elle a pour objectifs essentiels de regrouper les parcelles de chaque propriétaire puis donner aux parcelles des formes compatibles avec les impératifs, de l'irrigation, de l'assainissement et de la culture mécanique ; assurer enfin la desserte des parcelles.

.../...

Il convient d'échanger les parcelles entre les divers domaines autogérés du périmètre ; d'extraire les parcelles privées enclavées dans les domaines autogérés ; de regrouper les diverses parcelles privées en îlots d'irrigation.

IV) PRODUCTION AGRICOLE :

Il était prescrit de reconverter le vignoble, dont la surface atteignait 50 % de la S.A.U. ; la reconversion est pratiquement achevée. Les orientations données à la production agricole furent les suivantes :

- Extension des périmètres irrigués
- Développement de l'élevage laitier bovin
- Développement des arbres fruitiers à pépins et à noyaux
- Stabilisation des cultures maraichères de saison
- Développement des cultures maraichères de primeurs et d'arrière saison.
- Développement de la culture du tournesol.
- Regression des jachères et des surfaces inexploitées.

(A) PRODUCTIONS VEGETALES :

L'évolution de la production entre 1972 et 1979 sur le périmètre s'établit comme suit :

PREVISIONS - 71 - 72	SURFACE EN HA						
	VIGNE	AGRUMES	ARBRES FRUITIERS	CERE- ALES	CULTURES MARAICHE- RES	AUTRES CULTURES	TOTAL
DOMAINES AUTOGERES	108	60	118	310	149	152	897
EXPLOITA- TIONS PRI- VEES	23	34	22	10	41	14	144
TOTAL	131	94	140	320	190	166	1041
%	13 %	9 %	13 %	31 %	18 %	16 %	100%

CULTURES OBSERVEES 1978 - 1979

	VIGNE DE TABLES	AGRUMES	ARBRES FRUITIERS	CERE- ALES	CULTURES MARAICHE- RES	AUTRES CULTURES	TOTAL
DOMAINES AUTOGERES	79	71	184	240	134	224	932

:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
EXPLOITA-	:	:	:	:	:	:	:	:	:
TIONS	:	:	:	:	:	:	:	:	:
PRIVEES	23	34	14	7	84	9	164	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
TOTAL	92	105	198	247	218	233	1096	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
%	8%	10 %	18 %	23 %	20 %	2 %	100%	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

La vigne de cuve a totalement disparu sur le périmètre au profit de la vigne de table, qui occupe 8 % de la SAU.

Le développement des agrumes et arbres fruitiers à feuilles caduques progresse rapidement. Sur les domaines autogérés, tous les anciens vergers sont arrachés et remplacés par de nouvelles plantations de clémentiniers, de pommiers et de poiriers. Les cultures fruitières occupent 28 % de la SAU.

Les cultures maraichères, principalement la pomme de terre et la tomate sont en extension, surtout sur les exploitations privées qui pratiquent toujours la double culture ; le maraichage occupe 20 % de la SAU.

La culture des céréales (blé dur, blé tendre et avoine) regresse au profit des cultures fourragères. Ces deux cultures (maraichères et fourragères) occupent 43 % de la SAU.

(B) PRODUCTIONS ANIMALES :

a) Elevage bovin :

Cet élevage intéresse deux secteurs.

1°) Le secteur socialiste ; par l'existence de trois troupeaux de vaches laitières sélectionnées sur trois domaines autogérés. Des extensions d'étables et de troupeaux sont à l'étude sur les autres domaines. Cette production est en cours de développement et se traduit par une augmentation très sensible des surfaces fourragères (trèfle, luzère, céréales en vert).

2°) Le secteur privé ; par l'existence d'un troupeau relativement important, comprenant pour l'essentiel des animaux d'embouche. Les races élevées sont nombreuses.

b) Elevage ovin :

Un troupeau important existe au niveau du domaine autogéré.

Cependant l'élevage familial des exploitants privés est remarquablement développé.

c) L'aviculture :

L'élevage de poule pondeuse se développe progressivement. L'élevage du poulet de chair occupe de nombreuses exploitations qui produisent de 8 à 10 000 poulets/an. Ce moyen supplémentaire de production est particulièrement encouragé.

.../...

d) La cuniculiculture :

L'élevage de lapin reste peu développé, la production est auto consommée sur les exploitations. Cependant cet élevage est encouragé.

a) L'apiculture :

Elle est pratiquée sur les domaines autogérés et sur les exploitations privées.

On compte 2100 ruches à cadres sur le périmètre.

En raison du développement de l'arboriculture fruitière, et de la flore importante dans la vallée du Sébaou, cet élevage est insuffisant et un programme de mise en place de ruches est actuellement en cours.

V) OBJECTIFS DE LA MISE EN VALEUR DE LA VALLEE DU BAS-SEBAOU :

L'augmentation de la productivité agricole sur la basse vallée du Sébaou a nécessité un ensemble de mesures techniques, sociales, et financières. L'étude de la combinaison de toutes ces mesures, en fonction des potentialités et des contraintes du milieu naturel et socio-économiques a permis de dégager un cadre d'activités agricoles qui optimise au mieux tous les investissements.

Les activités agricoles sont résumées dans les actions suivantes :

- Création d'une agriculture irriguée, intensive sur un périmètre de 985 ha.

- Amélioration de l'agriculture sèche sur un périmètre de 2728 ha situé près du périmètre irrigué (les piemonts).

- Création d'unités d'élevage laitier bovin, valorisant au mieux les productions fourragères en intensif.

- Création et amélioration de toutes autres productions hors-sol (aviculture, apiculture, élevage ovin à viande, cuniculiculture).

Ces aménagements se résument ainsi :

a) Périmètre irrigable :

	Surface	%
Agrumes	116 ha	11 %
Fruitiers à feuilles caduques	229 ha	23 %
Vigne de table irriguée	17 ha	2 %
Cultures maraichères	166 ha	17 %
Périmètre expérimental (orientations pépinières)	27 ha	3 %
Fourragères	430 ha	44 %
	<hr/>	<hr/>
	985 ha	100%

b) Périmètre en sec :

Vigne de table	409 ha	15%
Oliviers	325 ha	12%
Amandiers	325 ha	12%
Légumes secs	210 ha	7%
Cultures maraichères	49 ha	2%
Fourrages	600 ha	22%

Céréales	810 ha	30 %
	-----	-----
	2718 ha	100 %

c) Unités : élevage laitier bovin :

Création d'un troupeau de 1355 bovins, soit :

535	vaches laitières
120	veaux : 0 - 3 mois
330	bovins : 3 - 12 mois
105	taurillons : 12 - 18 mois
215	génisses : 12 - 24 mois
25	génisses : 24 - 27 mois
25	taureaux (15 adultes + 10 jeunes)

1355

d) Productions hors sol et élevage ovin :

L'élevage ovin à viande : proposition écartée au niveau de l'étude en raison de l'orientation "prioritaire" de l'élevage laitier bovin.

- Une étude de détail devra préciser l'importance du troupeau optimal à implanter.

- Estimation : un troupeau de 200 têtes possible

- L'aviculture :

Les possibilités sont importantes et permettraient une valorisation des productions céréalières.

- Poules pondeuses : 5 à 10.000 unités

- Poulets de chair : 15 à 20 000 unités/an.

- L'apiculture :

Possibilités : 4000 ruches.

La production agricole dépendra essentiellement d'une action volontariste pour l'amélioration des rendements sur la maîtrise de toutes les techniques agricoles, fumures, mécanisation etc... la maîtrise de l'eau dans la conduite des irrigations, la maîtrise des élevages de production très délicats.

VI) EVOLUTION DES ACTIVITES AGRICOLES SUR LE PERIMETRE

L'aménagement hydro-agricole du périmètre de 985 ha est en cours. Les réseaux d'irrigations sont réalisés sur 3 secteurs.

- 1 périmètre pilote de 80 ha, terminé et fonctionnant depuis 1 an.
- 6 périmètres, de surface totale 905 ha sont en cours de réalisation sur les domaines autogérés.
- 2 périmètres de 80 ha sont en cours de réalisation sur les propriétés privées.

Les travaux de rénovation agricole, plantations de vergers reconversion du vignoble se poursuivent.

Les activités au niveau des cultures irriguées en intensif sont faibles actuellement, mais doivent être améliorées durant la saison d'irrigation 1980.

.../...

Cet aménagement sera livré entièrement pour une première tranche à la saison d'irrigation 1981. Elle comprendra les réseaux n° 2 et 7, de 190 ha, livrés en Mai 80 et les réseaux 6, 1, 5 de 440 ha, en Mai 81.

VII) PRINCIPE GENERAL DE L'EQUIPEMENT HYDRO-AGRICOLE

La vallée du Bas-Sébaou, suivant son aspect géo-morphologie est découpée en huit périmètres d'irrigation de 40 à 200 ha, alimentés à partir des ressources en eaux souterraines.

Les caractéristiques hydrologiques très défavorables ont conduit à retenir un dispositif d'assainissement très dense.

Les réseaux d'irrigations, alimentés à partir de stations de pompage implantées sur des forages, sont des réseaux collectifs par canalisations enterrées sous pression fonctionnant à la demande.

L'exploitant agricole dispose à tout moment de l'eau au niveau d'une prise située en amont d'un ilot d'irrigation.

La distribution de l'eau au niveau de la parcelle se fait par aspersion.

L'équipement mobile est standardisé au maximum pour l'ensemble du périmètre.

Le réseau d'assainissement est un réseau de fossés ayant pour fonction essentielle d'évacuer les eaux excédentaires sur le périmètre et de maintenir le toit de la nappe phréatique à plus de 1 mètre du niveau du sol.

a) QUELQUES DONNEES TECHNIQUES : IRRIGATION

CULTURES	Besoins en eau Mensuel maximum	Débit fictif Continu I/s/ha	Dose d'arrosage	Durée d'arrosage	Dispositif d'arrosage
Maraichages	2400 M3/ha	0,93	30 mm	12 h/24	12 X 12
Agrumes	1700M3/ha	0,66	40 mm	16 h/24	6 X 6
Arbres fruitiers (pommes, poiriers)	2100M3/ha	0,81	50 mm	20 h/24	6 X 6
Fourrages	2550M3/ha	0,98	65 mm	16 h/24	12 X 18

- La pluviométrie horaire adoptée pour les asperseurs est de 8 mm/h.
- La pression de fonctionnement des asperseurs est de 3,5 bars.

Au niveau des parcelles irriguées la valeur du débit d'équipement est la suivante :

Maraichages = 2,49 l/s/ha

Agrumes = 1,19 l/s/ha

.../...

Arbres fruitiers = 1,88 l/s/ha
Fourrage = 1,86 l/s/ha

b) QUELQUES DONNEES TECHNIQUES : DRAINAGE

- module d'évacuation des eaux extérieures aux périmètres (calcul du réseau principal).

$$e1 = 3 \text{ l/s/ha}$$

- module d'évacuation des eaux de ruissellement au sein du périmètre (calcul du réseau secondaire).

$$e2 = 0,9 \text{ l/s/ha.}$$

VIII) DESCRIPTIF DE L'AMENAGEMENT.

Chaque périmètre défini sur la basse vallée du Sébaou se caractérise essentiellement par un ensemble d'ilots d'irrigation de forme régulière, de surface nette maximale de 5,14 ha (surface brute = 5,65 ha) sur lequel est pratiqué un seul type de culture (l'équipement de cet ilot se faisant en fonction de la meilleure spéculation possible).

Les ilots d'irrigation sont implantés sur des terrains dont la pente est inférieure à 10 % pour éviter le ruissellement. La dimension de base est de 250 X 262 m avec possibilité de division 1/4, 1/2, 3/4 suivant les axes médians.

L'aménagement est conduit en vue d'obtenir les meilleures conditions d'exploitation possible : il comprend :

- Un dispositif d'arrosage propre : prise d'eau et matériel mobile.
- Une structure d'assainissement et de drainage : existence de fossés secondaires sur le pourtour, avec proximité immédiate de fossés primaires ou émissaires.
- Un accès facile par une voirie agricole appropriée et carrossable en toute période et une tournière au niveau des émissaires et brise vents.
- Un brise vent, afin d'atténuer les effets des vents sur l'aspersion et la protection des cultures fragiles (maraichages).

L'ensemble des réseaux d'irrigation sur la vallée du Bas-Sébaou se caractérise comme suit :

N° Réseau	Surface Nette	Débit d'équipement	Nombre de forages	Volume de réservoir de régulation
1	195 ha	320 l/s	4	700 m ³
2	45 ha	90 l/s	2	300 m ³
3	115 ha	180 l/s	2	500 m ³
4	190 ha	280 l/s	3	700 m ³
5	60 ha	120 l/s	2	300 m ³

.../...

6	160 ha	280 l/s	3	700 m ³
7	155 ha	240 l/s	3	700 m ³
8	40 ha	85 l/s	2	300 m ³
TOTAL	960 ha	1595 l/s	21	4200 m ³

DESCRIPTION SOMMAIRE DES ELEMENTS TECHNIQUES RELATIFS AUX PERIMETRES
MIS EN OEUVRE SUR LE BAS SEBAOU

a) Captage des eaux souterraines.

Il est fait par des forages de profondeur variable de 50 à 85 m équipés avec des crépines de diamètres 500 mm à nervures repoussées en acier de 4 mm d'épaisseur. Les débits d'utilisation de ces forages varient de 45 à 95 l/s.

b) Station de pompage.

Elles sont de deux types : le modèle simple abrite un groupe électropompe, modèle mixte, abrite un groupe électropompe, une centrale électrique et les dispositifs de commande de l'ensemble des groupes de pompage.

Toutes ces stations sont construites pour mettre la matériel électrique et électromécanique à l'abri des crues.

- Tous les groupes électro-pompes sont du type à axe vertical, le moteur électrique situé en tête du forage.

c) Réseau de conduites enterrées.

Les collecteurs des eaux de forage sont en acier revêtu type "c", le réseau de distribution est construit en canalisation amiantée de classe 20.

La densité de canalisation à l'hectare irrigué est important du fait de la forme allongée des périmètres (45 à 100 ml/ha).

La protection du réseau est assurée par un ensemble d'ouvrages hydrauliques, tels que vannes, antibéliers, ventouses, vidanges...

d) Ensemble de bornes d'irrigation :

Chaque borne d'irrigation est équipée d'une seule prise qui peut se diviser en 1,2 ou 3 branches par adjonction d'une pièce spéciale.

Les prises sont équipées d'un régulateur de pression, limiteur de débit et d'un compteur volumétrique.

Les bornes sont de deux types :

Type A : dite de petite propriété avec possibilité d'équipement en prise :

1,2 - 2,4 - 3,2 - 4,8 - 6,4 l/s

.../...

Type B : dite de grande propriété avec possibilité d'équipement en 9,6 - 12,80 l/s.

e) Reservoir de regulation.

Il se présente sous forme d'un bassin non couvert, d'un volume suffisant pour permettre une régulation souple au niveau de la distribution continue du débit sur le réseau et l'alimentation "discontinue" du réseau par les groupes électropompes.

Le calage du niveau d'eau dans le réservoir doit être tel que la pression desservie à chaque point du parcellaire ne doit pas être inférieure à 3,5 bars.

f) Matériel mobile.

Il est constitué par des rampes en aluminium de deux à trois pouces et demi munies d'asperseurs, et par des flexibles de diamètre 20 mm.

g) Réseau d'assainissement.

L'assainissement et le drainage sont prioritaires sur l'ensemble du périmètre du Bas-Sébaou car la réussite agricole en dépend. Deux principes régissent l'assainissement :

a) Dans les secteurs où la nappe d'eau souterraine à une profondeur toujours supérieure à 1 m. Le réseau d'assainissement est superficiel ; la profondeur des fossés secondaires, et des émissaires ne dépasse pas 1 mètre.

b) Dans les secteurs où la nappe d'eau souterraine est à moins de 1 m de profondeur, d'autres mesures s'imposaient :

Une action plus efficace est nécessaire pour rabattre le toit de la nappe phréatique à un niveau inférieur à 1 m, par évacuation des eaux de piémont. La création d'émissaires et de drains profonds supérieurs à 1 m devient nécessaire. Ces drains se trouvent généralement en pied de colline et aux endroits d'émergence des eaux (nappes ou sources situées au centre des périmètres). Les sections adoptées sont trapézoïdales avec des pentes 1/1 ou 2/3. De nombreux ouvrages maçonnés de chutes, de débouchés, d'angles, protègent ces émissaires contre les effets d'érosion. Dans les grands ouvrages la vitesse de l'eau reste inférieure à 1,2 m/s, pour les fossés secondaires une vitesse maximale de 2 m/s est admise.

h) Voierie agricole.

Un ensemble de pistes agricoles dessert toute les parcelles de culture. La voierie sera constituée par une bande de roulement de 4 m de large, suffisamment solide pour permettre les déplacements en période humide. Toute une série d'ouvrages busés de gros diamètre permettra le franchissement des drains, des émissaires.

IX) REALISATIONS DES AMENAGEMENTS

La campagne de travaux d'aménagement sur le Bas-Sébaou a débuté en janvier 78.

.../...

1) Exécution des forages :

Ces forages sont réalisés au "rotary" avec emploi de boue bentonitique en raison des faibles moyens des entreprises pour la technique du battage en gros diamètre.

Ces travaux terminés en janvier 1980, correspondent à 21 forages totalisant 1.400 ml de tubage en diamètre 500.

2) Exécution des stations de pompage :

L'ensemble des ouvrages se décompose ainsi :

13 petites unités pour l'abri d'un groupe de pompage ;
8 grandes unités pour l'abri de l'appareillage électrique de commande et d'un groupe de pompage.

Fin décembre 1979 ; l'état des réalisations est le suivant :

- 2 grosses unités achevées
- 1 petite unité achevée
- D'autres unités sont en cours de réalisation.

Ces travaux sont réalisés par l'intermédiaire de la Régie de la Direction de l'Hydraulique.

3) Exécution des réservoirs de régulation :

L'ensemble des ouvrages se compose ainsi :

- 3 réservoirs de petite capacité de 10 mètres de diamètre
 - 5 réservoirs de grande capacité de 15 mètres de diamètre
- Fin décembre 1979, l'état des réalisations est la suivante :
- 2 réservoirs de 10 m de diamètre achevés
 - 1 réservoir de 15 m de diamètre achevé
 - 2 réservoirs de 15 m de diamètre en cours de travaux.

Ces travaux sont réalisés par l'intermédiaire de la Régie de la Direction de l'Hydraulique pour 50 % et d'une entreprise pour limiter les délais. La date de livraison sera Avril 1981.

4) Exécution des Réseaux :

L'ensemble des réseaux représente 63 km de canalisations.

Les travaux sont réalisés suivant deux modes d'exécution :

1) La Régie de la Direction de l'Hydraulique.

Ce mode d'exécution par sa souplesse administrative a permis le démarrage rapide des chantiers en Janvier 1978. De plus il permet une utilisation optimale des moyens mécaniques disponibles au niveau des parcs de matériels de la Wilaya et une occupation de la main-d'oeuvre abondante localement. Le faible coût de réalisation par ce moyen et la possibilité d'intervention directe au niveau de la surveillance, du contrôle, des modifications de programmes de travaux, font que la Régie de la Direction de l'Hydraulique est parfaitement appropriée pour ces travaux.

Fin décembre 1979, 8000 ml de canalisations de diamètre 80 à 400 mm furent réalisés.

Dotée de moyens mécaniques nouveaux, la Régie exécutera au courant de 1980, 8000 ml de canalisations au minimum.

2) L'Entreprise Nationale sous tutelle du Ministère de l'Hydraulique.

L'Entreprise a démarré en Mars 1978 et a réalisé fin Décembre 1979 : 28 700 ml de canalisations de diamètres 80 à 600 mm.

Les moyens mécaniques et humains mis en oeuvre sont relativement importants.

CONCLUSION :

Fin 1979, 36 700 ml de canalisations sont posés soit environ 58 % de l'ensemble des travaux.

Les prévisions pour 1980 sont les suivantes :

- 26 300 ml de pose soit 42 % de l'ensemble des travaux restants.
- Les objectifs sont :
 - Régie DHW : 13 000 ml de canalisations
 - Entreprise : 13 000 ml de canalisations.

La finition totale des travaux de pose et d'équipement des huit réseaux d'irrigation est prévue pour Avril 1981.

4) Exécution des Travaux d'Assainissement et de Voirie :

L'ensemble des travaux est important et se résume ainsi :

- . Terrassements de fossés = 300.000 M3
- . Voirie agricole = 60.000 ml
- . Ouvrages d'art = 10.000 M3 de maçonnerie.

Une première tranche est en cours (100.000 m3) de terrassement et 30.000 ml de piste agricole).

Pour obtenir une durée prévisionnelle de 18 mois de travaux pour cette première tranche, il convient de mettre en oeuvre des moyens mécaniques importants.

6) Conclusion des travaux d'exécution :

L'ensemble des travaux d'aménagement du Bas Sébaou sera probablement terminé en Avril 1981. L'équipement des réseaux d'irrigation sera totalement achevé. Les réseaux de drainage seront faits progressivement, afin de pouvoir tester l'efficacité des drains, de mieux déterminer leurs écartements et profondeurs ; pour cela il est nécessaire d'avoir une expérience de quelques années.

L'intensification de la production agricole grâce à l'irrigation, pourra commencer en 1981.

X) AMELIORATIONS DES CONDITIONS DE VIE DU SECTEUR AGRICOLE.

Parallèlement à la réalisation du programme hydro-agricole de la vallée du Sébaou, un effort considérable a été fait pour l'amélioration des conditions de vie de la population agricole.

En effet, cette zone est très peuplée et l'occupation principale des habitants reste l'agriculture. Par le développement des cultures maraîchères en intensif et de l'arboriculture la main d'oeuvre agricole de ce secteur pourra rester fixe.

Un effort très important est réalisé.

1) Au niveau de l'urbanisme

a) Tous les anciens centres de population possèdent de nouvelles structures d'habitation et de vie qui sont les villages socialistes.

Bouberak	= 100 logements
Takdempt-Dellys	= 240 "
Ben Choud	= 160 "
Sidi-Daoud	= 120 "
Baghlia	= 160 "

Soit environ 780 logements nouveaux en quelques années.

b) L'auto-construction est très importante ; le nombre d'habitations réalisé ainsi est d'environ : 400 unités.

L'habitat traditionnel et précaire dans ce secteur n'existe pratiquement plus, à part quelques ilots qui seront résorbés avec la réalisation de nouveaux programmes de logement à Sidi-Daoud et Ben Choud.

2) Au niveau de l'alimentation en eau potable.

Tous les principaux centres sont desservis, et l'assainissement est en cours de réalisation à Baghlia.

3) Au niveau des écoles.

Elles existent déjà dans chaque village.

4) Au niveau sanitaire et hospitalier.

L'extension du Centre Hospitalier de Dellys est en cours, et un dispensaire existe à Baghlia.

X1) C O N C L U S I O N :

Ce projet dont une tranche sera livrée en mai 1980, et dont la réalisation sera pratiquement terminée en 1981 permettra de modifier **radicalement** les habitudes culturelles traditionnelles des paysans de cette petite vallée.

Il s'agit d'un aménagement intégré complet, avec cultures irriguées, cultures en sec et productions hors sol.

En plus de l'amélioration sensible de la production agricole, de nombreux investissements sociaux ont été consentis pour fixer les paysans (village agricole, autoconstruction, équipement sociaux).

De nombreux projets similaires sont programmés dans les autres vallées alluviales du pays.

2) L'Entreprise Nationale sous tutelle du Ministère de l'Hydraulique.

L'Entreprise a démarré en Mars 1978 et a réalisé fin Décembre 1979 : 28 700 ml de canalisations de diamètres 80 à 600 mm.

Les moyens mécaniques et humains mis en oeuvre sont relativement importants.

CONCLUSION :

Fin 1979, 36 700 ml de canalisations sont posés soit environ 58 % de l'ensemble des travaux.

Les prévisions pour 1980 sont les suivantes :

- 26 300 ml de pose soit 42 % de l'ensemble des travaux restants.
- Les objectifs sont :
 - Régie DHW : 13 000 ml de canalisations
 - Entreprise : 13 000 ml de canalisations.

La finition totale des travaux de pose et d'équipement des huit réseaux d'irrigation est prévue pour Avril 1981.

4) Exécution des Travaux d'Assainissement et de Voirie :

L'ensemble des travaux est important et se résume ainsi :

- . Terrassements de fossés = 300.000 M3
- . Voirie agricole = 60.000 ml
- . Ouvrages d'art = 10.000 M3 de maçonnerie.

Une première tranche est en cours (100.000 m3) de terrassement et 30.000 ml de piste agricole).

Pour obtenir une durée prévisionnelle de 18 mois de travaux pour cette première tranche, il convient de mettre en oeuvre des moyens mécaniques importants.

6) Conclusion des travaux d'exécution :

L'ensemble des travaux d'aménagement du Bas Sébaou sera probablement terminé en Avril 1981. L'équipement des réseaux d'irrigation sera totalement achevé. Les réseaux de drainage seront faits progressivement, afin de pouvoir tester l'efficacité des drains, de mieux déterminer leurs écartements et profondeurs ; pour cela il est nécessaire d'avoir une expérience de quelques années.

L'intensification de la production agricole grâce à l'irrigation, pourra commencer en 1981.

X) AMELIORATIONS DES CONDITIONS DE VIE DU SECTEUR AGRICOLE.

Parallèlement à la réalisation du programme hydro-agricole de la vallée du Sébaou, un effort considérable a été fait pour l'amélioration des conditions de vie de la population agricole.

En effet, cette zone est très peuplée et l'occupation principale des habitants reste l'agriculture. Par le développement des cultures maraichères en intensif et de l'arboriculture la main d'oeuvre agricole de ce secteur pourra rester fixe.

Un effort très important est réalisé.

1) Au niveau de l'urbanisme

a) Tous les anciens centres de population possèdent de nouvelles structures d'habitation et de vie qui sont les villages socialistes.

Bouberak	= 100 logements
Takdempt-Dellys	= 240 "
Ben Choud	= 160 "
Sidi-Daoud	= 120 "
Baghlia	= 160 "

Soit environ 780 logements nouveaux en quelques années.

b) L'auto-construction est très importante ; le nombre d'habitations réalisé ainsi est d'environ : 400 unités.

L'habitat traditionnel et précaire dans ce secteur n'existe pratiquement plus, à part quelques ilots qui seront résorbés avec la réalisation de nouveaux programmes de logement à Sidi-Daoud et Ben Choud.

2) Au niveau de l'alimentation en eau potable.

Tous les principaux centres sont desservis, et l'assainissement est en cours de réalisation à Baghlia.

3) Au niveau des écoles.

Elles existent déjà dans chaque village.

4) Au niveau sanitaire et hospitalier.

L'extension du Centre Hospitalier de Dellys est en cours, et un dispensaire existe à Baghlia.

X1) C O N C L U S I O N :

Ce projet dont une tranche sera livrée en mai 1980, et dont la réalisation sera pratiquement terminée en 1981 permettra de modifier radicalement les habitudes culturelles traditionnelles des paysans de cette petite vallée.

Il s'agit d'un aménagement intégré complet, avec cultures irriguées, cultures en sec et productions hors sol.

En plus de l'amélioration sensible de la production agricole, de nombreux investissements sociaux ont été consentis pour fixer les paysans (village agricole, autoconstruction, équipement sociaux).

De nombreux projets similaires sont programmés dans les autres vallées alluviales du pays.

AMENAGEMENT HYDROAGRICOLE DU SOUSS AMONT

Par M. DAOUDI et A. BENTAYEB.

I - INTRODUCTION.

La plaine du Souss se trouve à la latitude du SAHARA (30e. parallèle). Des conditions naturelles exceptionnelles (influence océanique, montagnes de l'Atlas, pluviométrie de l'ordre de 240 mm, présence d'eaux souterraines importantes) ont favorisé la vocation agricole du Souss.

La mise en valeur des ressources en terres et en eau a fait l'objet d'Etudes réalisées par le PNUD/FAO (1968- 1974). Ces études ont permis de définir un plan directeur d'aménagement hydroagricole du Souss.

Le projet d'utilisation des eaux souterraines intitulé "Souss Amont" constitue la première étape de réalisation de ce plan directeur. C'est ce projet qui fait l'objet de la présente communication qui comporte quatre chapitres distincts :

Le premier chapitre place le "projet Souss-Amont" dans le cadre global du bassin du Souss avec utilisation des eaux souterraines.

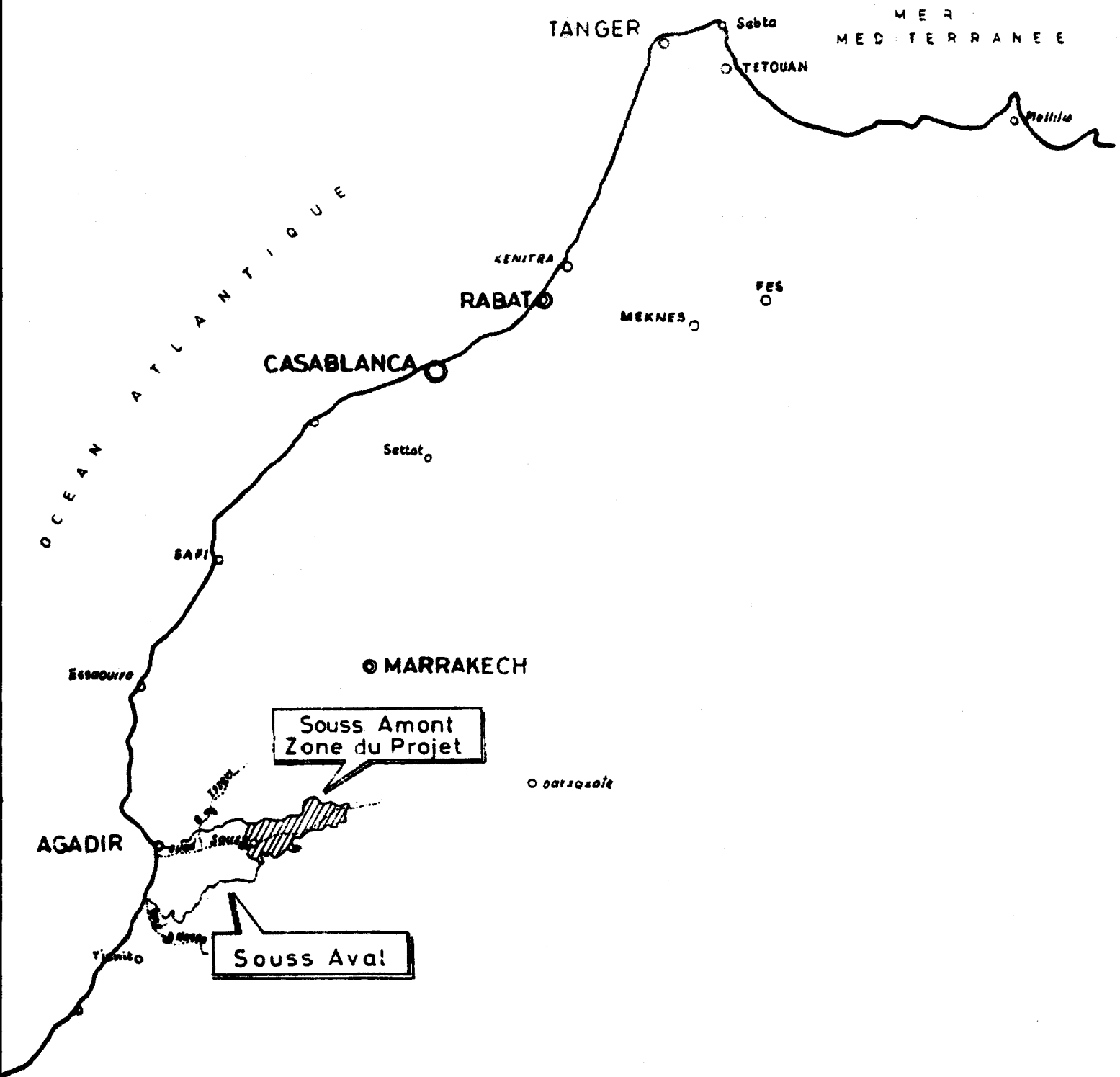
Le second chapitre dresse un aperçu de la situation actuelle du secteur irrigué ; par ailleurs il donne une description du schéma hydraulique retenu pour l'aménagement hydroagricole du bassin du Souss.

Le troisième chapitre décrit exclusivement le projet Souss Amont (principales composantes du projet).

Enfin le dernier chapitre est consacré aux aspects particuliers du projet et aux recommandations.

-:-:-:-:-

SITUATION DE LA ZONE DU PROJET



II - GENERALITES SUR LE BASSIN DU SOUSS ASPECTS PARTICULIERS DE LA ZONE DU PROJET " SOUSS AMONT"

2-1. Situation - Géomorphologie - Climat.

Situation :

Le bassin du Souss est situé dans le Sud du Maroc entre le Haut Atlas et l'Anti Atlas. Il s'étend sur 170 km de long et atteint une largeur maximum à l'aval de 45 km. Sa superficie est de 4.150 km². Le projet Souss-Amont est localisé dans la moitié amont du bassin du Souss.

Géomorphologie :

La morphologie tient son caractère de l'accumulation dans un sillon synclinal de matériaux arrachés à la montagne depuis le Pliocène, par une érosion torrentielle intense, combinée à un climat semi-aride. Un épandage ultime de limons a conféré à la plaine une uniformité à peine rompue par de rares collines, îlots émergés révélateurs d'un sous-sol fortement plissé par l'orogénie tertiaire.

Climat :

Le bassin a un climat chaud et sec en toutes saisons, de type désertique tropical, tempéré par l'océan et par le Haut Atlas. Les pluies, liées aux vents d'Ouest, tombent d'Octobre à Avril. Après Avril, la sécheresse est intense, encore aggravée par le chergui, vent sec venu de l'intérieur.

Sur une bande maritime de 15 km, la pluviométrie est de 250 mm/an et la température moyenne est de 20°C, avec extrêmes de 10° et 30°C. Au delà et en particulier dans la zone du projet "Souss Amont", la pluviométrie est de 230 mm/an et la température moyenne de 20°C avec extrêmes de 5° et 45°C. Les gelées sont inconnues sur 30 à 40 km à l'intérieur des terres. L'évapotranspiration est de l'ordre de 1,5 à 2 mètres/an.

2-2. Hydrologie.

Ressources en eau :

Les débits du Souss sont mesurés de façon régulière en 3 endroits à l'Amont de l'Oued (Aoulouz), au centre (Taroudant) et à l'aval (Ait Melloul). Le débit annuel moyen du Souss à Aoulouz au cours de 16 années d'observation est de 8,6 m³/s, la moyenne de janvier étant de 21,9 m³/s et la moyenne la plus élevée de janvier ayant été de 114,7 m³/s.

La nappe constitue un réservoir de grande capacité de l'ordre de 100 milliards de m³. L'aquifère principal du Souss a une épaisseur de 100 à 500 m et comprend des formations de marnes tertiaires et de grès surmontées d'alluvions quaternaires ayant une épaisseur de 30 à 40 m le long du lit du fleuve. Dans la zone du projet, les transmissivités sont égales ou supérieures à 5.10⁻³ m²/s.

.../...

La capacité d'infiltration du lit du Souss est d'environ 0,86 m³/jour/m². Les infiltrations sont substantielles (environ 25% du ruissellement total). Des éperons rocheux dans le substratum du lit de l'Oued obligent le débit souterrain à émerger. L'eau provenant des resurgences est dérivée en plusieurs endroits pour l'irrigation traditionnelle.

En période de crue, des canaux en terre (séguías) de grande capacité dérivent les eaux de ruissellement sur des zones d'épandage. Néanmoins les pertes à la mer sont importantes (430 millions de m³).

Le bilan hydrologique du Souss se présente ainsi :

- Souss Amont : sur un apport total de 460 millions de m³, 270 millions de m³ sont des pertes en surface et 50 M m³ des pertes souterraines.
- Souss Aval : sur un total des apports de 540 millions de m³, 410 M, M³ sont des pertes en surface vers la mer et 20 M.m³ des pertes souterraines à la mer.

Qualité des eaux :

Les eaux indiquent un E.C moyen de 77 mhos soit 490 ppm. Les eaux sont classées comme C25 avec une salinité moyenne et une faible charge d'alcali, la pluviométrie et le drainage naturel paraissent suffisants pour empêcher l'accumulation de sels dans la couche supérieure du sol.

2-3. Aspects socio-économiques

Ces conditions exceptionnelles liées à la présence d'eaux souterraines abondantes ont favorisé la vocation agricole de la plaine du Souss. Récemment (1930), la culture riche des agrumes et des primeurs, surtout tomates, fut introduite au sein d'une agriculture traditionnelle de céréales et oliviers. Ces cultures riches s'appuient exclusivement sur des stations de pompage modernes qui exploitent la nappe phréatique. Ainsi les meilleures terres alluviales au voisinage de l'Oued Souss ont été gagnées à la culture. Près du littoral, le maraîchage à base de tomates assure l'essentiel des exportations car la production précède celle des autres régions du bassin méditerranéen. Plus à l'Est, l'agrumiculture fait de la plaine du Souss la deuxième région du Maroc productrice d'agrumes, après le Rharb. Cette agriculture moderne a connu des difficultés dues aux invasions de sauterelles, aujourd'hui en régression totale, et à la surexploitation localisée de la nappe phréatique.

Aussi l'intérêt s'est-il porté sur la connaissance approfondie des ressources en eau souterraine de la plaine et en eau de surface des Oueds Massa, Souss et de son affluent principal de l'Oued Issen.

Les communications tant à l'intérieur que vers l'extérieur constituent des éléments favorables. Un réseau de routes principales et chemins tertiaires goudronnés couvre la plaine. Agadir possède un aéroport international et un port où se font le ravitaillement et les exportations de la plaine.

La population de la plaine atteint 400.000 habitants dont le cinquième est concentrée dans les villes d'Agadir, capitale administrative, Taroudant, Tiznit. La densité de la population rurale est de 40 habitants par km². Les Soussis sont des cultivateurs susceptibles de s'adapter aux procédés de culture moderne. L'Etat s'est attaché dès 1950 à créer des périmètres d'irrigation organisés autour de stations de pompage à gros débit (300 m³/Heure) et gérés sous forme de coopératives par des Centres de Travaux (CT). Après une période de doute et de méfiance, cette formule s'est avérée efficace. Aussi l'Etat est-il décidé à poursuivre et à étendre son effort de développement dans la mesure où les ressources hydrauliques le permettent et le garantissent. C'est pourquoi le développement hydro-agricole de la plaine du Souss pose le préalable de la connaissance la plus exacte possible de la quantité d'eau disponible, surtout souterraine.

III - SITUATION ACTUELLE ET EVOLUTION.

DESCRIPTION DU SCHEMA HYDRAULIQUE RETENU

3-1 Situation actuelle des superficies irriguées.

L'Ensemble des périmètres irrigués dans le Souss couvre une superficie de 60.000 ha. Suivant l'origine des eaux deux grands secteurs ont été délimités.

- Le secteur moderne (28.000 ha) utilisant l'eau souterraine par pompage.
- Le secteur traditionnel (32.000 ha) utilisant une eau gravitaire provenant :
 - des eaux de crue du Souss et ses affluents
 - des eaux de résurgence du lit de l'Oued Souss
 - des eaux souterraines captées par Khettaras (drains)

Cette classification un peu arbitraire basée sur l'origine des eaux est confirmée par les spéculations pratiquées :

- Secteur moderne : cultures hautement rémunératrices avec application de techniques agricoles modernes.

- Secteur traditionnel : Agriculture de subsistance, peu productive, soumise à des contraintes diverses : droit d'eau, régime foncier etc...

3-2 Repercussion de l'Abaissement actuel de la nappe sur les Périmètres irrigués.

Du fait du développement rapide et anarchique du secteur moderne, le bilan hydrologique de la plaine du Souss en aval de Taroudant, est déficitaire.

Repercussion sur le secteur traditionnel

La baisse de la nappe n'a pas encore influé sur le débit des émergences de façon perceptible.

Repercussion sur le secteur moderne.

Des baisses de niveau importantes ont été enregistrées dans le secteur Aval (Ouleid Teima). Ce phénomène, encore localisé va s'étendre inéluctablement à l'ensemble du secteur moderne (à l'aval de Taroudant).

Suivant le substratum hydrogéologique, les effets en seront plus en moins préjudiciables.

Deux zones ont été différenciées (cf carte p 24).

- Une zone de faible transmissivité inférieure à $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ dans laquelle les captages ont un faible débit spécifique (1 à 2 litres/s/mètre de rabattement). Il est peu probable qu'un approfondissement des points d'exhaure, permette de recouper des zones à forte transmissivité : le débit spécifique aurait plutôt tendance à décroître en fonction de la profondeur. Le secteur d'Ouleid Teima illustre parfaitement ce phénomène.

- Une zone de transmissivité supérieure à 5.10^{-3} m²/s.

La présence d'une ou plusieurs couches de bonne perméabilité située entre 50 et 150 m de profondeur, caractérise cette zone.

Dans le premier cas, si une baisse de niveau importante se produit les débits disponibles diminuent très fortement et l'approfondissement de la crépine ne maintient pas les potentialités. Une diminution des superficies cultivées est donc probable si l'on n'a pas recours à un apport d'eau extérieur.

3-3 Description du système hydraulique retenu.

En matière d'hydraulique, le plan Directeur propose une politique de gestion des ressources en eau de la plaine et définit les équipements pour les mettre en oeuvre. La politique de gestion des ressources retenues a pour objet :

- La modernisation du secteur irrigué traditionnel ;
- Le soutien du secteur moderne particulièrement menacé par une baisse de la nappe.
- L'extension des superficies irriguées (59.000 ha en 1973 à 74.000 ha en l'an 2007).

Pour atteindre ces objectifs il est nécessaire :

- de mobiliser de nouvelles ressources naturelles.
- d'assurer une meilleure maîtrise de l'eau du secteur traditionnel.
- de garantir les débits et volumes consommés par le secteur moderne.

Les investissements hydrauliques retenues dans le cadre du plan Directeur concernent 4 actions principales :

1° - Création des périmètres irrigués sur financement public regroupé en 2 projets distincts :

- Projet "Souss Amont" (utilisation des eaux souterraines)
- Projet Issen (utilisation des eaux de surface par la réalisation d'un barrage sur un affluent de l'Oued Souss en l'occurrence de l'Oued Issen. Ce projet concerne le Souss Aval.

2° - Création de périmètres irrigués sur financement privé dans des zones délimitées dans lesquelles il sera possible de délivrer des autorisations de pompage.

3° - Rénovation progressive des périmètres irrigués traditionnels au rythme de tarissement progressif des resurgences de l'Oued Issen.

4° - Investissements pour la conservation des irrigations modernes existantes : soit par approfondissement des puits existants, soit par regroupement d'exploitation et fonçage de forages en vue d'adopter des systèmes d'irrigation collectifs.

.../...

Ce projet "Souss Amont" constitue la première étape de réalisation de ce plan Directeur.

Ce projet prévoit l'extension de superficies irriguées à partir de forages de 6.300 ha net et la renovation de 1000 ha de périmètre traditionnel.

Sa réalisation est en cours et une première tranche de 2.000 ha a déjà été mise en culture lors de la campagne agricole 1978 - 1979.

Ce projet fait l'objet d'un descriptif détaillé dans le chapitre suivant.

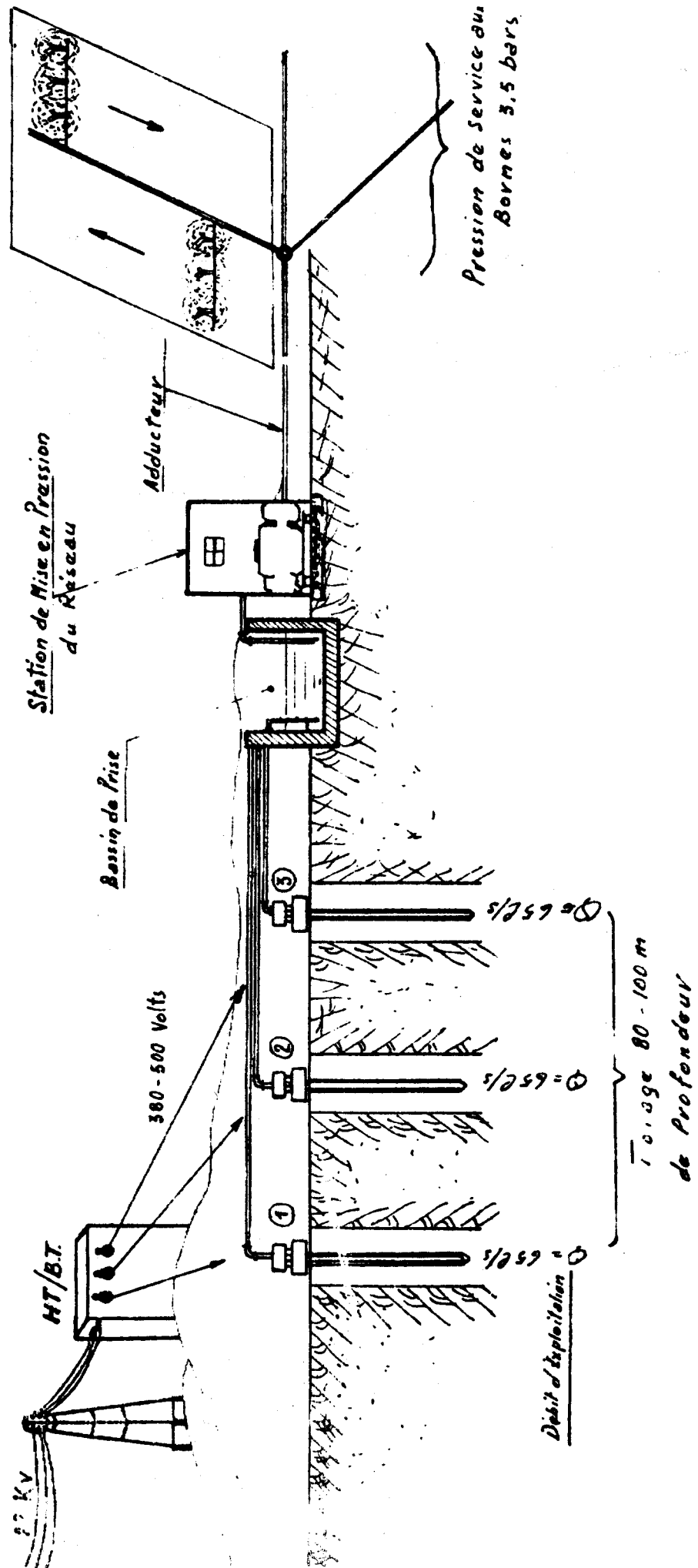
TABEAU N° 1 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES D'EQUIPEMENT S.A.

(PERIMETRES MODERNES PAR ASPERSION - 6300 HA S.A.U.)

Secteur	S.A.U	Nb S. Sect. (Nb de sta. de reprise)	Nb de forages	Puissance installée en Kw	Nb de bornes d'irrigation	Linéaire du réseau (m)	Débit de pointe des secteurs	Date de mise en eau
- Tazemmourt	791	2	8	1248	59	18.200	523	1ère Tranche
- El M'Hazem	1059	3	10	1839	78	23.225	670	Mise en eau
- Rbaâ El Oustani	772	4	9	1420	56	17.045	495	Oct. 1979)
- Aït - Iggues	332	1	3	613	23	7.284	215	2ème Tranche
- Aït - Ouarab	792	2	8	1205	52	16.164	515	(Mise en eau
- Ouled Bourious 2	402	1	4	576	28	6.580	255	Nov. 1980
- Ouled Bour. (1)	242	1	3	186	15	3.028	100	3ème Tranche
- Ouled Abdallah	510	2	4	892	37	12.712	365	Mise en eau
- Rezagna	952	3	6	1564	73	11.521	605	prév. Nov. 80
- Ida ou Kaïs	448	1	4	704	34	21.899	290	
<u>TOTAL./</u>	6300	20	59	9947	455	137.658	4033	

Périmètre Amont de Taroudant

Schéma d'Implantation d'un groupe de 3 forages
servant 250 à 300 ha de périmètre irrigué



IV - PROJET SOUSS AMONT

PRINCIPALES COMPOSANTES DU PROJET

4-1 Sélection et formulation du projet

L'objectif du projet est de provoquer dans le Souss Amont une évolution du secteur traditionnel irrigué. Il s'agit pour cela de mettre à la disposition des agriculteurs de ce secteur des moyens de production modernes. Les superficies irriguées trop réduites dont ils disposent ne leur permettent pas du fait des contraintes du système foncier et du droit coutumier sur l'eau de valoriser pleinement les ressources naturelles. Le projet propose de les accroître. Cet accroissement de superficies irriguées s'effectuera par la mise en eau de 6.300 ha (S.A.V.) de terres actuellement cultivées en sec.

Simultanément 1000 ha du secteur traditionnel (parmi les 17.100 du traditionnel du Souss Amont) dont les ressources en eau gravitaire disparaîtront progressivement du fait du développement des pompes pourront recevoir une dotation en eau d'irrigation garantie permettant l'intensification de la production.

Le choix des périmètres modernes (6.300 ha SAU) a été basé sur la situation foncière, la topographie et la qualité des sols. Ces périmètres comprennent 9 secteurs de part et d'autres de l'Oued Souss et distants l'un de l'autre de 10 à 20 km.

Le choix des 1000 ha de "modernisation du secteur traditionnel a été opéré dans la zone où l'alimentation en eau (déjà mal assurée) risque d'être aggravée par la réalisation du projet.

4-2 Infrastructure hydraulique

Pour le secteur moderne (6350 ha) 59 forages d'une profondeur de 70 à 130 mètres alimentent 20 sous-secteurs de 130 à 490 ha groupés en 9 secteurs de 300 à 1000*ha. Les débits de forages varient entre 20 et 120 l/s.

On^a estimé qu'il était souhaitable d'assurer au moins trois points d'exhaure à moins que le coût en soit prohibitif. Ainsi dans l'ensemble chaque secteur est formé d'une batterie de 2 - 3 à 4 forages.

Les forages sont équipés d'un groupe électropompe immergé. Les eaux sont refoulées par le réseau d'adduction vers les bassins des stations de reprise, qui assurent la régularisation et la mise en pression du réseau de distribution.

Les caractéristiques principales de l'Equipement de chaque secteur sont résumées dans le tableau n°1 page 57.

Infrastructure hydraulique des périmètres traditionnels (1000ha)

Ce secteur comprend 3 périmètres distincts de 1000 ha équipés par 8 forages. Les systèmes gravitaires existants sont modernisés (canaux portés). Des améliorations de moindre importance sont entreprises sur les canaux en terre existants.

4-3 Aspects Socio Economiques du Projet Souss Amont

4-3-1. Répartition sociale de l'eau souterraine

Le développement continu des irrigations dans le Souss par de gros exploitants agricoles à partir de 1940 a amené le gouvernement à intervenir dans la répartition de l'eau afin d'en faire bénéficier la partie la plus pauvre de la population. L'utilisation des eaux souterraines du Souss Amont est le moyen adopté par le gouvernement.

Le choix des secteurs du projet Souss Amont a été motivé par plusieurs raisons techniques (topographie, pédologie, hydrogéologie), sans toutefois perdre de vue le statut foncier qui est essentiel. En effet sur 6.300 ha (SAU) des périmètres modernes du Souss Amont 4.260 ha (SAU) soit 67 % sont constitués par des terres collectives et par des terres domaniales.

Les changements dans la situation foncière qui sont introduits dans le cadre du projet sont regis par la loi de 1962 sur le remembrement des terres, le code des investissements agricoles de 1969 et la législation sur la réforme agraire de 1972.

La législation sur la réforme agraire établit les conditions réglant la distribution des terres domaniales aux petits propriétaires et aux paysans sans terres. Le code des investissements agricoles prévoit le transfert des terres collectives se trouvant à l'intérieur d'un périmètre irrigué au fonds de la réforme agraire.

L'ensemble des superficies du projets Souss Amont concerné par la réforme agraire (4259 ha) est distribué à 876 attributaires réunis en 14 coopératives.

4-3-2. Mise en Valeur Agricole

Dans les terrains collectifs ou domaniaux qui ont fait l'objet de lotissements, la constitution des exploitations est réalisée par l'attribution de 2 lots séparés. Le premier lot de 4 Ha est destiné à la culture d'un assolement betteravier quadriennal, le second lot de 1 Ha est situé dans un verger collectif. Cette mise en place est facilitée par la création de coopératives agricoles dans les lotissements. Cette répartition devrait en principe être respectée sur le Melk (propriété privé) également.

Mise en valeur agricole

Les cultures actuellement pratiquées sur les terres des périmètres "Amont Taroudant" sont en majorité constituées par l'orge.

Le but du projet est de remplacer ces cultures aux revenus aléatoires, par des cultures irriguées par aspersion suivant des méthodes modernes.

Les productions escomptées sont les suivantes :

- Céréales	11.000 T.
- Betteraves	50.000 T.
- Bovins lait	7.200 T.
- Bovins viande	1.600 T.
- Ovins viande	1.400 T.

.../...

4-3-3. Investissement du projet - Résultats Economiques

Investissements du projet Amont de Taroudant :

Les investissements globaux du projet Amont de Taroudant s'élèvent à 144 millions de DH (36 millions \$ U.S.) dont 132 millions de DH (34 millions \$ U.S) pour l'infrastructure hydraulique, soit 18.200 DH/Ha. (4.500 \$ U.S./Ha).

Résultats Economiques :

La valeur de la production brute des 6.300 ha du projet Amont en croisière sera de 67,42 millions de DH (17 millions \$ U.S.) ce qui multiplie par 20 environ le produit brut obtenu par les cultures en sec surtout orge, oliviers, élevage Ovin et Caprin.

Le produit brut obtenu en croisière correspond à 10.700 DH (2500 \$ US) par ha, soit environ 52.000 DH (13.000 \$ US) par lot type de 5 ha, le taux de rentabilité interne est de 10,05 %.

V- ASPECTS PARTICULIERS DU PROJET SOUSS-AMONT

Recommandation

- 5-1 - Utilisation des reserves de la nappe - Contrôle du taux d'épuisement de la nappe. Détermination des dates de mise en service des barrages nécessaires à la réalimentation de la nappe.

Le bilan hydrologique de la zone du projet en 1973 (année de référence) et à l'horizon 2007 (après la mise en eau des périmètres du projet Souss Amont et avant la création d'ouvrages de régularisation (barrages sur l'Oued Souss) s'établit ainsi :

1973 (en million de m ³)		2007 (en M de m ²)	
Apport moyen	Consommation 140	Apport moyen	Consommation 210
460	fuites aval 320	460	fuites aval 300
	dont		souterraines(40)
	souterraines (50)		
460	460		Dépôt annuel 50

L'accroissement de la consommation prévue est de 70 millions de m³ pour la zone du projet :

- dont 50 Mm³ pour le projet Souss Amont
- et 20 Mm³ consacré aux extensions du secteur privé et à la modernisation du secteur traditionnel hors projet.

Les 70 millions de m³ nécessaires à l'accroissement de la consommation sont obtenus :

- Par une réduction de 10 Mm³ de fuites des eaux de surface
- Par une réduction de 10 Mm³ des fuites des eaux souterraines.
- Et surtout par une exploitation plus intense de la nappe en prélevant sur les réserves 50 millions de m³/an.

.../...

Ce prelevement provoquera à l'horizon 2007 un abaissement de la nappe moyen de 10 m et pouvant varier de 0 à 25 mètres..

L'observation continue des niveaux permettra de réajuster cette prévision périodiquement et de prendre en temps voulu la décision de construire un ou plusieurs ouvrages (barrage) de réalimentation pour stabiliser le niveau des eaux souterraines.

Ceci suppose qu'il n'y aura pas de retour à la nappe et l'extraction maximum de 70 Mm³ par an ne laissent qu'une marge de 10 Mm³ par an pour l'expansion des irrigations du secteur privé. C'est pourquoi l'ORMVA. SM ne devrait pas donner de nouvelles autorisations de pompage dans cette zone aussi longtemps qu'il ne sera pas clairement établi que l'équilibre doit être maintenu.

La Division des ressources en eau (D.R.E.) mesure les mouvements de l'eau souterraines dans 150 piézomètres. Cet ensemble est complété par un programme de mesures des débits de resurgence et des volumes pompés. La D.R.E. prépare un modèle mathématique de la nappe qui devrait permettre de préciser avec plus d'exactitude le taux d'épuisement de la nappe et par conséquent la date à laquelle un barrage régulateur devrait être en Service. Si les constatations se révélaient optimistes, les restrictions sur une exploitation complémentaire de la nappe pourraient être assouplies.

O B S E R V A T I O N S

1 - En premier lieu et avant toute construction de barrage l'exploitation intensive de la nappe phréatique par des puits forés aux abords immédiats du lit mineur du Souss créerait des dépressions localisées autour de grosses stations de pompage, sortes de "pièges à crues", qui augmenteraient l'alimentation naturelle de la nappe phréatique. Ensuite, l'alimentation artificielle de la nappe phréatique serait réalisée, sur les piémonts, suivant le lit mineur des Oueds atlasiques après retardement des crues par des barrages bien situés et judicieusement dimensionnés. Le barrage d'Aoulouz est le cas le plus typique et le plus favorable, puisqu'il faciliterait l'infiltration des crues sur le cours supérieur du Souss entre Aoulouz et Taroudant.

2 - Les 38 ouvrages et séguías de dérivation des eaux de crues déjà construits sont des solutions précaires et onéreuses, certes, mais efficaces pour la conservation des eaux de crue.

-3 - L'effet de l'infiltration accrue dans le lit de l'Oued Souss, devenu plus drainant (conséquence de la remarque 1) est susceptible d'améliorer la situation.

4 - Parmi les barrages de réalimentation du bassin du Souss les plus importants sont ceux sur l'Oued Issen et sur le Souss même à Aoulouz. D'autres Oueds du versant Sud du haut Atlas ont des apports moyens non négligeables (Oued El Ouaar 21 Mm³, Talkjount 22 Mm³, Nokthail 18 Mm³).

5 - Signalons que le plan Directeur d'aménagement hydro-agricole du Souss-Amont avait programmé le barrage sur l'Oued Issen en priorité pour sauver en particulier la zone agrumicole du Souss-Aval (Ouled Teima) menacée par la baisse de la nappe.

6 - Suivant les prévisions, la construction d'un barrage sur l'Oued Souss (Aoulouz) ne devrait pas être nécessaire avant 30 ans. Ce barrage pourra, dès que cela sera jugé opportun assurer le retour progressif à l'équilibre. Sa capacité de réalimentation de la nappe a été évaluée à 50 Millions de m³ pour un ouvrage de 60 m de hauteur et à 65 millions de m³ pour un ouvrage de 78 m de hauteur.

5-2 Incidence des pompages sur la mise en valeur des périmètres SOUSS-AMONT. Détermination des zones menacées par la baisse de la nappe et mesures préconisées. Autorisations de pompage.

5-2-1 Critères de sécurité adoptés pour le fonctionnement des Equipements du projet SOUSS-AMONT :

- Afin d'aboutir à une normalisation des stations de pompage on a adopté pour tous les forages un débit d'exploitation de 65 l/s correspondant à un rabattement de 20 mètres soit un débit de 3,5 l/s/mètre de rabattement. Toutes les stations de pompage ont été ramenées à 4 types dans un souci de standardisation du matériel.

- Chaque station suivant la superficie desservie est alimentée par une batterie de 2,3 ou 4 forages. La distance de 400m entre forages d'une même batterie a été adoptée. Cette solution de batterie de forage à l'avantage d'atténuer les méfaits des pannes.

- Toutes les stations et tous les forages sont équipés d'armoires de commande. Malgré cet automatisme, des difficultés ont été rencontrées au niveau de la gestion de cet équipement (sur la 1ère tranche, déjà réalisée) en raison du manque d'encadrement qualifié et de la dispersion des périmètres. Il s'est avéré nécessaire d'envisager la réalisation d'une télésignalisation afin de centraliser toutes les informations. Des propositions sont en cours d'études (par câble, radio, ou solution mixte).

- Afin de réduire les coupures de courant un bouclage de la ligne électrique est prévu pour que chaque station puisse être alimentée par 2 sources différentes.

- Contrôle et conservation des ressources en eau. Cet aspect est détaillé dans le paragraphe suivant :

5-2-2 Contrôle de l'incidence des pompages sur la mise en valeur du projet Souss-Amont :

Les programmes actuellement en cours pour contrôler les débits de surface et les niveaux de la nappe seront poursuivis durant et après la construction du projet.

Ce programme de contrôle est essentiel parce qu'il :

a) Fournira des informations quantitatives sur toute variation des débits de surface dans la zone du projet.

b) Fournira des informations détaillées sur le mouvement des eaux souterraines qui se produiront à cause du projet et permettra d'obtenir une meilleure évaluation du rabattement éventuel de la nappe.

c) Permettra à l'ORMVA/SM d'établir une politique et un calendrier pour la délivrance au secteur privé de nouveaux permis de pompage.

.../...

mêmes normes que pour le secteur aval droit.

Au maximum 213 autorisations de puits
Au minimum 45 autorisations de forages.

Au delà de ces normes, les valeurs calculées pour l'abaissement du niveau de la nappe seraient dépassées et les investissements réalisés par l'Etat ou par le secteur privé seraient en danger.

Le gouvernement a donné son accord pour que la D.R.E. continue son contrôle dans la vallée du Souss Amont, fournisse à l'ORMVA/SM les résultats de ce contrôle, et pour que l'ORMVA/SM entreprenne également l'inventaire de la dérivation des eaux de surface et de l'extraction des eaux souterraines dans la vallée Amont. Le pompage doit être stric-

08760

NOTE DE PRESENTATION SUR LE SYSTEME
D'IRRIGATION AU GOUTTE A GOUTTE
Par J.C. MENAGER (EIER - OUAGADOUGOU)

A). INTRODUCTION

Nous entendons tous parler de plus en plus de l'irrigation au goutte à goutte, particulièrement dans les milieux politiques ou techniques qui s'occupent du développement des régions à ressources en eau limitées.

Il s'agit en fait d'une technique relativement jeune qui n'a commencé à se répandre dans quelques pays que depuis une vingtaine d'années (France, Italie, Israël, Australie, Etats-Unis...) et qui commence seulement à faire une apparition modeste en Afrique dans quelques projets (Sénégal, Libye, Abou Dhabi) mais elle reste encore généralement limitée aux organismes de recherche.

I. PRINCIPE DE L'IRRIGATION

Rappelons nous d'abord, que d'une manière générale, tout système d'irrigation a pour but d'assurer aux plantes leur alimentation en eau en utilisant le sol comme intermédiaire de transit et de stockage de l'eau.

Cette eau intervient dans la plante à 2 niveaux : d'une part elle constitue l'essentiel de leurs tissus, c'est l'eau de constitution ; d'autre-part elle sert à véhiculer les éléments prélevés par la plante dans le sol : c'est l'eau de transpiration.

Le débit de cette eau de transit varie selon les végétaux et selon leur période de croissance.

La vitesse de transit est également variable (de 30 à 180 cm/h), elle est influencée par la température, le vent, la sécheresse et l'atmosphère. Le flétrissement apparaît au moment où le débit d'évaporation à travers les feuilles est inférieur au débit d'absorption par les racines, qui est lui même conditionné par le taux d'humidité du sol. L'absorption cesse dès que la force de succion des racines vis à vis de l'eau devient inférieure aux forces de rétention de l'eau par le sol.

.../...

L'irrigation idéale consisterait donc à apporter au végétal la quantité d'eau instantanée dont il a besoin à un instant donné. C'est le sol qui est utilisé comme structure de réserve pour le compte de la plante qu'il porte.

2. DEFINITION DE L'IRRIGATION AU GOUTTE A GOUTTE

L'irrigation au goutte à goutte consiste à apporter l'eau en un point situé soit à la surface du sol, soit à faible profondeur, et avec un débit très lent.

L'étude du sol montre une zone saturée à proximité immédiate du point d'arrivée, puis un volume de terre, de forme variable, humide mais non saturé. C'est ce volume que l'on appelle le bulbe et qui doit constituer la partie explorée par les racines.

Nous en arrivons ainsi à la définition du goutte à goutte : suivant l'école israélienne, c'est la technique qui consiste essentiellement à mettre l'eau et les engrais directement à la disposition de la zone radiculaire à l'aide d'un type d'arroseur spécialement conçu et calculé pour des débits très faibles. Cet arroseur effectue dans le sol une dispersion de l'eau différentielle et tridimensionnelle maintenant un bas niveau de tension hydraulique dans le profil pédologique (définition proposée par le congrès de BUCAREST - 1972).

Une définition américaine reprend l'idée d'apport direct à la zone radiculaire en acceptant une gamme étendue de moyens utilisés dans ce but (orifices, goutteurs, tubes poreux...), placés sur le sol ou en légère profondeur (Norme du SOIL CONSERVATION SERVICE - 1973).

Ainsi donc, ce mode d'irrigation est caractérisé par les deux aspects fondamentaux suivants :

- apport d'un débit faible mais avec des fréquences élevées
- alimentation en eau limitée au volume de sol exploité par le système radiculaire des plantes.

Pratiquement, un réseau d'irrigation goutte à goutte est constitué de canalisations en plastique fonctionnant sous faible charge. L'eau est distribuée à très faible débit par des "goutteurs" placés sur les rampes.

3. PRINCIPAUX AVANTAGES DE CE SYSTEME

Les avantages de l'irrigation au goutte à goutte apparaissent dans les points suivants :

- a). l'économie d'eau
- b). l'économie de main-d'oeuvre
- c). une meilleure efficacité de la fertilisation
- d). meilleur comportement des végétaux
- e). autres avantages.

a). L'économie d'eau

L'eau d'irrigation arrive directement au bulbe, qui constitue en fait la zone du développement racinaire de la plante, ce qui réduit les risques d'évaporation de cette eau, limitée à la fraction réduite de sol superficiel qui est humidifié. Il y a donc par rapport aux autres systèmes une très nette réduction de l'évaporation.

De même, l'eau débouchant directement d'un tuyau d'amenée, on évite tout risque de ruissellement, qui entraînerait l'eau en dehors de la zone utile ou même de la parcelle, ce qui élimine tout risque d'érosion dans les terrains en pente, et tout risque de perte en bordure de parcelle.

Par ailleurs :

- l'apport limité de l'eau en doses faibles mais fréquentes permet de maintenir le sol à un état d'humidité inférieur à sa capacité de rétention et donc d'éviter la percolation, c'est à dire le départ en profondeur (sous les forces de pesanteur) des eaux mobiles ou gravifiques, cette infiltration étant d'ailleurs en général accompagnée d'un entraînement de certains éléments minéraux et fertilisants des plantes (lessivage)

- contrairement à l'irrigation par aspersion, l'irrigation au goutte à goutte est pratiquement insensible aux vents (ni entraînement de gouttelettes, ni évaporation)

- Au niveau du matériel d'irrigation, du fait que l'eau est amenée jusqu'à la plante dans des canalisations, ce système élimine tout risque d'infiltration, d'évaporation ou de fuites dans des canaux intermédiaires, c'est à dire qu'il a une efficacité maximum.

Nous l'avons nous mêmes constaté dans les expérimentations que nous avons réalisées à l'EIER et notamment cette année où sur une expérience de maraîchage nous avons noté une fructification avancée de 1 à 2 semaines sur le cornichon, la tomate et le melon par rapport au gravitaire.

e). Autres avantages

Automaticité : il est possible d'automatiser la distribution de l'eau dans ce type d'irrigation, éventuellement même de l'asservir à des mesures d'évaporation.

Possibilité de circulation sur les parcelles : l'irrigation se faisant à très faible débit et en des endroits précis, la circulation des tracteurs est possible très peu de temps, après l'irrigation, ou même pendant l'irrigation.

Microclimat moins humide au niveau du feuillage

(surtout en comparaison avec l'aspersion) ce qui évite le lessivage des produits de traitement, ce qui limite l'extension des maladies des plantes.

Irrigation sous plastique : ce système d'irrigation se prête bien aux cultures sous plastique.

Utilisation d'eaux légèrement salées

Le maintien d'un flux d'eau, lent mais continu pendant une assez longue période maintient le sel en solution et évite les concentrations au niveau des racines, en les repoussant à la périphérie du bulbe humide. On peut ensuite éliminer ces dépôts périphériques en procédant à des phases de lessivage par suralimentation, par périodes assez éloignées (2 à 3 ans).

Economie d'énergie, car le système fonctionne à basse pression

4. LIMITES DE LA METHODE

a). Qualité de l'eau

Dans ce système, l'eau doit passer à travers des orifices de très faible diamètre, inférieur ou égal à 1,2 mm (sauf dans le système Bas Rhône Languedoc) : les risques d'obstruction sont donc assez

- l'apport d'eau étant limité à la zone racinaire du végétal que l'on veut cultiver, il n'y a pas, ou très peu de consommation accessoire d'eau par d'autres plantes adventices : il y a réellement sélectivité de l'irrigation.

b). Economie de main d'oeuvre

- Etant donné que le matériel d'irrigation est fixe, il y a d'abord économie importante par rapport au travail de déplacement des installations, tel qu'il existe dans d'autres systèmes.

Même dans le cas exceptionnel où on voudrait néanmoins déplacer les rampes, celles-ci sont vraiment légères et faciles à déplacer.

- la mise en place d'un système de goutte à goutte ne demande pas un nivellement important et précis du sol, comme par exemple dans l'irrigation à la raie. Cependant les dénivellations trop importantes ne sont pas à conseiller sauf utilisation de goutteurs spéciaux, en raison de la faible pression utilisée, et donc des différences de charge entre les goutteurs d'une rampe.

c). Meilleure efficacité de la fertilisation

L'irrigation au goutte à goutte permet de localiser la fertilisation, soit que les éléments fertilisants d'apport soient incorporés par un système spécial à l'eau d'irrigation, donc arrivent eux aussi dans la zone racinaire, soit parce que l'absence presque complète de plantes adventices permet de limiter l'utilisation des éléments fertilisants du sol à la seule consommation des plantes cultivées.

En revanche il semble qu'il subsiste dans la zone du bulbe une possibilité de lessivage de l'azote du sol et en moindre proportion du potassium, ce qui serait lié à la concurrence de la microflore du sol bien développée en raison de l'état d'humidité permanente. En contrepartie l'assimilation de l'azote et du magnésium apportés serait meilleure avec le goutte à goutte qu'avec l'aspersion.

d). Meilleur comportement des végétaux

Il ressort des comptes rendus des expérimentations comparatives de quelques systèmes d'irrigation, que le goutte à goutte présenterait par rapport aux autres systèmes une accélération sensible dans le rythme de croissance de la plante et dans l'augmentation des rendements.

grands en raison, soit d'impuretés solides, entraînées par l'eau, soit de la floculation des substances colloïdales, soit du développement des bactéries ou des algues. Il est donc nécessaire de filtrer sérieusement l'eau avant de l'envoyer dans les canalisations.

Les filtres peuvent éliminer assez bien tous les éléments en suspension, mais des risques subsistent encore de par la composition chimique de l'eau et la présence de certains sels dissous, notamment le bicarbonate de calcium qui se dépose à la sortie des goutteurs. Ces dépôts sont évités lorsque la distribution se fait par un capillaire dont on enterre légèrement l'extrémité.

b). Température de l'eau

La température de l'eau à l'extrémité d'un tuyau de polyéthylène noir exposé au soleil et traversé par un débit assez faible peut atteindre facilement 50 à 70°C. Cette température peut influencer sur les débits des différents goutteurs (soit en plus, soit en moins, suivant le type du goutteur), mais surtout, les températures trop fortes sont à éviter pour les plantes. Cela peut être facilement obtenu en recouvrant les rampes d'une couche de terre.

c). Types de culture

Ce système d'irrigation s'applique très bien aux cultures maraîchères et aux vergers. Par contre il n'a pas encore été appliqué à des cultures de plein champ (canne à sucre, maïs, blé).

De plus ce système favorise quelque peu le développement des maladies du sol et des racines (fusariose, algues, nématodes).

5. DESCRIPTION D'UNE INSTALLATION

Elle peut être mise en place, soit après une installation de pompage, soit sur une distribution d'eau existante (même basse pression)

a). On trouve d'abord en tête de réseau :

- une vanne
- un filtre (soit autonettoyant, soit à couches alternées)
- un compteur
- éventuellement un injecteur d'engrais
- une vanne volumétrique, qui se ferme automatiquement dès que le volume que l'on a affiché s'est écoulé

- un manomètre de contrôle

Cet ensemble débite dans la conduite primaire, les conduites secondaires et enfin les rampes sur lesquelles sont fixés les goutteurs. Ces goutteurs ont un débit de 1 à 10 l/h.

Ces canalisations sont en règle générale en matière plastique (PVC ou polyéthylène noir).

Les canalisations primaires sont de diamètre variable

Les canalisations tertiaires sont souvent de tuyaux de polyéthylène noir de 16 à 20 mm de diamètre extérieur.

b). Les goutteurs

Il convient de s'arrêter un peu plus sur ces appareils au niveau desquels il existe une grande diversité de types :

a. Il y a des goutteurs à circuit long, à perte de charge par frottement, à travers lesquels l'eau suit un long conduit très fin qui peut être soit un capillaire (ou microtube), soit un filet de pas de vis.

- Les capillaires sont des tubes très fins de 0,5 à 1,1 mm de diamètre intérieur, dont on détermine la longueur pour ajuster le débit en fonction des variations de pression le long de la rampe. On les utilise à des pressions faibles, de 0,2 à 0,5 bar.

- Les capsules à pas de vis comportent une vis placée à l'intérieur d'un manchon, soit lisse, soit fileté.

Ces capsules sont plus sensibles aux variations de pression, et on n'installe pas de rampes de plus de 100 m, les pertes de charges entre origine et extrémité de la rampe pouvant alors entraîner des variations de débit de plus de 20 % entre le premier et dernier goutteur, (Exemples : NETAFIM).

b. Il existe aussi des goutteurs à circuit long, à pertes de charges par obstacles ou chicanes. Ces types de goutteurs sont un peu moins sensibles aux variations de pression, (exemple : SOTRADIES, LEGO.).

c. Certains goutteurs à circuit court, à pertes de charges par turbulence sont également utilisées, (ex : tubes souples CHAPIN)

Ce sont des systèmes utilisant des rampes perforées par des orifices très fins limitant des débits très faibles, ou des tubes souterrains où les orifices sont remplacés par des fentes longitudinales faites au rasoir.

d. A partir de ce dernier système, on peut envisager l'utilisation d'un tuyau poreux (ex : PORTUBE)

e. D'autres systèmes essaient de rendre le débit plus indépendant encore par rapport aux variations de pressions : ce sont des goutteurs à chambre de turbulence, ou à étranglement variable de la veine d'eau.

6. MISE EN OEUVRE DU SYSTEME D'IRRIGATION PAR GOUTTE A GOUTTE

a). Détermination de la dose d'arrosage et de la fréquence

Au début on se basait sur l'Evapo Transpiration Potentielle (E.T.P.), mais maintenant on tient compte de plus en plus de la mesure de l'eau évaporée par une surface d'eau libre pour déterminer la quantité à apporter (Evaporation - bac), en pratique l'irrigation est calculée sur la quantité d'eau évaporée pendant la journée précédente. Des installations automatiques peuvent utiliser soit des évaporomètres-pilotes, soit des tensiomètres.

La fréquence doit être assez élevée dans les sols à faible pouvoir de rétention de l'eau, mais l'irrigation ne doit pas être permanente. Les fréquences les plus utilisées sont : 1 fois par jour ou 1 fois tous les 2 jours.

b). Mise en place du matériel

Il est impossible de donner des règles générales pour les écartements des rampes ou des goutteurs, puisque cela dépend des cultures pratiquées, et de l'écartement des rangs entre eux et des pieds sur les rangs.

Une rampe peut desservir soit 1 rang seul, soit 2 rangs.

De même un goutteur peut alimenter une ou plusieurs plantes, ils doivent aboutir à une distance de la plante comprise entre 5 et 30 cm.

c). Prix de ces systèmes

Les prix varient suivant le matériel de tête installé et suivant le type de goutteur utilisé, et bien entendu avec la densité des rampes et des goutteurs.

Actuellement, en Afrique, il faut compter sur des investissements pour le polyéthylène et les goutteurs, de l'ordre de 600 000 F.CFA à 1.500.000 F.CFA à l'ha suivant le type de goutteur et la densité.

7. CONCLUSION

Compte tenu du prix des équipements, ce système paraît être actuellement limité aux cultures très rentables, (maraîchage, arboriculture) ou aux cas d'extrême rareté de l'eau.

L'intérêt principal du système réside dans l'économie de l'eau, ce qui peut être un facteur prépondérant dans certaines régions du Sahel par exemple, c'est pourquoi il convient de continuer les études et expérimentations sur ce sujet.

L'E.I.E.R., pour sa part, expérimente actuellement cette technique sur du maraîchage et la compare à l'irrigation traditionnelle à la raie. Le système de goutteurs employés est celui des capillaires de l'ordre de 1 mm de diamètre, afin d'éviter des risques d'obstruction trop importants.

RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES
CONCEPTION TECHNIQUE DU SOUS PROJET D'IFEROUANE
PAR LE BUREAU D'ETUDES GKW (ALLEMAGNE FEDERALE)

1. ENSEMBLE DES PROBLEMES DE L'HORTICULTURE A IFEROUANE.

Iférouane est l'agglomération la plus au nord de la République du Niger. La vie de l'agglomération, qui est située en climat hyperaride, est assurée par l'horticulture, rendue possible par les ressources en eau du massif de l'Aïr.

Iférouane est situé sur le fleuve (Kori) N'Ougourou qui recueille les faibles précipitations (moyenne sur de longues années env. 60 mm par an) dans une aire de drainage de 1.550 km² ayant en grande partie un caractère de hautes montagnes. Ces eaux se dirigent à travers les Koris Tangak et Iberkoum vers le N'Ougourou.

Les précipitations ne s'abattent dans l'aire de drainage jamais comme pluies permanentes mais toujours comme pluies fortes localisées de courte durée. Elles se rassemblent en peu de temps en crues torrentielles dans les montagnes exemptes de végétation, convoquent des dégâts considérables aux berges. Les crues se caractérisent par un accroissement de débit allant jusqu'à 200 m³/s en 30 minutes, quantité qui, au bout de 30-90 minutes, peut diminuer jusqu'à env. 25-35 % de Q_{max} pour tarir après 2 - 10 h.

Les vitesses d'écoulements peuvent atteindre une valeur allant jusqu'à deux mètres par seconde. On suppose que les crues maximales se situent près de 600 m³/s à la hauteur d'Iférouane. Pendant des années de sécheresse caractérisées notamment au cours des années 1970 - 1974, le niveau d'eau baissait dans les puits des jardins au pied du Kori de 10 m au-dessous du terrain jusqu'à 23 m. Il s'ensuivit la destruction de la végétation, une érosion plus intense au bord du Kori, l'abandon de nombreux jardins et l'exode de la population la plus jeune.

2. BUT DU SOUS-PROJET D'IFEROUANE.

Les mesures envisagées en matière d'hydraulique doivent permettre de régulariser partiellement les crues et de les diriger vers des plaines sableuses en amont des jardins si bien qu'une grande partie de l'eau s'infiltrerait ce qui détermine une augmentation du niveau de la nappe souterraine. Les dangers d'érosion dans la zone des jardins sont réduits et les jardins sont protégés contre l'érosion.

3. DESCRIPTION DU SOUS-PROJET D'IFEROUANE.

Les ouvrages suivants seront exécutés dans le cadre de ce sous-projet (cf. plan n° 11.1.2 et 1.3) :

- Ouvrages pour l'inondation systématique de surfaces d'infiltration.
- Déversoir et digue principale.
- Ouvrages de déviation (canal de fuite, ouvrages directeurs).

.../...

- Ouvrages de régularisation sur les surfaces d'infiltration.
- Seuil de fond au sein de la zone des jardins.
- Ouvrages de protection contre l'érosion.
 - Digue de protection en amont de la zone des jardins.
 - Défense de la zone des jardins (épis et revêtement de berge).
- Constructions complémentaires.
 - Campement à Iférouane et au Tangak
 - Atelier à Iférouane.
 - Puits pour le Campement, l'alimentation en eau des chantiers et jardins d'essai.
 - Puits d'absorption.
 - Construction de stations de mesure hydrométriques au Tangak, à Ibérkoum et au déversoir principal.

Les ouvrages sont décrits en détail ci-après.

3.1. Ouvrages pour l'inondation systématique de surfaces d'infiltration.

- Déversoir et digue principale.

Le déversoir principal est un seuil d'une longueur de 618 m auquel s'ajoute un barrage en terre. Il a été exécuté sur toute la largeur de la vallée en amont de la zone d'infiltration d'env. 50 ha qui, elle, se trouve en amont de la zone des jardins d'env. 45 ha.

Le déversoir est une combinaison de maçonnerie en pierres brutes de carrière, gabions et pierres en bloc. Il sert à la régularisation des crues.

Grâce à l'accumulation des eaux, celles-ci sont en partie dirigées vers la surface d'infiltration, le reste étant régulièrement réparti sur toute la largeur de la vallée.

Le déversoir est étagé de manière à ce qu'un écoulement minimum d'env. 3m³/s reste dans le lit fluvial en cas d'étiage, ceci représentant les meilleures conditions d'infiltration. La conception du déversoir garantit que l'écoulement des eaux moyennes s'effectue intégralement dans le lit fluvial ouest ; une quantité d'eau considérable peut donc être éventuellement évacuée par le canal.

En cas de crues moyennes, une quantité d'eau réduite est dirigée dans le bras de rivière 'est' afin de réduire la vitesse d'écoulement et d'assurer une meilleure infiltration grâce à une répartition régulière sur la largeur de la vallée. Le déversoir est conçu pour des quantités d'eau moyennes (crues normales) de 100 m³/s et pour des crues extrêmes (crues exceptionnelles) de 600 m³/s.

En aval, une protection contre l'affouillement d'une largeur approximative de 9 m est réalisée. Du côté de la rive droite, l'ouvrage rejoint la roche en place tandis qu'il s'harmonise avec le barrage principal en rive gauche. Le barrage principal construit en terre prolonge le déversoir en direction ouest et jusqu'aux terrasses hautes.

Ce barrage est interrompu par l'entrée du canal qui dessert la zone d'infiltration ; il comporte en outre, sur le flanc ouest de la vallée, un trop plein qui alimente les surfaces d'infiltration.

La partie du barrage parallèle au fleuve empêche l'affouillement du déversoir en cas de crues. Les barrages se composent de terre compactée sélectionnée et sont revêtus de pierres en bloc, de pavés ou de maçonnerie selon les érosions possibles.

La crête se trouve 40 cm au-dessus des crues exceptionnelles supposées. La pente des talus est de $1/2$ à l'amont et de $1/3$ à l'aval.

- Ouvrages de déviation.

En amont du déversoir, le canal de fuite se sépare du lit fluvial et débouche, par la digue principale, dans la zone d'infiltration. Grâce à un ouvrage directeur l'entrée est conçue de manière à ce qu'une quantité d'eau aussi importante que possible puisse être déviée même si le fleuve véhiculait une quantité d'eau moyenne. Cet ouvrage directeur est réalisé en maçonnerie, la fondation ayant une profondeur de 3 à 5 m pour prévenir l'affouillement. Grâce à la conception de l'entrée on obtient dans le canal une vitesse d'écoulement régulière et les dépôts sont évités.

Le canal est d'une largeur de 12 m et possède des talus consolidés par des pierres, en bloc et de la maçonnerie (pente $1/1$). Le fond n'est pas consolidé, il est seulement protégé par des gabions et des pavés à l'entrée. L'arrivée dans la zone d'infiltration est également consolidée par de la maçonnerie.

- Ouvrages de régularisation dans la zone d'infiltration.

Après le canal de déviation et d'évacuation des crues se trouve un bassin destiné à recevoir une partie des matières solides apportées par l'eau. Pour le reste de la surface d'infiltration, des barrages en enrochements ont été réalisés en travers des rigoles d'écoulement pour réduire la vitesse d'écoulement.

La digue de fermeture du bassin de sédimentation est réalisée par des hérissons qui, à l'est, se raccordent à la digue principale et à l'ouest aux terrasses. En raison de la nature du sous-sol qui est peu stable les barrages en enrochements dans la zone d'infiltration sont particulièrement sensibles aux tassements ; ces tassements doivent être compensés par des travaux d'entretien.

3.2. Seuil de fond en aval de la zone des jardins.

Cet ouvrage en maçonnerie en pierres brutes de carrière endigue le bras 'est' du lit principal en cas de basses eaux qui sont ainsi forcées de s'écouler le long de la zone des jardins. Ces eaux peuvent ainsi être utilisées pour l'enrichissement de la nappe souterraine. La sole de fondation se trouve 4 m au-dessous du lit fluvial.

3.3. Ouvrage de protection contre l'érosion.

- Digue de protection en amont de la zone des jardins.

L'inondation de la zone des jardins est empêchée par une digue de terre qui réalise une coupure avec la zone d'infiltration située en amont.

L'inclinaison du parement amont est de $1/2$, celle du parement aval étant de $1/3$. La clôture systématique de la zone des jardins et la plantation de haie protectrices préservent la digue des dangers résultant des pistes battues.

- Défense des berges de la zone des jardins par des épis et du revêtement.

La défense des berges du fleuve est assurée par un revêtement avec épis de garde. Ce revêtement a été réalisé par des hérissons en bloc tandis que les épis ont été réalisés en gabions. La limite du revêtement est défendue par de la maçonnerie.

4. EFFICACITE DES MESURES D'INFILTRATION.

En raison de la conception spéciale de l'ensemble du projet où l'étude et l'exécution des ouvrages ont dû être réalisées en parallèle, des mesures particulières ont été prévues pour le sous-projet d'Iférouane permettant de contrôler l'efficacité de l'ensemble de l'installation. La détermination quantitative du régime des eaux dans la zone des installations d'infiltration et des jardins est d'un intérêt particulier.

Afin de pouvoir faire un bilan des quantités d'eau s'écoulant dans cette zone, des limnigraphes enregistreurs ont été disposés en plusieurs points.

- A la hauteur du déversoir principal pour pouvoir enregistrer les quantités d'eau qui pénètrent dans la surface d'infiltration proprement dite (S 3 et échelle supplémentaire).

- A la hauteur de la zone des jardins pour pouvoir enregistrer les quantités d'eau de surface qui contournent ceux-ci sans être utilisées.

Les sections observées également par l'ORSTOM : S1, S2 (cf. ANNEXE 1.3) fournissent les informations de base.

La mesure des écoulements superficiels est complétée par les relevés des niveaux d'eau dans les puits et dans les zones marginales la détermination de la quantité d'eau infiltrée peut donc être effectuée avec une certaine précision.

VALLÉE D'IFEROUANE CROQUIS DE VUE D'ENSEMBLE (SITUATION 1950)

..... Ligne de partage des eaux

~~~~~ Terrain de jardinage

Zone arborée dense

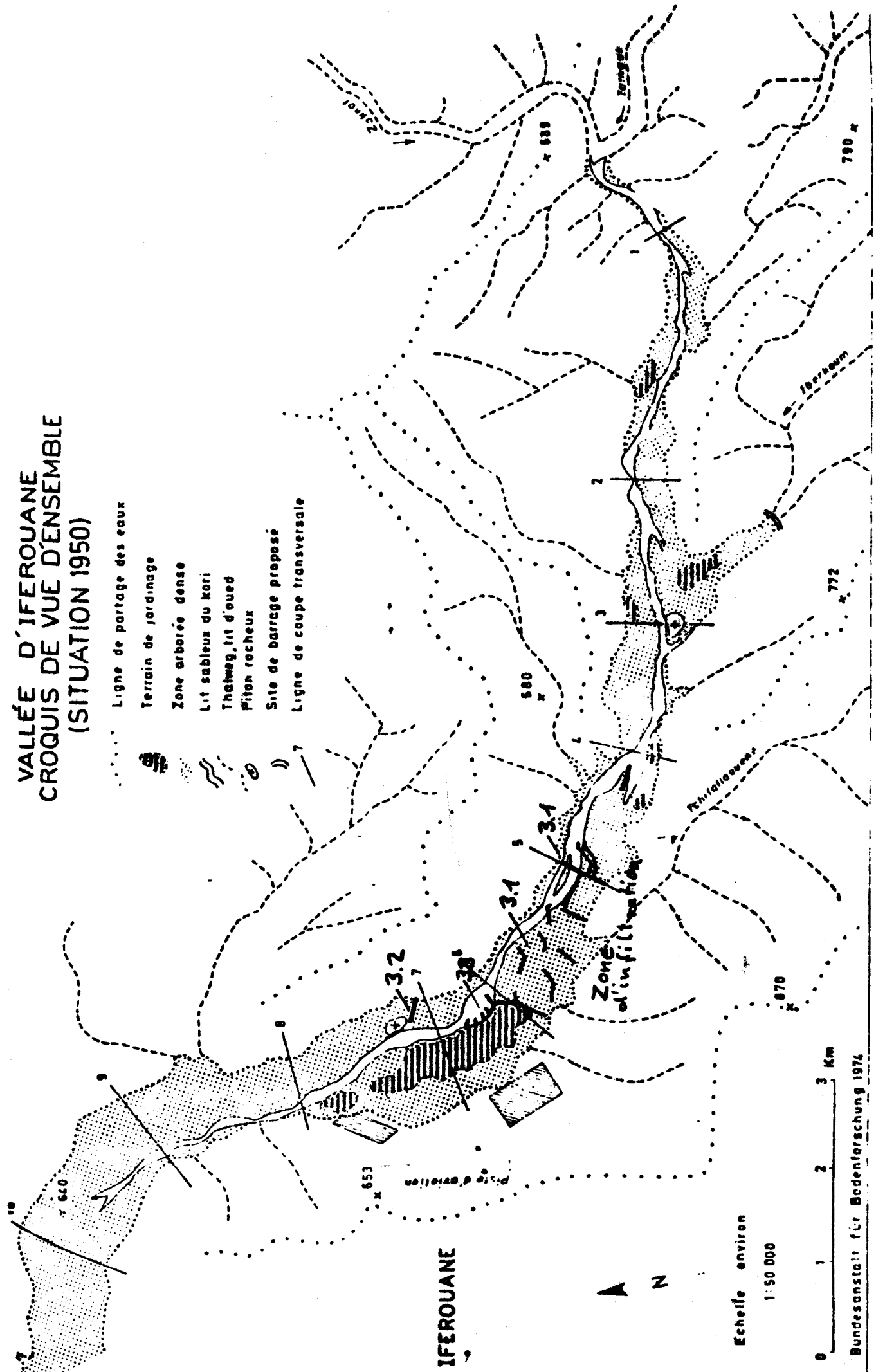
Lit sableux du kori

Thalweg, lit d'oued

Piton rocheux

Site de barrage proposé

— Ligne de coupe transversale



Echelle environ

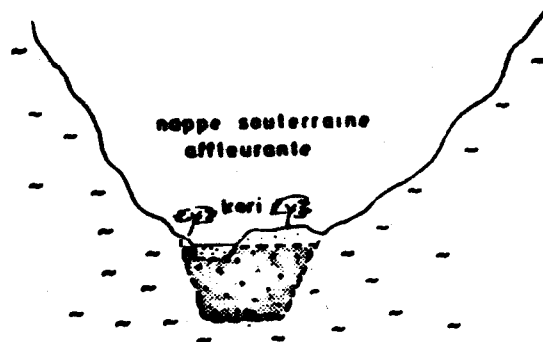
1:50 000

0 1 2 3 Km

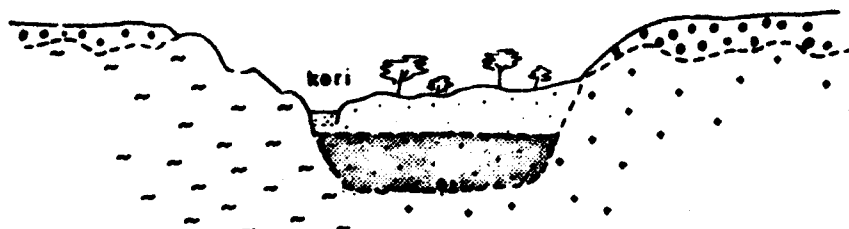
Bundesanstalt für Bodenforschung 1974

E

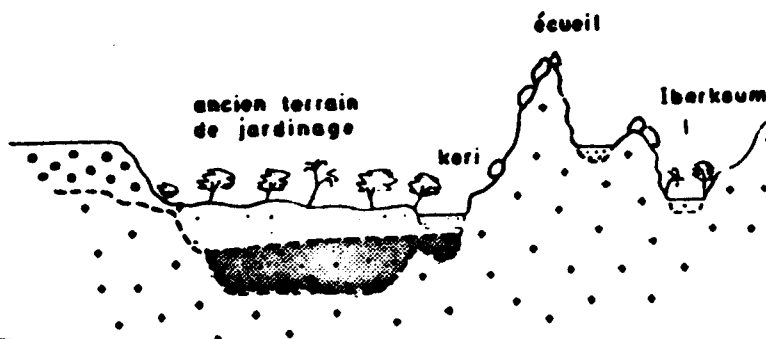
1



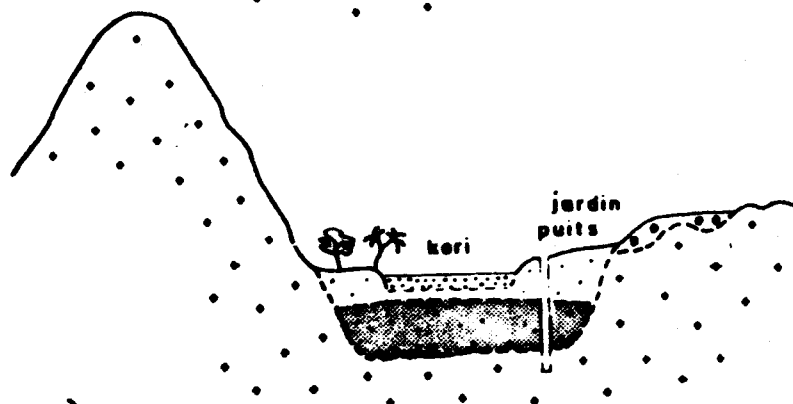
2



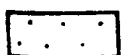
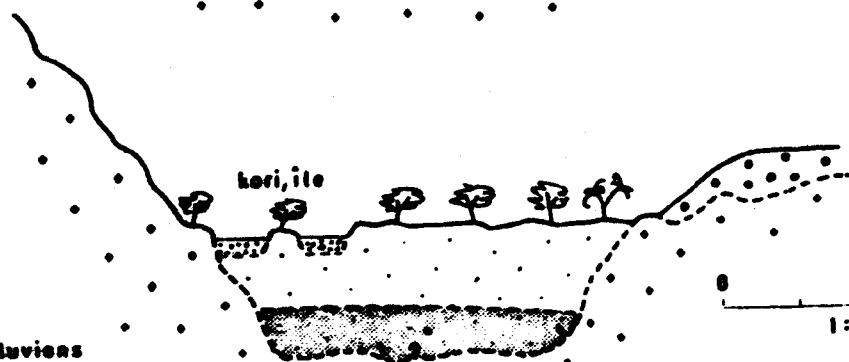
3



4



5



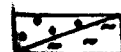
Alluvions



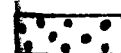
Nappe alluvienne  
(situation oct. 1974)



Lit du keri



Granit/Gneis, sous les  
alluvions aquifères



Depôts de terrasse

1:1 000

40

30

20

10

0 m

400 m

1:10 000

# VALLÉE D'IFEROUANE

## - Partie supérieure -

## Coupes transversales

E

0

6

puits, jardin

kori

7

terrain de jardinage

kori

IFEROUANE

kori principal

kori

écueil

arbres morts

piste

9

zone  
aux arbres morts

kori

1:1000

40

30

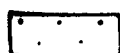
20

10

0 m

400

1:10 000



Alluvions

Nappe alluvionnaire  
(situation oct.1974)

Lit du kori

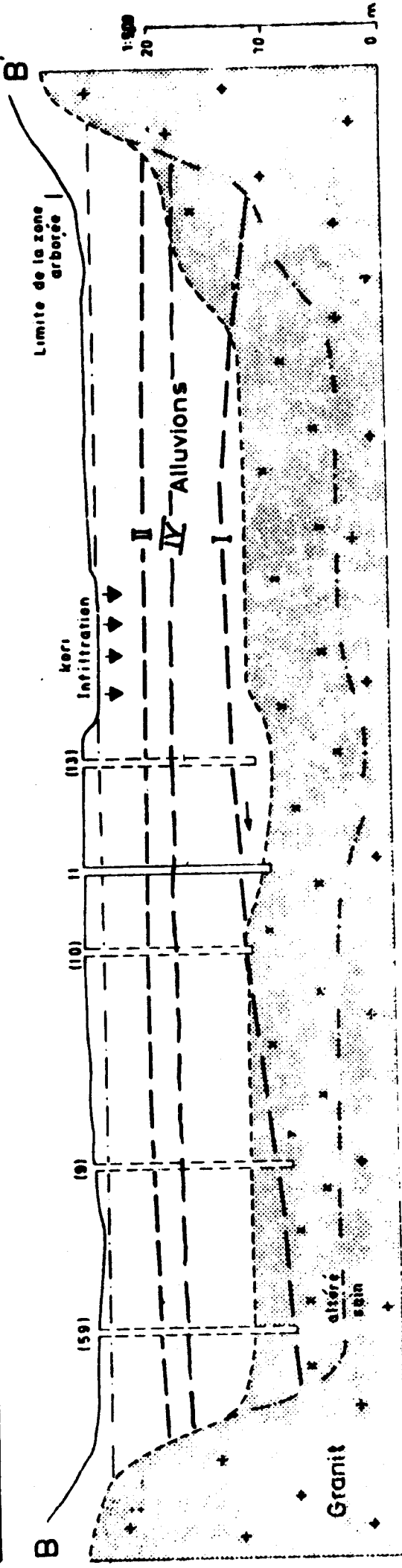
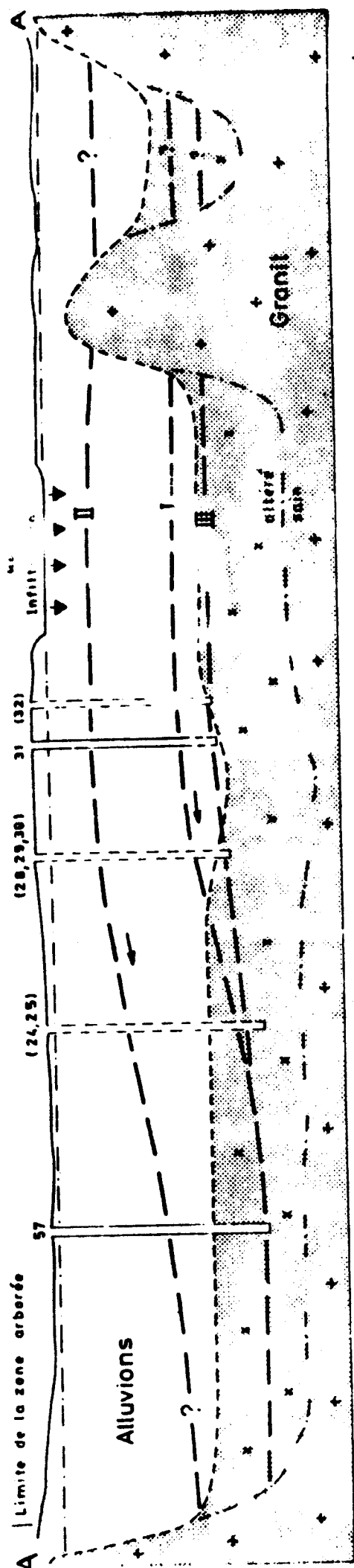
Granit/Gneis, sous les  
alluvions aquifères

Depots de terrasse

# VALLÉE D'IFEROUANE

## - Partie inférieure -

## Coupes transversales



Positions de la surface des eaux souterraines

I Début oct 1974 (fin hivernage)

II Position la plus haute connue

III Position la plus basse connue

→ Direction d'écoulement des eaux  
- numéros d'enregistrement des puits -

IV 1979

# NAPPE DE LA VALLEE D'IFEROUANE COUPES TRANSVERSALES

- SCHÉMA -  
Bundesanstalt für Bodenforschung  
1974



## IRRIGATION A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES AU TOGO

PAR DEH KOSSI INGENIEUR GEOPHYSICIEN

### INTRODUCTION

I. Il est universellement reconnu que l'eau est et peut-être utilisée dans différents cas et qu'elle affecte toutes les formes de vie sur Terre. Mais toute utilisation rationnelle doit tenir compte de la quantité et de la qualité de l'eau. Pour une exécution correcte des ouvrages d'irrigation à partir des eaux souterraines et l'installation d'un système d'irrigation sur la surface en question, il faut donc faire des études hydrogéologiques.

L'irrigation à partir des eaux souterraines peut se faire sur de petites surfaces déterminées comme c'est le cas chez les maraîchers de la région de Lomé qui utilisent la petite nappe des dunes côtières.

Nous pensons qu'on peut étendre cette pratique à tout le bassin sédimentaire du Sud-Togo, où les études hydrogéologiques révèlent la présence d'autres nappes.

### II. INVENTAIRE DES RESSOURCES HYDROGEOLOGIQUES DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER DU TOGO.

#### 1) Cadre géologique.

Les études géologiques, géophysiques et les campagnes de forage passées nous révèlent l'existence des formations suivantes :

- Quaternaire : Dunes littorales
  - Alluvions argileuses des vallées et des lagunes.
  - Sables, galets et argiles d'origine continentale (Continental Terminal).
- EOCENE-PALEOCENE : Marnes et argiles avec rares intercalations calcaires et sableuses (série de la Lama).
- CRETACE SUPERIEUR (Maestrichtien) : Complexe sableux à la base, argilo-marneux au sommet.
- PRECAMBRIEN (BENIN) : Granites et migmatites.

Sur les formations citées ci-dessus se trouve en général une couverture d'argile sableuse latéritique rougeâtre appelée "Terre de barre" ayant une épaisseur de quelques mètres.

Au vue du contexte géologique, les terrains susceptibles de contenir des nappes aquifères importantes sont donc les suivantes :

- les sables dunaires ;
- les sables et graviers du Continental Terminal ;
- les calcaires et sables de l'Eocène-Paleocène ;
- les sables du Maestrichtien.

.../...

## 2) Les différentes nappes aquifères :

### 2.1. La nappe des dunes

Les dunes récentes forment un cordon littoral peu épais entre les lagunes et l'Océan Atlantique. L'ensemble des sables dunaires contient une nappe d'eau très exploitée et qui flotte sur la nappe salée.

Les eaux de cette nappe, soumises à de fortes variations de salinité dans le sens vertical et non protégées des pollutions superficielles, ne sont généralement pas potables. Mais dans certains secteurs privilégiés comme celui s'étendant entre Agbodrafo et Gounkopé elle peut donner des débits importants. Elle est d'ailleurs exploitée dans le secteur par la Compagnie du Bénin.

### 2.2. La nappe du Continental Terminal.

Le Continental Terminal (CT) est transgressif sur les formations marines (Eocènes-Paléocène, Cretacé) qu'il recouvre en discordance. Les formations du Continental Terminal forment 4 plateaux : Kouvé-Tabligbo, Tsévié au Nord, Attitogon-Sévagan et Agouévé au Sud.

Le Continental Terminal est recouvert dans la zone côtière par les dunes, dans la zone des lagunes et dans les vallées par des alluvions récentes argileuses.

Les eaux de la nappe du CT ne sont douces qu'au Nord d'une ligne parallèle à la côte, à une distance d'environ 6-8 km.

### 2.3. Les nappes des calcaires Eocène-Paléocène

Les calcaires se subdivisent en deux niveaux distincts :

- Un niveau supérieur souvent phosphaté dans la série Eocène (17m environ d'épaisseur).
- Un niveau inférieur à la base de la série Paléocène (20m environ d'épaisseur).

L'aquifère le plus important est donc celui du niveau inférieur des calcaires.

La nappe des calcaires Eocène-Paléocène est exploitée par de nombreux forages au Togo (Zanguera, Akato-Avoeme, Noépé, Togble). Les débits sont généralement de l'ordre de 10 à 15m<sup>3</sup>/h.

### 2.4. La nappe des sables maestrichtiens.

Les sables maestrichtiens s'étendent en continuité du Mono à la frontière du Ghana. Ces sables se répartissent en plusieurs niveaux mais cela constitue un ensemble hydraulique unique. Au Nord du Bassin il y a une bande stérile s'étendant sur une épaisseur de 6 à 10 km. le long du contact cristallin-sédimentaire.

La bande sud de 3 à 5 km de large est caractérisée par l'abondance des faciès sableux. L'épaisseur des sables augmente du nord au sud et d'ouest en est.

.../...

Les forages d'exploitation de cette nappe donnent au Bénin et au Togo (Afagnagan) des débits compris entre 14m<sup>3</sup>/h et 50m<sup>3</sup>/h. Les ressources hydrauliques des sables maestrichtiens semblent diminuer du nord au sud.

### III. EVALUATION PRATIQUE DE LA QUALITE DES EAUX DES DIFFERENTES NAPPES EN VUE D'UN PROGRAMME D'IRRIGATION

#### 1) Qualité des eaux d'irrigation.

L'eau d'irrigation qu'elle provienne de rivière ou de sources ou qu'elle soit pompée dans les nappes, n'est jamais pure ; elle contient des sels dissous qui suivant leur concentration, peuvent affecter les sols et les cultures. Il importe donc d'adapter les pratiques agricoles à l'eau dont on dispose.

C'est dans cet optique que j'ai exploité l'analyse chimique des eaux des différentes nappes pour en faire une classification sur le plan irrigation. Nous faisons la classification pour le CT seulement.

#### 2) Critère de classification des eaux d'irrigation.

D'après la "Water Ressources of California" Bul 1, Sacramento 1951 ; les eaux d'irrigation peuvent être classées de la façon suivante.

| CLASSES                                                                                                            | $\frac{Na \times 100}{Na+K+Mg+Ca}$ | Solides dissous (mg/l) | Bore (mg/l) | Chlorures (mg/l) | Sulfates (mg/l) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|-------------|------------------|-----------------|
| <u>CLASSE 1</u>                                                                                                    |                                    |                        |             |                  |                 |
| Eaux excellentes : à bonnes convénances pour la majorité des plantes dans la plupart des cas.                      | 0 - 60                             | 0 - 700                | 0-0,5       | 0 - 177          | 0 - 960         |
| <u>CLASSE 2</u>                                                                                                    |                                    |                        |             |                  |                 |
| Eaux bonnes à médiocres, parfois pour quelques plantes dans certaines conditions de sol, de climat et de cultures. | 60 - 75                            | 700 - 2100             | 0,5-2       | 177-355          | 980-1920        |
| <u>CLASSE 3</u>                                                                                                    |                                    |                        |             |                  |                 |
| Eaux médiocres à inutilisables, ne convenant pas dans la plupart des cas.                                          | 75 et +                            | 2100 et +              | 2 et +      | 355 et +         | 1920 et +       |

.../...

NAPPE DU CONTINENTAL TERMINAL A LOME

|             |                                      |                   |             |            |
|-------------|--------------------------------------|-------------------|-------------|------------|
| : LOCALITES | : $\frac{Na \times 100}{Na+K+Mg+Ca}$ | : Solides dissous | : Chlorures | : Sulfates |
| :           | :                                    | : mg/l            | :           | :          |

- 89 -

08761

**SYSTEME DE CULTURES IRRIGUEES  
A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES**

Par

TRAN MINH DUC . CHRA de Bamboey

Ingénieur de Recherches IRAT mis à la disposition de l'ISRA

**I - INTRODUCTION**

Au Sénégal, l'eau d'irrigation d'origine souterraine est relativement peu abondante et coûteuse. En effet, sans compter les aquifères encore inconnus ou mal connus, les disponibilités totales des eaux souterraines, évaluées par la Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural selon des critères bien définis (réalimentation annuelle, qualité, profondeur et débit "économiques...." sont de l'ordre de 700 millions de m<sup>3</sup> par an. Une partie de ces ressources est réservée en priorité à l'alimentation en eau des grandes villes et des villages. La part qui revient à l'agriculture permettrait d'irriguer approximativement 270 000 hectares de cultures de saison de pluie (irrigation d'appoint) ou 35 000 hectares de cultures de saison sèche (irrigation totale durant tout le cycle).

Le prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau souterraine livré au champ varie bien entendu avec le type de l'ouvrage de captage, le mode d'exhaure, le débit et la hauteur de pompage, le transport et la distribution de l'eau à la parcelle. D'une manière générale, on peut estimer que le m<sup>3</sup> d'eau revient entre 20 F\* et 60 F, ce qui est très élevé car les dépenses en irrigation d'un hectare de culture de saison sèche coûtent entre 200 000 F et 600 000 F.

Face à ces deux contraintes, pour développer les cultures irriguées et augmenter la superficie irrigable, la Recherche Agronomique mène depuis 6 ans, les actions de recherche suivantes :

- mise au point d'un système de production techniquement fiable et capable de rentabiliser l'irrigation
- évaluation des besoins optima en eau des cultures irriguées, courbes de réponse à l'eau et rationnement.
- étude des techniques d'irrigation permettant une économie en eau : aspersion, micro-irrigation (goutte à goutte), irrigation par pulsation.
- recherche des espèces, variétés et techniques culturales hautement productives et adaptées à l'irrigation
- utilisation agricole des eaux sodiques et saumâtres.

Cette communication concerne uniquement le système de cultures irriguées et fait le bilan des résultats obtenus en cinq années d'expérimentation à la Ferme Expérimentale des Cultures Irriguées.

**II - DESCRIPTION DE LA FERME EXPERIMENTALE (fig. 1) est destinée**

La Ferme Expérimentale installée en 1973/à étudier la fiabilité technique et la rentabilité économique d'un système de production basé sur l'irrigation, sur sol sableux, des cultures avec l'eau calcaire de la nappe du Lutétien (Eocène). La Ferme Expérimentale se compose en réalité de 2 fermes modèles de 3,2 hectares nets chacune,

\* - Ces coûts sont estimés en francs CFA (100 F CFA correspond à 2 francs français).

Nous remarquons que les eaux de la nappe du CT à Lomé appartiennent à la classe 2 : C'est-à-dire quelles sont nocives pour quelques plantes dans certaines conditions de sol, de climat et de culture. Mais si nous allons au Nord de la ville nous voyons que les eaux deviennent meilleures et quelles conviennent à la majorité des plantes dans la plupart des cas. Elles appartiennent à la classe 1.

A Tabligbo et aux alentours, l'eau est d'une excellente qualité et convient donc à la majorité des plantes (Classe 1). En remarque générale, nous pouvons dire que le pourcentage de Na et la quantité des solides dissous diminuent du Sud vers le Nord.

Nous pensons aussi que l'eau des sables dunaires appartiennent sans doute à la Classe 3. Ainsi, cette eau n'est utilisable pour l'irrigation que dans certains cas précis.

Pour que cette évaluation pratique des eaux d'irrigation soit complète, il faudra aussi tenir compte d'autres facteurs comme le SAR et le pH.

Le SAR (sodium Absorptio Ratio ou taux d'absorption du sodium) se calcul à partir de la formule suivante :

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}}{\frac{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}}{2}}$$

où Na, Ca et Mg correspondent respectivement aux teneurs en sodium, calcium et magnésium exprimées en meq/l. D'autres classifications existent comme celle des tolérances des cultures au sel.

### CONCLUSION

Nous avons fait la classification pour l'eau du Continental Terminal parce que cette nappe est la plus connue et la plus exploitée dans le Bassin Sédimentaire Côtier du Togo. Elle se prête mieux à un projet d'irrigation. Mais nous pensons que pour établir un plan d'irrigation de grande envergure, il est nécessaire de faire d'autres études complémentaires : études pédologiques par exemple. La présente note ne sert donc que de prélude à des études futures.

## SYSTEME DE CULTURES IRRIGUEES A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES

Par

TRAN MINH DUC . CHRA de Banboey

Ingénieur de Recherches IRAT mis à la disposition de l'ISRA

### I - INTRODUCTION

Au Sénégal, l'eau d'irrigation d'origine souterraine est relativement peu abondante et coûteuse. En effet, sans compter les aquifères encore inconnus ou mal connus, les disponibilités totales des eaux souterraines, évaluées par la Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural selon des critères bien définis (réalimentation annuelle, qualité, profondeur et débit "économiques..." sont de l'ordre de 700 millions de m<sup>3</sup> par an. Une partie de ces ressources est réservée en priorité à l'alimentation en eau des grandes villes et des villages. La part qui revient à l'agriculture permettrait d'irriguer approximativement 270 000 hectares de cultures de saison de pluie (irrigation d'appoint) ou 35 000 hectares de cultures de saison sèche (irrigation totale durant tout le cycle).

Le prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau souterraine livré au champ varie bien entendu avec le type de l'ouvrage de captage, le mode d'exhaure, le débit et la hauteur de pompage, le transport et la distribution de l'eau à la parcelle. D'une manière générale, on peut estimer que le m<sup>3</sup> d'eau revient entre 20 F et 60 F, ce qui est très élevé car les dépenses en irrigation d'un hectare de culture de saison sèche coûtent entre 200 000 F et 600 000 F.

Face à ces deux contraintes, pour développer les cultures irriguées et augmenter la superficie irrigable, la Recherche Agronomique mène depuis 6 ans, les actions de recherche suivantes :

- mise au point d'un système de production techniquement fiable et capable de rentabiliser l'irrigation

- évaluation des besoins optima en eau des cultures irriguées, courbes de réponse à l'eau et rationnement.

- étude des techniques d'irrigation permettant une économie en eau : aspersion, micro-irrigation (goutte à goutte), irrigation par pulsation.

- recherche des espèces, variétés et techniques culturales hautement productives et adaptées à l'irrigation

- utilisation agricole des eaux sodiques et saumâtres.

Cette communication concerne uniquement le système de cultures irriguées et fait le bilan des résultats obtenus en cinq années d'expérimentation à la Ferme Expérimentale des Cultures Irriguées.

### II - DESCRIPTION DE LA FERME EXPERIMENTALE (fig. 1) est destinée

La Ferme Expérimentale installée en 1973/à étudier la fiabilité technique et la rentabilité économique d'un système de production basé sur l'irrigation, sur sol sableux, des cultures avec l'eau calcaire de la nappe du Lutétien (Eocène). La Ferme Expérimentale se compose en réalité de 2 fermes modèles de 3,2 hectares nets chacune,

\* - Ces coûts sont estimés en francs CFA (100 F CFA correspond à 2 francs français).

../..

irriguées par un même réseau d'aspersion moyenne pression avec un maillage de 18 m x 12 m. Les 2 fermes sont exploitées par 7 personnes actives et les travaux culturels sont effectués par une paire de boeufs. Les sous produits de récolte et les fourrages irrigués permettent d'engraisser 5 boeufs d'embouche ; ceux-ci fournissent ensuite du fumier nécessaire aux cultures légumières. Chaque exploitation est subdivisée en 4 soles égales de 0,8 ha. Les bâtiments de ferme, le verger, les cultures fourragères pérennes, la pépinière occupent la 1ère sole. (fig. 1). Les 3 autres soles reçoivent les cultures suivantes :

- Sole II : Mil souma, Patate douce, Mil fourrager en hivernage, Jachère nue en saison sèche
- Sole III : Combo, Piment, Aubergine, Diakhatou en hivernage, Jachère nue en saison sèche.
- Sole IV : 3 variétés (précoces, semi précoc, tardive) d'arachide en hivernage  
3 dates de mise en place de légumes en saison sèche.

L'eau d'irrigation, de qualité acceptable (classe C351 selon les normes américaines) provient d'un forage de 49 m de profondeur, tubé en 12 pouces. Une électropompe immergée tire l'eau à 19 m et remplit un bassin d'irrigation avec un débit de 50 m<sup>3</sup>/H. une électropompe de reprise de 25 m<sup>3</sup>/H et 55m HMT envoie l'eau du bassin dans un réseau semi-mobile (primaire fixe; secondaire, rampes et asperseurs déplaçables) d'asperseur Rain-bird 70 ETNT. Un groupe électrogène central de 62 CH fournit l'électricité aux groupes de pompage.

### III - RESULTATS TECHNIQUES

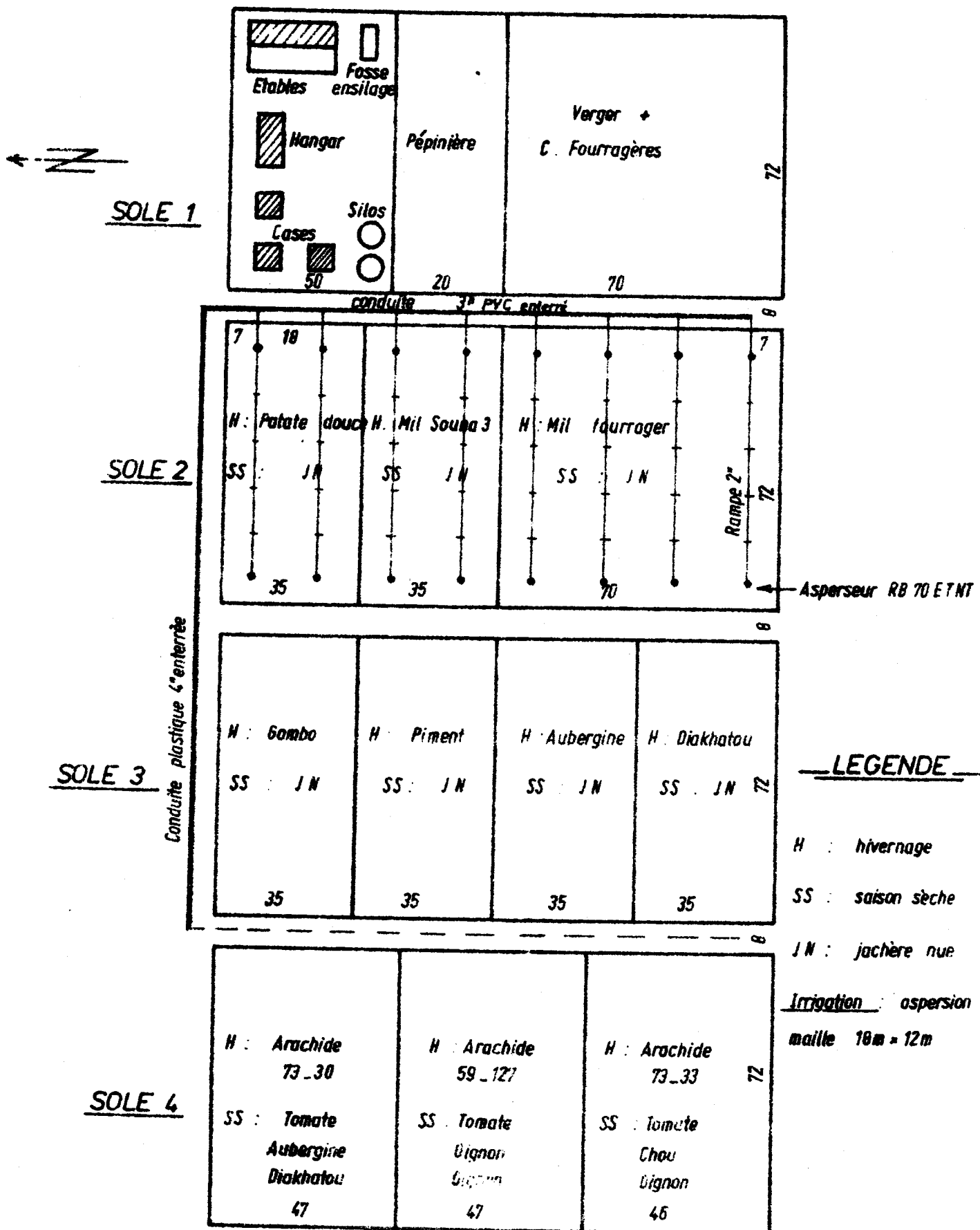
#### - Irrigation

Le groupe électrogène fonctionne en moyenne 2500 heures par an, sans problème. Il consomme à l'heure 0,15 à 0,18 litre de gasoil par ch ; 0,2451 d'huile et 0,031 g de graisse. L'irrigation par aspersion se pratique de nuit, l'irrigateur, muni d'une lampe torche, surveille le pompage et déplace les asperseurs sur la rampe. Toute la ferme qui comprend 2,4 ha de cultures d'hivernage, 0,8 ha de cultures de saison sèche et 0,6 ha de cultures pérennes et brise-vent, consomme en moyenne 22.000 m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation par an. La consommation en eau d'irrigation (besoins + pertes) varie entre 80 mm et 300 mm pour une culture d'hivernage (pluviométrie 431 mm en 31 jours), 1350 mm pour une culture de saison sèche.

#### - Rotation culturale

Les résultats obtenus en 5 ans montrent l'intérêt de la culture et de la jachère nue dans la succession culturale. L'arachide est un excellent précédent pour les légumes car elle réduit l'infestation du sol par les nématodes et par ailleurs, enrichit le sol en azote. La jachère nue combinée avec l'emploi des engrais acides permet de contrôler le pH du sol dont l'élévation est provoquée par l'irrigation intensive avec l'eau calcaire. Par ailleurs, l'extension des cultures de saison sèche est incompatible avec la disponibilité en main d'oeuvre et en eau.

Fig.1 : FERME IRRIGUEE - SCHEMA DU MODELE FINAL





### - Choix des espèces et variétés culturales

Comme céréale, le mil Souma 3 est le mieux adapté au sol sableux. Toutefois, son potentiel de production reste limité (2,5 T/ha) et de plus, sa culture en irrigation pose des problèmes de défense contre les oiseaux et les insectes actuellement non résolus (parcelles isolées, culture décyclée). La patate douce, par contre avec un cycle de 4 mois et un potentiel de production élevé (20 T/ha en hivernage, 60 T/ha en saison sèche) pourra suppléer avantageusement le mil, sans compter son intérêt dans la lutte contre les nématodes. Le cotonnier prévu initialement sur la sole 3, peu rentable et qui demande cependant beaucoup de travail (traitements phytosanitaires, récolte) est remplacé par les légumes locaux d'hivernage plus profitables. De plus, leurs récoltes peuvent être planifiées en fonction des périodes creuses d'hivernage.

Les légumes de saison sèche sont choisis pour l'autoconsommation et la satisfaction des marchés intérieurs. Il s'agit de la tomate ROSSOL VNF, de l'aubergine INDIENNE, du diakhatou SONKORONG, du chou ACRE D'OR, de l'oignon IRAT 1 et TEXAS EARLY GRAND. Leur mise en place a lieu à 3 dates en fonction de leur adaptation climatique.

Début Octobre : Tomate, aubergine, diakhatou  
 Début Novembre : Tomate, chou, oignon  
 Début Décembre : Tomate, oignon, oignon.

### - Techniques culturales

Pour les cultures d'hivernage, les techniques habituelles des cultures pluviales sont adoptées à l'exception de la fumure qui a été calculée en fonction de l'exportation minérale plus importante en condition irriguée.

Pour les cultures de saison sèche, on observe que la production de tomate est plus élevée avec la mise en place précoce :

|                               |                   |                          |              |   |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------|---|
| - plantation début octobre :  | rendements tomate | 55.105 kg/ha (Moy. Sona) |              |   |
| - plantation début novembre : | "                 | "                        | 33.395 kg/ha | " |
| - plantation début décembre : | "                 | "                        | 23.662 kg/ha | " |

Pour l'oignon, on observe peu de différence entre le semis direct et le repiquage :

|                            | <u>Repiquage</u> | <u>Semis direct</u> |
|----------------------------|------------------|---------------------|
| Oignon IRAT 1 (violet)     | 37 465 kg/ha     | 35.639 kg/ha        |
| Oignon TEXAS GRAND (blanc) | 45 800 kg/ha     | 43.327 kg/ha        |

Il faut noter que l'oignon violet IRAT 1 est plus apprécié, se vend plus cher (80 F contre 40 F le kg) et se conserve mieux que la variété TEXAS GRAND.

### - Rendements agricoles

Les rendements des cultures irriguées sont en général assez stables, à l'exception de celui de la tomate qui est soumis à une maladie encore peu connue, la "Tomato Yellow leaf curl". Les rendements moyens obtenus en 5 ans sont les suivants :

../..

| Cultures d'hivernage    | Rendements<br>kg/ha | Cultures de saison<br>sèche | Rendements<br>kg/ha |
|-------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| Mil Souma 3             | 2 091               | Tomate ROSSOL VNF           | 38.552              |
| Arachide 55-437 (90 j)  | 1 698               | Aubergine INDIENNE          | 74.830              |
| Arachide 57-422 (105 j) | 2 418               | Diakhatou SONKORONG         | 39.493              |
| Arachide 59-127 (120 j) | 2 558               | Chou ACRE D'OR              | 33.365              |
| Coton BJA SM 67         | 2 718               | Oignon IRAT 1               | 37.465              |
| Gombo POP 12            | 7 526               | Oignon TEXAS GRAND          | 45.058              |
| Piment TP 20451         | 1 936               |                             |                     |
| Aubergine INDIENNE      | 20 599              |                             |                     |
| Diakhatou SONKORONG     | 9 142               |                             |                     |

On notera les productions très élevées d'aubergine et d'oignon de saison sèche qui réussissent plus facilement que les autres cultures.

#### - Élevage

La ferme produit chaque année 5 T de paille de mil et 3 T de fanes d'arachide en plus des fourrages irrigués : Pennisetum purpureum, Panicum maximum, mil sanio et niébé 58-74

L'élevage d'embouche bovine par lots de 4 à 8 boeufs pendant 3 mois réalisé avec les sous produits de la Ferme uniquement, permet un gain journalier de 140 g à 270 g seulement. Si l'on incorpore à la ration alimentaire des concentrés dont certains sont achetés à l'extérieur, le gain de poids atteint 800 g/jour.

#### IV - RESULTATS ECONOMIQUES

Dans ce qui suit, les divers calculs économiques sont basés sur les résultats moyens de 5 années d'une part et sur une ferme de 4 hectares (conforme au projet de développement) exploités par 4 personnes actives, d'autre part.

##### - Coût de l'eau d'irrigation

L'équipement de la ferme (forage, bassin, pompes, réseau...) revient à 600 000 F CFA l'hectare en 1978 soit environ 720 000 F au prix actuel. C'est l'équipement le moins cher car l'hectare équipé revient entre 1 500 000 F et 2 000 000 F pour l'irrigation gravitaire et entre 1 500 000 F et 3 500 000 F pour la micro-irrigation (goutte à goutte).

Le coût de l'eau d'irrigation livré à la parcelle revient à 23,53 F le m<sup>3</sup> en 1978, dans l'hypothèse du gasoil détaxé et du taux d'intérêt de 0 %. Sur ce coût, l'amortissement du matériel représente 32 %, le carburant 41,6 % et l'entretien-surveillance 26, 4 %.

Les dépenses en irrigation reviennent à 133 416 F pour les 3 hectares de cultures d'hivernage, 322 344 F pour l'hectare de cultures de saison sèche et 209 784 F pour 0,7 ha de cultures pérennes soit une dépense totale de 665.544 F l'année.

- Compte d'exploitation (cf. tableau 1)

Dans le compte d'exploitation, les dépenses annuelles qui comprennent les charges fixes (amortissement des machines agricoles, petites constructions, petit matériel, vergers) de 77 002 F, les charges variables (semence, produits phytosanitaires, engrais, battage récolte, achat des boeufs d'embauche, divers) de 711 092 F et les dépenses en irrigation de 665.544 F soit une totalité de 1 453.638 F. On notera l'importance des dépenses en irrigation par rapport aux autres postes.

Les revenus bruts d'un montant de 3.079.392 F se décomposent en produits de vente des récoltes d'hivernage de 879.297 F, des récoltes de saison sèche de 1 721 470 F et produit de vente des boeufs de 478.625 F. On notera l'intérêt économique des cultures légumières dont les prix de vente unitaires correspondent en moyenne à 95 % des prix pratiqués au marché de Bambey. A ces revenus, il conviendrait d'ajouter la vente des fruits provenant du verger et des brise vent que l'Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes (IRFA) chiffre à 500 000 F l'hectare en période de Production.

Dans les conditions économiques actuelles et en milieu expérimental, la ferme de 4 hectares permet un revenu net de 1 625.754 F soit 406.438 F par actif et par an. En tenant compte de la vente des fruits réalisable 4 ans environ après la plantation, le revenu net de la ferme atteint 1 972 000 F soit 493.000 F par personne active. Ce dernier chiffre correspond à 14 fois le revenu net obtenu par un paysan qui pratique les cultures pluviales. Il convient toutefois de noter qu'en milieu paysan, les conditions seront moins favorables (rendements plus bas, prix de vente des légumes plus faibles...).

- Rentabilité des cultures irriguées (cf tableau 2 et fig. 2)

A partir des données culturales et financières réelles de la Ferme Expérimentale, on a essayé de chiffrer l'intérêt de diverses cultures irriguées des points de vue :

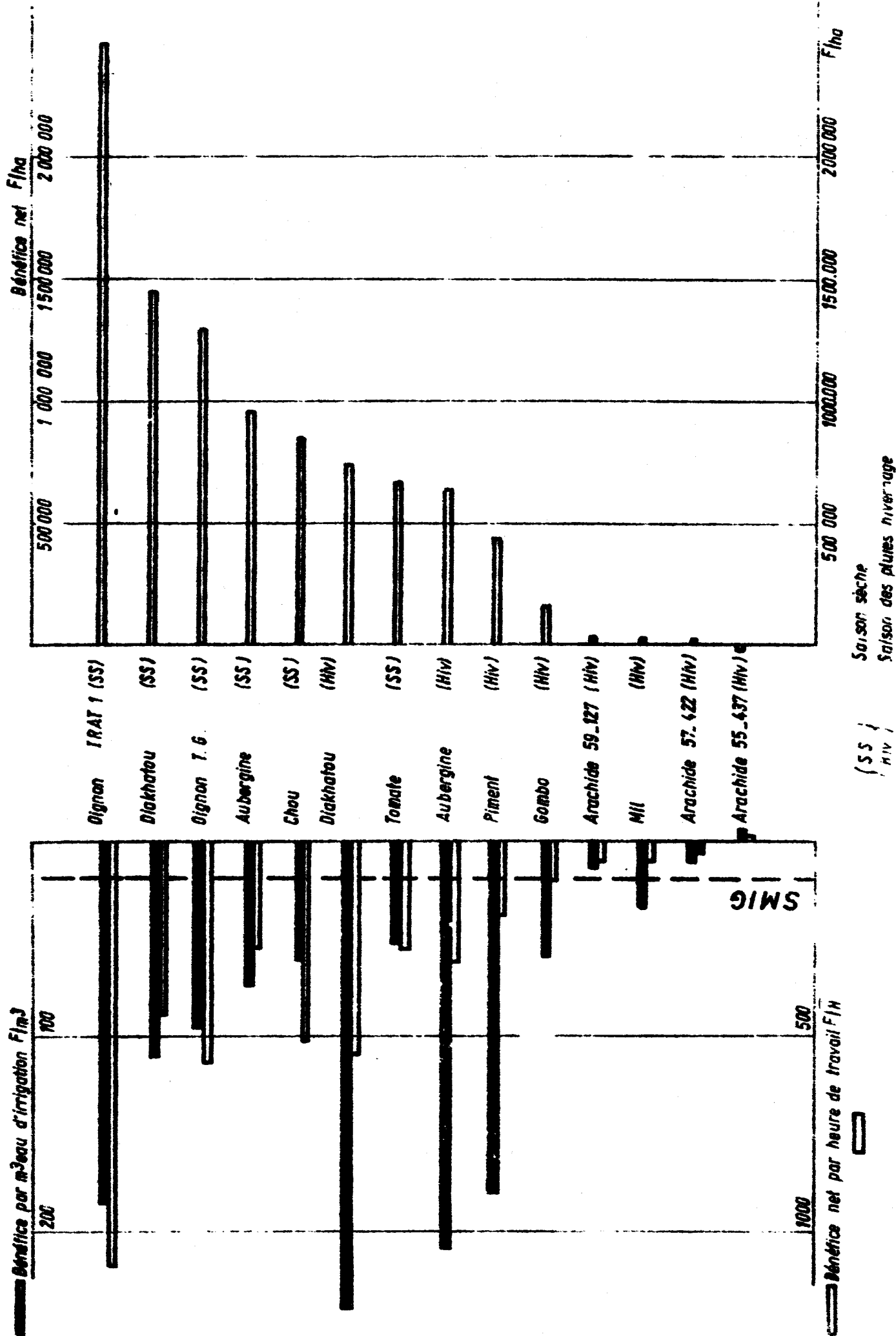
- rentabilité économique de la culture
- valorisation des ressources en eau d'irrigation
- valorisation de la main d'oeuvre

Les résultats obtenus montrent que, dans les conditions de Bambey

- les légumes de saison sèche sont les plus rentables, suivis des légumes d'hivernage
- l'irrigation d'appoint de l'arachide 90 jours entraîne des pertes financières
- tous les légumes d'hivernage et l'oignon IRAT 1 de saison sèche valorisent bien l'irrigation
- tous les légumes d'hivernage et de saison sèche valorisent bien l'heure de travail et permettent des revenus supérieurs au S.M.I.G.

En se basant sur les 3 critères précités, l'oignon IRAT 1 est certainement la culture la plus intéressante en irrigué.

Fig. 2 RENTABILITE DES CULTURES IRRIGUEES



Les dépenses en irrigation reviennent à 133 416 F pour les 3 hectares de cultures d'hivernage, 322 344 F pour l'hectare de cultures de saison sèche et 209 784 F pour 0,7 ha de cultures pérennes soit une dépense totale de 665.544 F l'année.

- Compte d'exploitation (cf. tableau 1)

Dans le compte d'exploitation, les dépenses annuelles qui comprennent les charges fixes (amortissement des machines agricoles, petites constructions, petit matériel, vergers) de 77 002 F, les charges variables (semence, produits phytosanitaires, engrais, battage récolte, achat des boeufs d'embauche, divers) de 711 092 F et les dépenses en irrigation de 665.544 F soit une totalité de 1 453.638 F. On notera l'importance des dépenses en irrigation par rapport aux autres postes.

Les revenus bruts d'un montant de 3.079.392 F se décomposent en produits de vente des récoltes d'hivernage de 879.297 F, des récoltes de saison sèche de 1 721 470 F et produit de vente des boeufs de 478.625 F. On notera l'intérêt économique des cultures légumières dont les prix de vente unitaires correspondent en moyenne à 95 % des prix pratiqués au marché de Bambeý. A ces revenus, il conviendrait d'ajouter la vente des fruits provenant du verger et des bris de vent que l'Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes (IRFA) chiffre à 500 000 F l'hectare en période de production.

Dans les conditions économiques actuelles et en milieu expérimental, la ferme de 4 hectares permet un revenu net de 1 625.754 F soit 406.438 F par actif et par an. En tenant compte de la vente des fruits réalisable 4 ans environ après la plantation, le revenu net de la ferme atteint 1 972 000 F soit 493.000 F par personne active. Ce dernier chiffre correspond à 14 fois le revenu net obtenu par un paysan qui pratique les cultures pluviales. Il convient toutefois de noter qu'en milieu paysan, les conditions seront moins favorables (rendements plus bas, prix de vente des légumes plus faibles...).

- Rentabilité des cultures irriguées (cf tableau 2 et fig. 2)

A partir des données culturales et financières réelles de la Ferme Expérimentale, on a essayé de chiffrer l'intérêt de diverses cultures irriguées des points de vue :

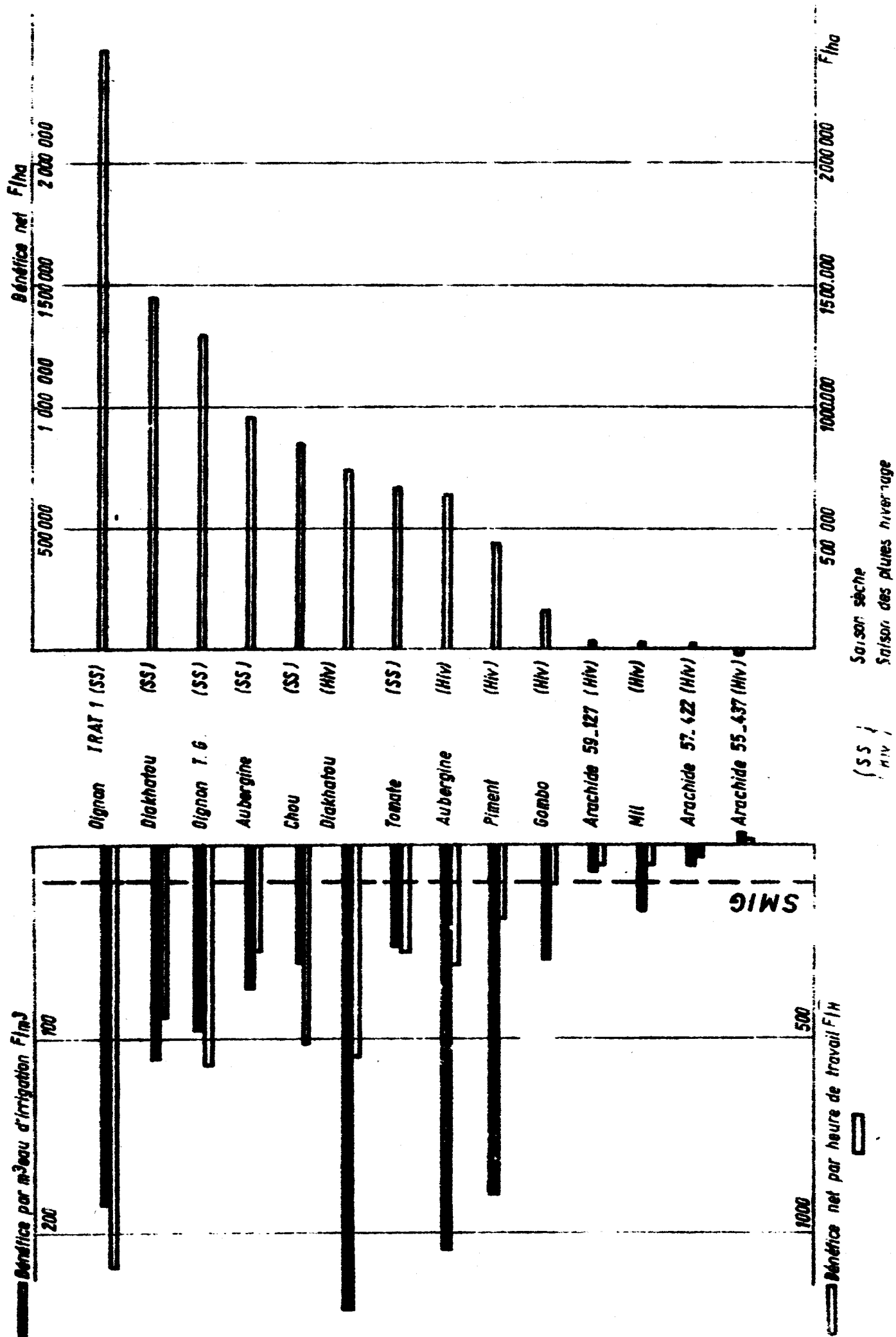
- rentabilité économique de la culture
- valorisation des ressources en eau d'irrigation
- valorisation de la main d'oeuvre

Les résultats obtenus montrent que, dans les conditions de Bambeý

- les légumes de saison sèche sont les plus rentables, suivis des légumes d'hivernage
- l'irrigation d'appoint de l'arachide 90 jours entraîne des pertes financières
- tous les légumes d'hivernage et l'oignon IRAT 1 de saison sèche valorisent bien l'irrigation
- tous les légumes d'hivernage et de saison sèche valorisent bien l'heure de travail et permettent des revenus supérieurs au S.M.I.G.

En se basant sur les 3 critères précités, l'oignon IRAT 1 est certainement la culture la plus intéressante en irrigué.

Fig. 2 RENTABILITE DES CULTURES IRRIGUEES



## V - CONCLUSION

La Ferme Expérimentale des cultures irriguées a permis de mettre au point les techniques de réalisation d'un système de production agricole en irrigué : les choix de rotations, d'espèces et de variétés culturales sont définis et les techniques culturales déterminées, pour assurer des rendements culturaux corrects tant en hivernage qu'en saison sèche.

Elle a également montré que, malgré un équipement coûteux et des dépenses élevées en irrigation, le système de production proposé est viable économiquement et peut permettre des revenus nets par personne active de 493 000 F par an soit nettement supérieurs au salaire minimum interprofessionnel de croissance (S.M.I.C.), ce qui est rare en agriculture.

Au point de vue des spéculations agricoles, la Ferme Expérimentale a montré le grand intérêt de cultiver les légumes en saison sèche en particulier l'oignon IRAT 1 et les légumes locaux (aubergine, diakhatou, gombo, piment) en hivernage.

La Ferme Expérimentale ne constitue qu'un des nombreux systèmes de cultures irriguées qu'on peut concevoir en fonction des conditions écologiques et hydrogéologiques très diverses de la zone Centre-Nord Sénégal. Et, malgré sa rentabilité élevée, ce n'est certainement pas le meilleur système au point de vue social à cause de sa grande consommation en eau. Cependant, les nombreuses données analytiques obtenues (niveau de production de différentes cultures, besoins en eau, temps et calendrier des travaux, rentabilité de chaque culture...) servent de bases aux projeteurs pour modéliser des systèmes de production en fonction des conditions écologiques, socioéconomiques locales et de l'option politique choisie. Par ailleurs, il convient de signaler que l'ISRA envisage de tester le système en milieu paysan pour étudier les problèmes suivants :

- implantation des formes irriguées dans la structure agraire actuelle
- adaptation de l'agriculteur à ce système intensif
- organisation et gestion des coopératives d'achat et de vente des produits
- impact socio économique du système sur le milieu traditionnel.

Tableau n° 1 : COMPTE D'EXPLOITATION

Ferme de 4 hectares exploitée par 4 actifs et cultivée à raison de 3 ha en hivernage et 1 ha en légumes de saison sèche. Verger de 0,5 ha + 2 lignes de brise-vent en limettiers 2 T Pépinière de 0,2 ha

| NATURE                      | MONTANT F | %     |
|-----------------------------|-----------|-------|
| <u>RECETTES R</u>           |           |       |
| Hivernage                   | 879.297   | 28,6  |
| Saison sèche                | 1.721.470 | 55,9  |
| Elevage                     | 478.625   | 15,5  |
| <u>TOTAL "R"</u>            | 3.079.392 | 100,0 |
| <u>DEPENSE D</u>            |           |       |
| Charges fixes               | 77.002    | 5,3   |
| Charges variables           | 711.092   | 48,9  |
| Irrigation                  | 665.544   | 45,8  |
| <u>TOTAL DEPENSES "D"</u>   | 1.453.638 | 100,0 |
| <u>REVENUS NETS ANNUELS</u> |           |       |
| de la ferme                 | 1.625.754 |       |
| par actif                   | 406.430   |       |

En incluant les recettes de la vente des fruits, estimées à 346.250 F, les revenus nets annuels de la ferme sont portés à 1.972.004 F et ceux par actif à 493.001 F



**Tableau n° 2 : BENEFICES NETS D'UN HECTARE  
DE CULTURES IRRIGUEES**

| CULTURES IRRIGUEES   | Bénéfices nets/ha |      | Bénéfices par m3 eau |      | Temps des travaux<br>heures/ha | Bénéfice par heure<br>de travail |      |
|----------------------|-------------------|------|----------------------|------|--------------------------------|----------------------------------|------|
|                      | en F CFA/ha       | Rang | en F/m3              | Rang |                                | en F/h                           | Rang |
| <u>HIVERNAGE</u>     |                   |      |                      |      |                                |                                  |      |
| Mil souna 3          | 26.074            | 12   | 33,69                | 11   | 549                            | 47,5                             | 12   |
| Arachide 55-437      | -9.031            | 14   | -4,60                | 14   | 746                            | -12,3                            | 14   |
| Arachide 57-422      | 20.849            | 13   | 10,63                | 13   | 635                            | 32,8                             | 13   |
| Arachide 59-127      | 26.659            | 11   | 13,59                | 12   | 559                            | 47,7                             | 11   |
| Piment TP 20-61      | 446.680           | 9    | 182,69               | 4    | 2 362                          | 189,0                            | 9    |
| Aubergine Indienne   | 641.944           | 8    | 212,28               | 2    | 2 130                          | 301,4                            | 6    |
| Diakhathou Sonkorong | 732.592           | 6    | 243,60               | 1    | 1 336                          | 548,3                            | 3    |
| Gombo Pop 12         | 168.416           | 10   | 59,81                | 9    | 1 691                          | 99,6                             | 10   |
| <u>SAISON SECHE</u>  |                   |      |                      |      |                                |                                  |      |
| Tomate ROSSOL        | 672.572           | 7    | 51,04                | 10   | 2 475                          | 271,7                            | 8    |
| Aubergine Indienne   | 961.028           | 4    | 72,43                | 7    | 3 535                          | 271,8                            | 7    |
| Diakhathou           | 1.439.078         | 2    | 108,46               | 5    | 2 948                          | 488,1                            | 5    |
| Chou Acre d'or       | 856.528           | 5    | 60,14                | 8    | 1 683                          | 508,9                            | 4    |
| Oignon IRAT 1        | 2.490.092         | 1    | 183,68               | 3    | 2 277                          | 1093,6                           | 1    |
| Oignon Texas Grano   | 1.295.212         | 3    | 95,54                | 6    | 2 277                          | 568,8                            | 2    |

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - CNRA BAMBEY "Esquisse d'une unité de production en culture irriguée pour le Centre Nord Sénégal. Projet de Ferme Irriguée au CNRA de Bambey". Janvier 1973.
- 2 - CDH-CAMBERENE "Evaluation du coût du m<sup>3</sup> d'eau rendu culture suivant les moyens mis en oeuvre" par S. NAVEZ Décembre 1976.
- 3 - CDH-CAMBERENE "Etude économique des productions de légumes frais au Sénégal" par J. DELVAQUE. Août 1975.
- 4 - C. DANCETTE "Besoins en eau et adaptation du mil à la saison des pluies au Sénégal" Février 1978 - CNRA  
A.A.A.S.A. IBADAN-3<sup>rd</sup> General conference and 10<sup>th</sup> Anniversar
- 5 - D.G.R.S.T. SENEGAL "Contribution à la détermination des tarifs de l'eau : quelques données de la recherche agronomique"  
Juillet 1975. DGRST - DG ISRA.
- 6 - T.M. DUC "Rôle de la Recherche Agronomique dans la lutte contre la sécheresse" Novembre 1974 - CNRA
- 7 - T.M. DUC et H. DU TILLY "Ferme Expérimentale des cultures irriguées premiers résultats" Février 1975 - CNRA
- 8 - T.M. DUC "Exemple de recherche pour le développement des cultures irriguées dans une zone semi-aride du Sénégal" Mars 1976  
Colloque CENECA. PARIS "L'eau et les activités agricoles"
- 9 - T.M. DUC "Irrigation de la zone Centre Nord du Sénégal. Résultats de recherches et perspectives" Novembre 1975 Bambey Séminaire  
FAO/AIEA "Efficiency of water and fertilisers use in semi-arid regions" Technical Report n° 192-AIEA Vienna-AUSTRIA-1976
- 10 - T.M. DUC et J. SENE "Ferme Expérimentale des cultures irriguées. Bilan de cinq années d'expérimentation" Juin 1978
- 11 - T.M. DUC "Irrigation à partir des eaux souterraines. Critères de choix du mode d'irrigation" Décembre 1977. Colloque sur l'agriculture et l'hydraulique en Afrique DAKAR.
- 12 - T.M. DUC "Irrigation d'appoint de l'arachide en zone Centre Nord Sénégal". Mai 1978 CNRA.
- 13 - IRAT - NIGER "Station Expérimentale d'hydraulique Agricole de TARNA - Bilan de sept années d'expérimentation 1963-1970"  
Avril 1971 IRAT.
- 14 - MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL-SENEGAL  
"Programme préliminaire de mise en valeur d'une zone semi-aride au Sénégal par irrigation à partir de forage" Mars 1973.  
Conseil Interministériel du 12 Mars 1973.
- 15 - M.D.R.H.-SENEGAL "Observation sur la tarification de l'eau"  
Juillet 1975 - M.D.R.H.
- 16 - Y. NOEL "Etude hydrogéologique des calcaires lutétiens de la région de Bambey" Février 1975 BRGM.
- 17 - SERTA-DAKAR  
"Etude des Aménagements hydro-agricoles" Novembre 1969
- 18 - SATEC-BRGM "Utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation dans les départements de Louga, Kébémér et Tivaouane MARS 1977 SODEVA

## **AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DU BASSIN COTIER**

**DRADER - SOUEIR**

**MAROC**

**par**

**BEHNANI Abdellatif\***

**BENTAYEB Abderrahman\*\***

L'irrigation à partir des eaux souterraines est une technique utilisée depuis les anciens temps au Maroc pour l'intensification de la production agricole dans les zones à forte concentration humaine.

Les eaux souterraines étaient captées à plus ou moins grande profondeur et étaient mobilisées soit par des galeries souterraines débouchant à l'air libre et dominant un terrain irrigable (rhettaras), soit par des puits équipés de moyens d'exhaure plus ou moins perfectionnés suivant la tradition et la technologie locale (Aghour, Noria, etc....).

Les ressources en eau renouvelables au Maroc sont de 25 milliards de m<sup>3</sup>/an dont 18 milliards de m<sup>3</sup>/an sont mobilisables. Parmi ces 18 milliards de m<sup>3</sup>/an, 14 milliards de m<sup>3</sup> sont d'origine superficielle et 4 milliards de m<sup>3</sup> d'origine souterraine. A la fin de l'année 1978, 10 milliards de m<sup>3</sup> sont mobilisables par an par les ouvrages existants.

L'utilisation des eaux souterraines, dont l'importance est grande car représentent plus du cinquième des eaux mobilisables, est due largement à l'initiative privée. Le rôle de l'Etat se limite uniquement à empêcher une exploitation anarchique de ces ressources. Sur les 1.150.000 ha pouvant être irrigués de façon pérenne, 200.000 ha seront irrigués par des eaux souterraines. A la fin de l'année 1978, les superficies irriguées de façon pérenne sont de 700.000 ha dont 200.000 ha par des eaux souterraines. Les ressources en eau souterraines sont donc utilisées au maximum et leur mobilisation totale est proche d'être réalisée.

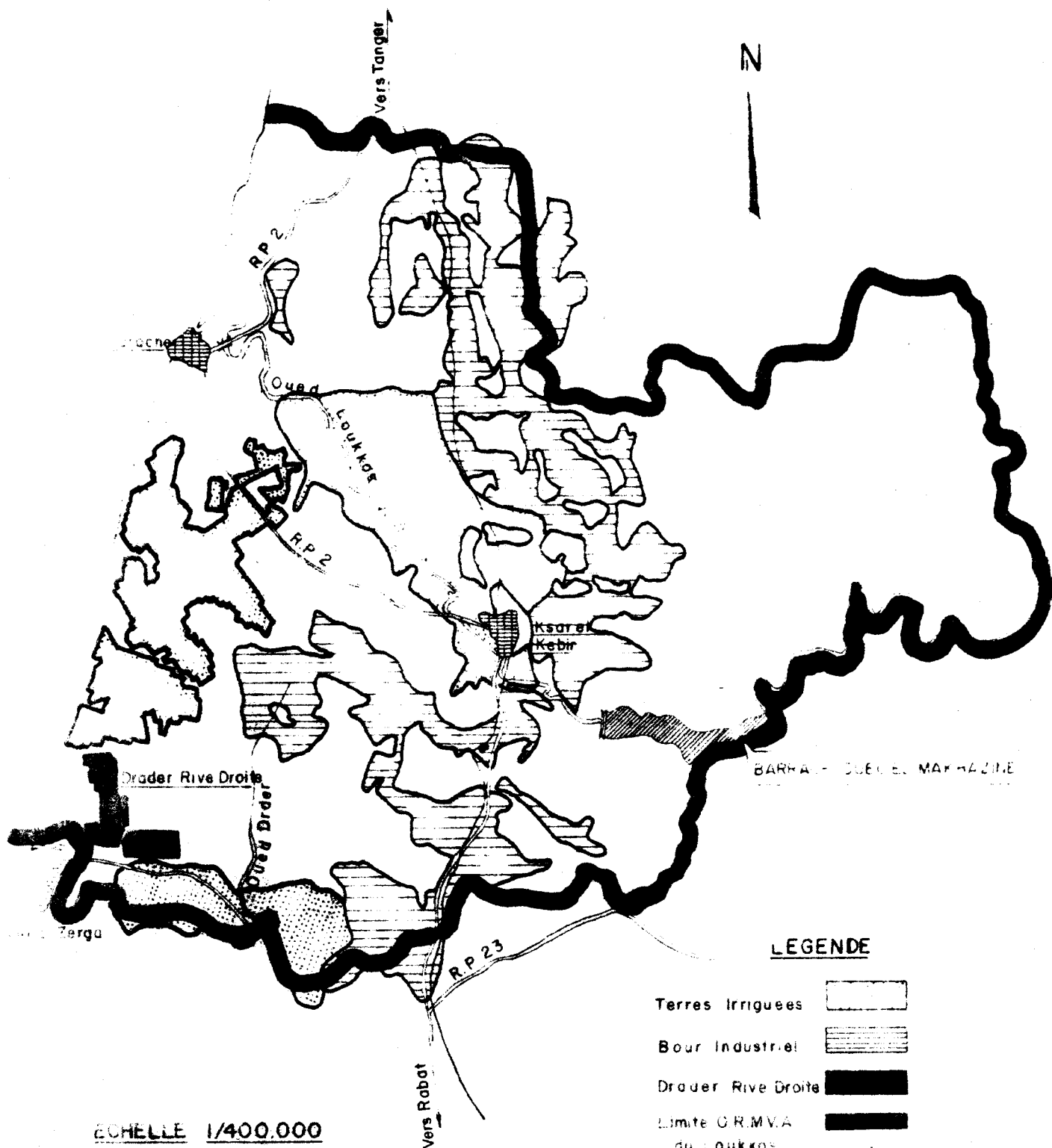
L'utilisation des eaux souterraines est localisée surtout dans les secteurs d'irrigation traditionnelle. Ces irrigations traditionnelles ont été reprises dans de grands aménagements modernes nouveaux ou ont reçu une amélioration ponctuelle intégrant les progrès techniques tout en conservant les pratiques des siècles passés ayant déjà fait leur preuve. Cependant la localisation de nappes importantes dont le débit fictif continu voisine ou dépasse le mètre cube seconde a permis d'envisager la réalisation de secteurs d'irrigation moderne à partir des eaux souterraines. L'intérêt de mobiliser les eaux souterraines sur place permet d'une part de s'affranchir de la construction de barrages et d'adducteurs coûteux et d'autre part de disposer d'une eau de bonne qualité dans la majeure partie des cas. A cela, il y a lieu d'ajouter les conséquences positives sur le rabattement de la nappe et l'économie au niveau du drainage.

L'aménagement hydro-agricole d'un secteur à partir des eaux souterraines devrait être plus économique, cependant connaît des contraintes plus lourdes au niveau de l'exploitation et de la maintenance des ouvrages d'équipement.

**Ingénieur du Génie Rural  
Office Régional de Mise  
en Valeur Agricole du Loukkos  
Ministère de l'Agriculture  
et de la Réforme Agraire**

**\*\* Ingénieur Hydrogéologue  
Direction de l'Hydraulique  
Ministère de l'Équipement  
et de la Promotion Nationale**

# ZONE D'ACTION DE L O.R.M.V.A du Loukkos



La présente communication se propose d'exposer le cas du secteur Drader qui est un secteur moderne irrigué à partir des eaux souterraines. Les différentes phases du projet seront tracées depuis l'approche des ressources en eau de la nappe du Drader et de son bilan, de la conception des schémas d'équipement et des assolements culturels retenus jusqu'aux résultats enregistrés au niveau de la mise en valeur et de la gestion des ouvrages. De ces résultats découlent un certain nombre de recommandations à retenir pour ce type d'aménagement et de thèmes de recherches et de réflexions sur des problèmes non encore dominés pour des aménagements comparables.

#### A)- Cadre naturel et milieu humain

##### 1- Présentation géographique

Le secteur Drader est situé au Sud de la zone d'action de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Loukkos. Il couvre une superficie de 1 500 ha et fait partie d'un ensemble irrigué de 38.000 ha à partir des eaux superficielles des oueds Loukkos et Sebou.

- Secteur Drader Rive Droite : 1.500 ha - Eaux souterraines et superficielles de l'Oued Drader
- " R'Mel : 14.150 ha - Eaux superficielles du Loukkos
- " Thé : 850 ha - Eaux souterraines de la nappe du R'Mel
- Plaine et Basses Collines : 14.500 ha - Eaux superficielles de l'Oued Loukkos
- El Merja et Drader Rive Gauche : 7.000 ha - Eaux superficielles de l'Oued Sebou.

L'ensemble de ces secteurs irrigués est géré par l'ORMVA du Loukkos qui assure les tâches de réalisation des équipements, de leur exploitation et maintenance et de la mise en valeur de ces zones et ce conformément aux stipulations du code des investissements agricoles.

Le secteur Drader se localise en bordure de l'Océan Atlantique au Nord de la Plaine du Gharb. Il se distingue par une topographie ondulée et par la nature sableuse de ses sols.

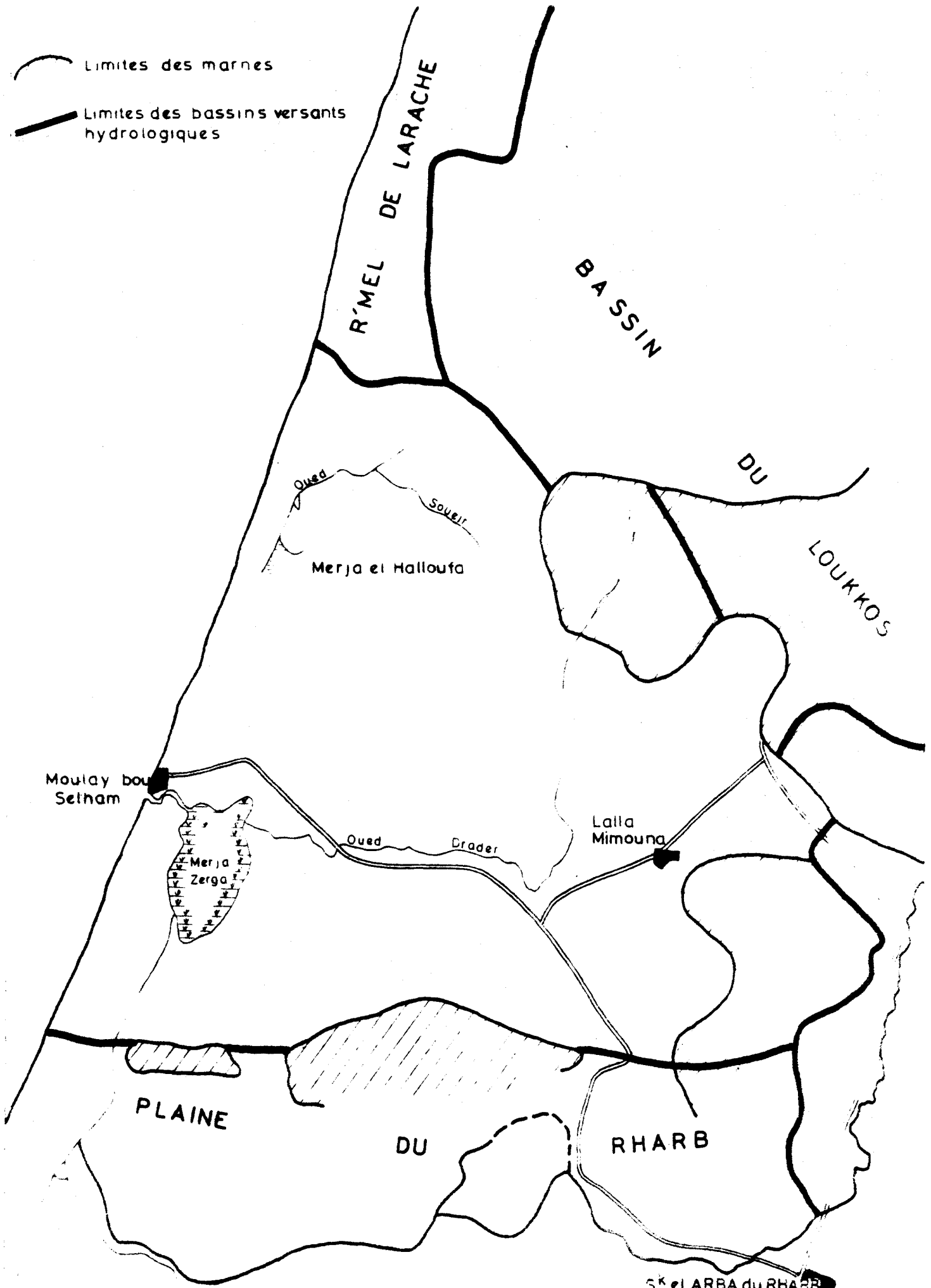
##### 2- Climatologie

Le climat du secteur est du type méditerranéen à influence océanique nette. Les températures fluctuent entre un minima de 5°C en Janvier et un maxima de 33°C en Juillet-Août.

Les précipitations moyennes annuelles sont de 750 mm avec 66 jours de pluie se répartissant du mois d'Octobre au mois de Mai. Les vents dominants soufflent du Sud - Ouest vers le Nord - Ouest et soulèvent des tempêtes de sable en été.

Le code des investissements agricoles est un recueil de lois établi en 1968 qui réglemente les mesures et opérations à la charge de l'état et les obligations des agriculteurs à l'intérieur des périmètres irrigués.

# CARTE DES AFFLEUREMENTS DES MARNES DU MIOCENE



### 3- Géologie et les sols

Le secteur Drader appartient à une unité qui s'étend du Sud de la Plaine du Gharb au Nord à l'oued Loukkos et est limitée à l'Est par les affleurements argileux ou marneux des pannes pré-rifaines. L'unité est constituée par des terrains d'âge du Plio-quaternaire assez variés mais toujours plus ou moins détritiques (intercalations de sables, grès, calcaires gréseux, argile sableux) reposant sur un substratum très net formé par les marnes bleues du miocène.

Les sols du secteur sont profondément influencés par la nature texturale de leur roche-mère faite de sables quaternaires. L'analyse granulométrique montre que la majorité des sols de ce secteur comportent au moins 75 % de sables totaux, le plus souvent 90 %. Les teneurs en argile se situent dans les 4 à 6 % sauf en profondeur où elles atteignent parfois 18 à 20 %. L'horizon profond comporte fréquemment des rognons et aiguilles calcaires. Les pH sont en général neutres ou acides en surface et basiques en profondeur en présence de rognons calcaires. Les teneurs en matière organique sont généralement faibles, inférieures à 1 %. Les capacités d'échange sont très faibles ainsi que les capacités de rétention.

La nature très sableuse des sols a amené l'administration à retenir l'irrigation par aspersion pour ce secteur.

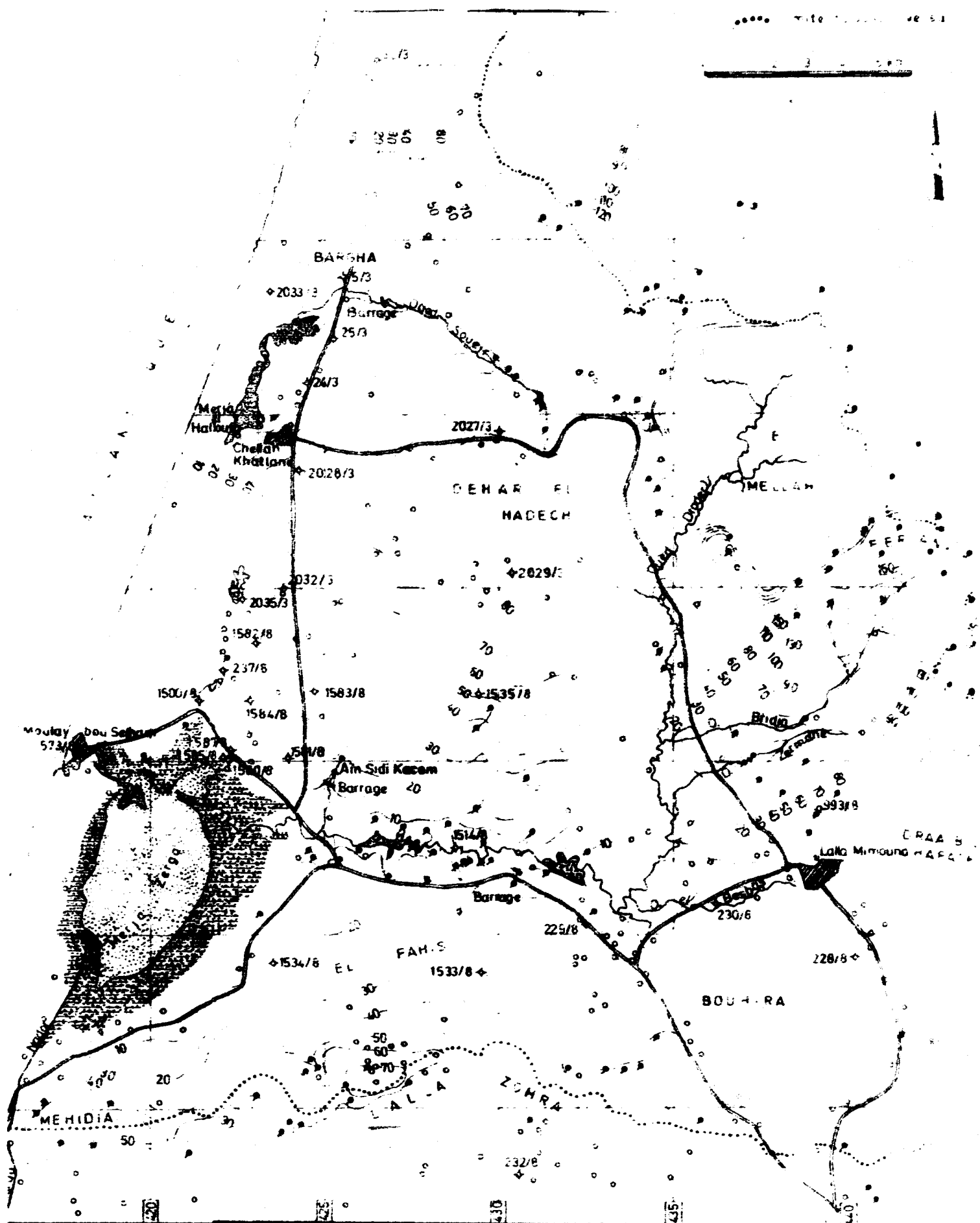
### 4- Population et statut foncier

L'aménagement intéresse une population de 6.600 habitants dont 4.500 actifs répartis au niveau de 12 douars. La population s'occupait avant aménagement d'un élevage extensif sur des parcours entrecoupés de parcelles réduites irriguées à partir de puits traditionnels. La terre se répartit selon les statuts fonciers suivants :

| Statut      | Superficie | Pourcentage |
|-------------|------------|-------------|
| Statut Melk | 303        | 20 %        |
| Collectif   | 1030       | 69 %        |
| Domanial    | 167        | 11 %        |
| Total       | 1500 ha    | 100 %       |

Le statut Melk correspond à la propriété privée de la terre. Le statut collectif correspond à la propriété collective des terres. La terre est partagée au début de chaque campagne au niveau des ayants droits pour les terres de labour et les terres de parcours sont réservées au troupeaux de la collectivité. Les terres domaniales sont la propriété de l'Etat. Les populations vivaient de cultures vivrières tel que l'orge mais surtout de l'élevage.

• Source: *Source*





## B)- Ressources en eau disponibles

Les premières études de ressources en eau remontent à 1930 mais se sont limitées à fixer le débit des sources les plus importantes pour une homologation des droits d'eau. L'administration réalisa une série de 6 forages de reconnaissance entre 1951 et 1955 et capte la plus importante des sources du Drader. Aïn Sidi Kacem, pour équiper un périmètre d'irrigation moderne d'une superficie de 50 ha. Une étude hydrogéologique de la partie Nord du Bassin est conduite en 1956-57 et aboutit à l'implantation de deux forages d'essais au Sud de Bargha. Bien que ces forages aient été très positifs, aucune exploitation n'est entreprise.

Les hydrogéologues de la Division des Ressources en Eau reprennent l'initiative des études en 1965-66, dans le cadre de leurs inventaires systématiques. Des travaux géologiques, géophysiques et de forages permettent de fixer le potentiel des ressources en eau exploitables à 70 millions de mètres cubes par an dont 10 seulement sont utilisés en 1968. Un plan de mobilisation de ces ressources est alors soumis aux responsables du développement agricole et des travaux de forages d'exploitation sont exécutés à partir de 1970 afin de promouvoir un périmètre d'irrigation à partir des eaux souterraines.

### 1- Ressources en eau superficielles

Seul l'oued Drader parvient à atteindre la mer, par l'intermédiaire de la merja zerga. L'oued Soueir débouche dans la merja El Halloufa qui ne possède aucune communication avec l'Océan et en est isolée par un cordon dunaire.

L'oued Drader a une direction Nord-Sud dans sa partie supérieure et moyenne ; dans cette partie du cours, il n'est pas perenne, ne le devenant qu'après avoir pris une direction Est-Ouest alors qu'il bénéficie du déversement des sources qui l'alimentent dans son cours inférieur. Cet Oued faisait l'objet de jaugeages sporadiques en étiages antérieurement à 1972, date à laquelle une station de jaugeage permanente est entrée en service au pont de la route de Moulay Bousselham à Souk El Arbaâ du Gharb. Son débit moyen annuel calculé se situerait autour de 1 m<sup>3</sup>/s à l'embouchure ; le débit minimum d'étiage est de 300 l/s (Août 1967, année sèche) mais se situe autour de 500 l/s en année moyenne.

L'oued Soueir est alimenté par plusieurs sources perennes ; cet oued n'est pas observé régulièrement, mais des mesures sporadiques permettent de fixer son débit moyen d'étiage autour de 200 à 250 l/s. Un petit ouvrage de dérivation rustique permet d'alimenter en eau une partie du domaine agricole de Bargha situé en rive droite vers l'aval.

Les qualités chimiques des eaux du Drader et du Soueir sont excellentes dans la totalité de leurs cours (résidu sec inférieur à 500 mg/en toutes saisons).

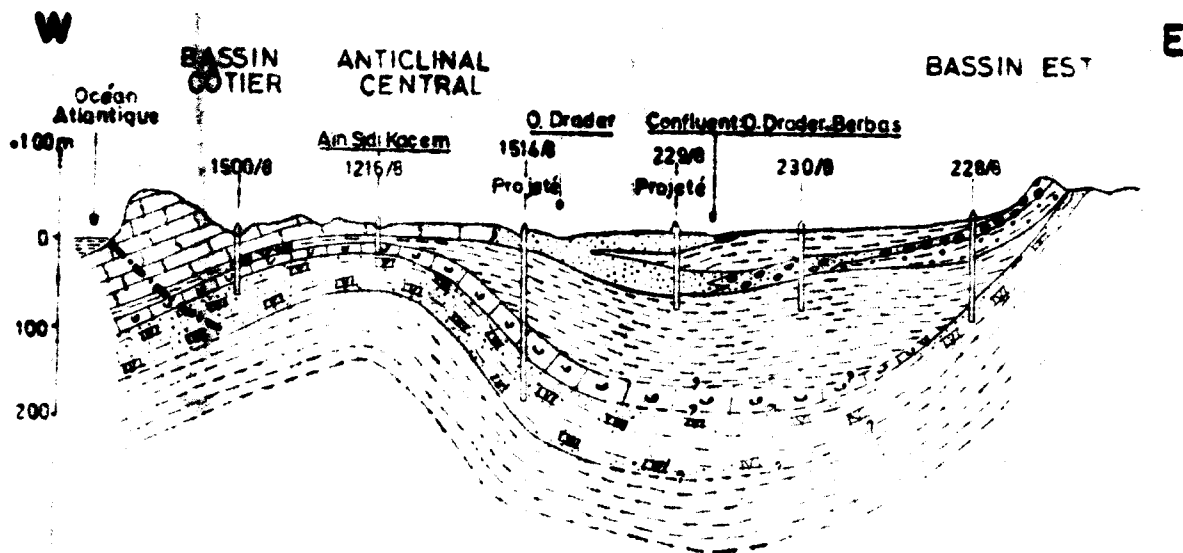
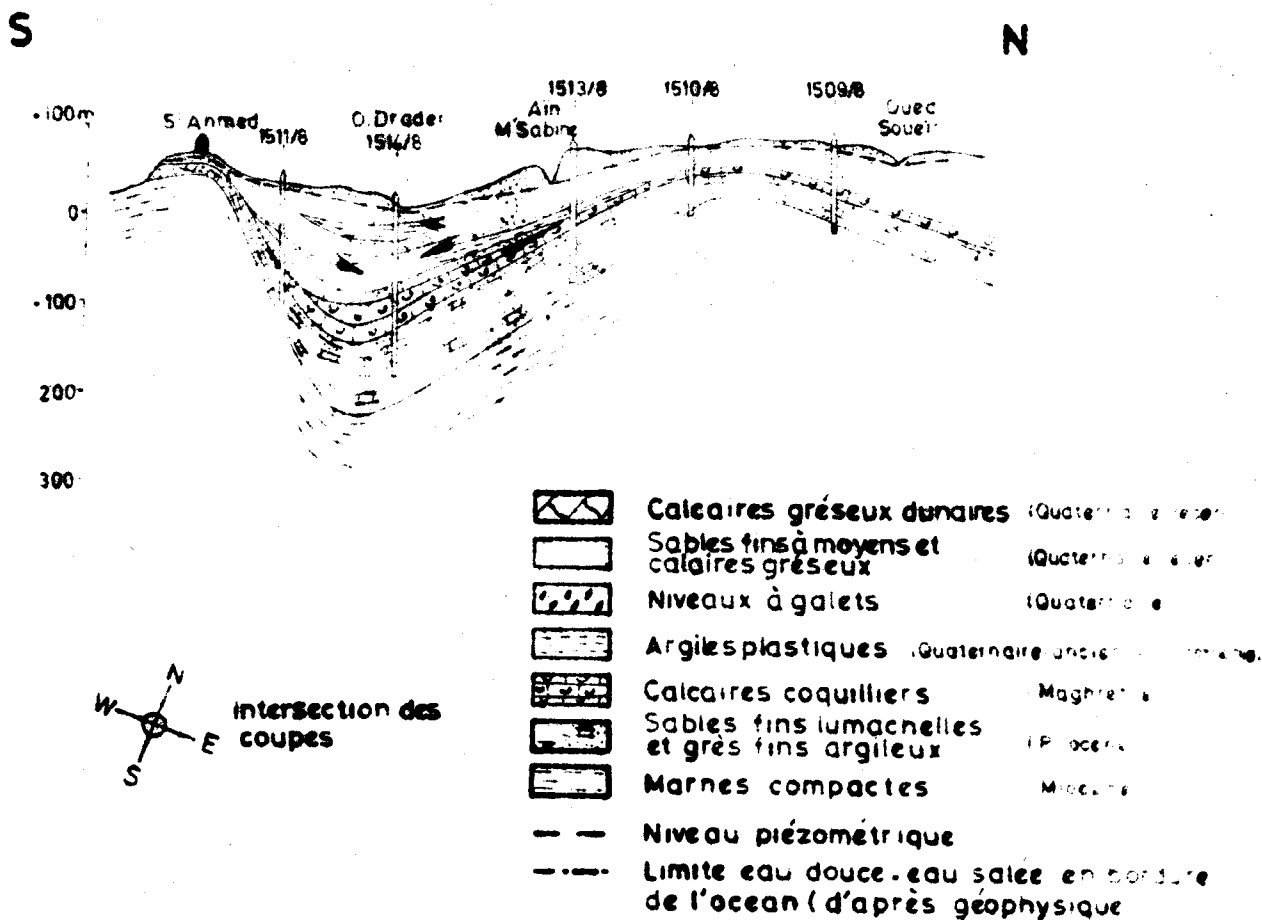
### 2- Ressources souterraines

#### 2.1- les points d'eau

##### Les sources :

On en démontre quelques dizaines de sources dont les débits varient de quelques litres par seconde à plus de 100 l/s (Aïn Sidi Kacem : Q = 120 l/s). Elles ne sont pas précisément localisées, mais constituées de chapelets de petites émergences situées au niveau du sol (cas du bas Drader) ; il s'agit d'émergences de la nappe à la faveur des entailles provoquées dans le sol par les thalwegs.

# COUPES INTERPRETATIVES D'APRES FORAGES ET GEOPHYSIQUE



# DRADER - SOUEIR

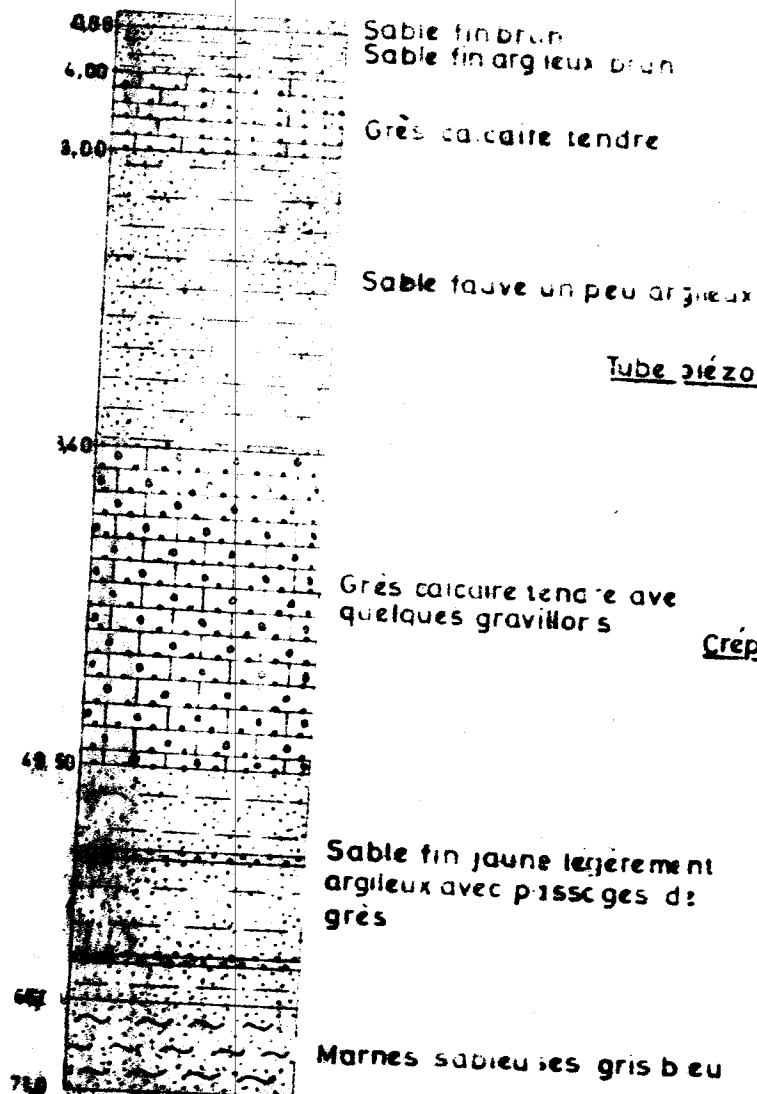
N° I R E 2032/3

Commencé le 1.11.70 Termine le 15.11.70

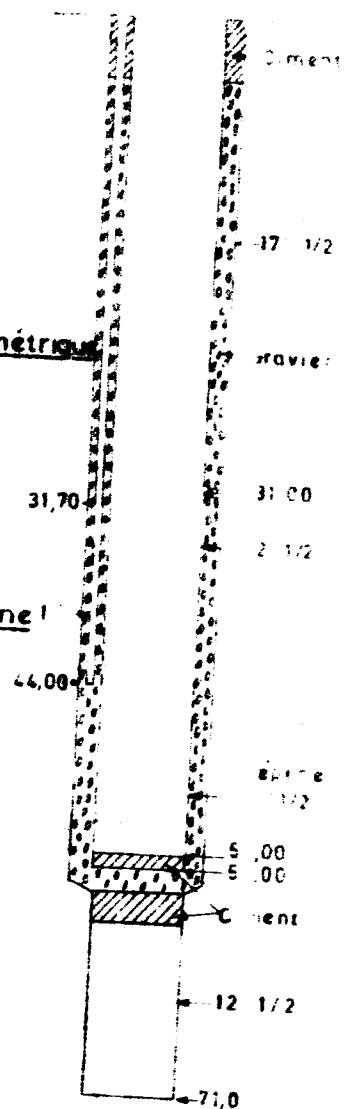
X = 424.00 Y = 479.85 Z = 23 m

FIGURE 1

## LITHOLOGIE



## EQUIPEMENT DE FORAGE ET DIAMETRE DU TUBAGE



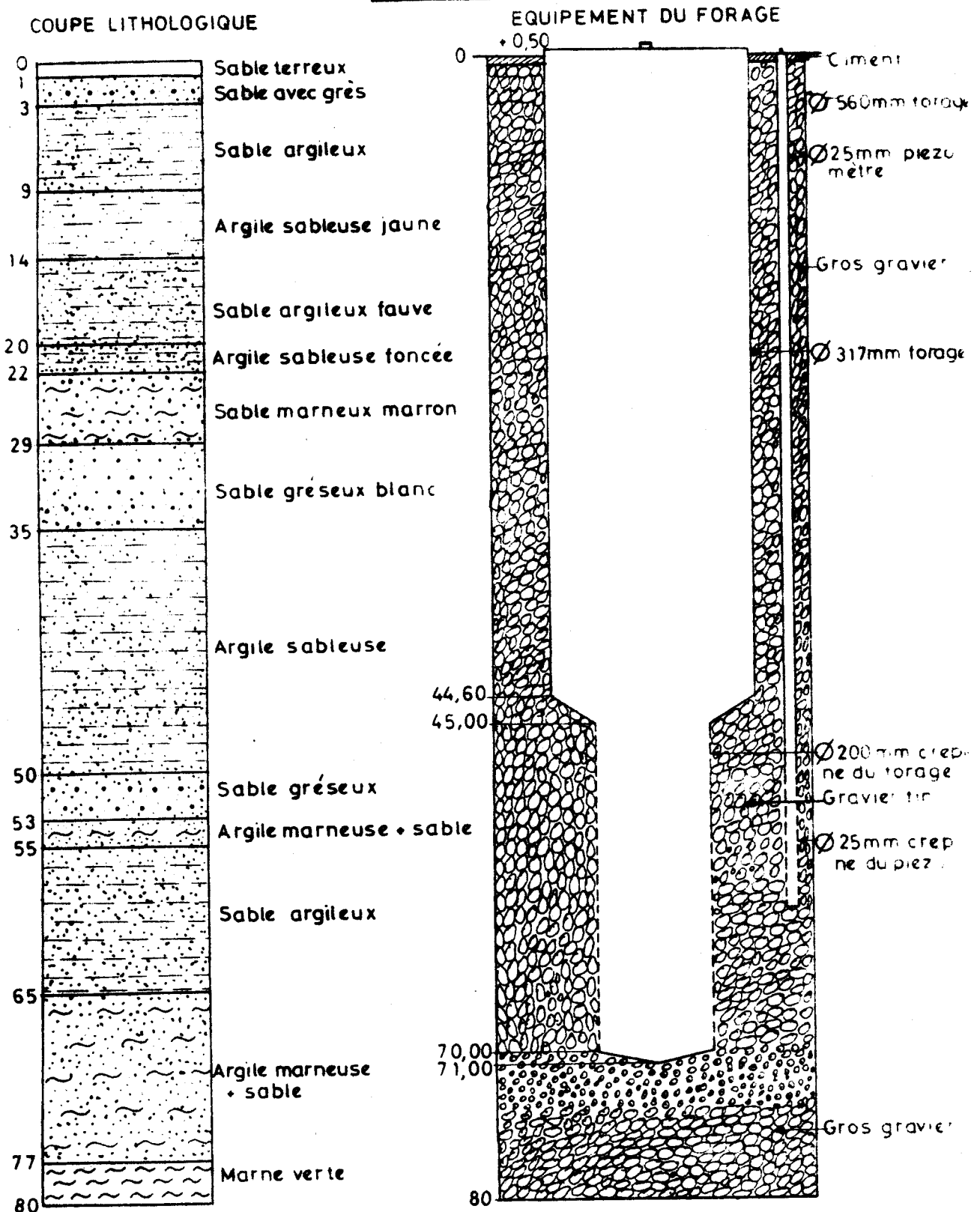
# FORAGE DRADER

FIGURE 2

N° I.R.E. 1718/8

X = 424,958 Y = 477,793 Z = 30,17 m

Exécuté en SEPTEMBRE 1974



Lors des étiages moyens, les sources de la rive droite du Drader débitent environ 210 l/s pour 120 l/s venant des sources de la rive gauche. Lors de son cours Est-Ouest, l'Oued Drader recueille environ 500 l/s car sa propre action de drain à l'aval des sources apporte 200 l/s supplémentaires. En étiages très sévères, le débit du Drader peut descendre durant quelques semaines à 300 l/s.

Un certain nombre de sources sont plus ou moins aménagées pour l'irrigation des terres dominées et situées dans la basse vallée de l'Oued. L'Aïn Sidi Kacem est captée par un petit barrage en gabions et maçonnerie prolongé en profondeur par un rideau de palplanches ; l'ouvrage se situe à l'aval des sources et sa fonction consiste à remonter le plan d'eau pour une prise gravitaire alimentant une séguia bétonnée. Le périmètre dominé a une superficie de 50 ha équipés.

#### Les puits :

Les puits à mains sont relativement nombreux dans certains secteurs où l'eau est peu profonde (merjas cotières, proximité de l'Oued Soueir et du bas Drader) mais beaucoup plus rares ailleurs. Le moyen d'épuisement le plus répandu était le simple seau ; quelques éoliennes se rencontrent cependant, mises en place par l'administration, alors que les pompes mécaniques étaient exceptionnels et tous implantés en zone cotière (deux à trois stations au total avant 1970). Il est à noter que la confection de puits à main pénétrant suffisamment dans la nappe pour permettre un pompage à fort débit est très difficile dans le bassin cotier (terrain sableux très bouillants).

#### Les forages :

Au 30 Juin 1972, vingt neuf forages avaient été exécutés dans le bassin ; quatorze sont des forages d'exploitation proprement dit, deux sont des sondages géotechniques, neuf des ouvrages d'étalonnage géotechnique ou des piézomètres, quatre des ouvrages de reconnaissance et d'exploitation éventuelle. Neuf de ces ouvrages sont consacrés à la surveillance piézométrique, deux sont exploités pour l'irrigation ou la fourniture d'eau alimentaire et neuf étaient en attente d'exploitation pour le futur périmètre d'irrigation du bassin cotier.

Tous ces forages étaient conçus en diamètre unique (forage en 17" 1/2 ou 15" et tubage plein ou crépiné en 12" 1/2) avec un équipement classique en crépine ordinaire pourvu d'un massif filtrant assez mince (fig. 1). On s'apercevra plus tard lors du démarrage de l'exploitation en 1977 que cet équipement méritait plus de soins car on notait des venues de sable qui causait la détérioration du matériel de pompage.

En 1974-1975, l'administration lançait une campagne de forages dans le cadre de l'aménagement du nouveau périmètre d'irrigation du Loukkos. On réalisa 14 forages d'exploitation d'eau pour la mise en valeur de 1 500 ha nets de terres irrigables. L'alimentation de ces forages a fait l'objet d'une étude par simulation mathématique (1973-74) dont il sera fait allusion par la suite. On exécuta aussi 3 piézomètres de contrôle et la réfection d'un ancien forage qui servira aussi de piézomètre.

Dans le souci de réduire les venues de sable lors de l'exploitation, on prit le soin de surdimensionner le forage ( $\emptyset = 22" 1/2$  au lieu de 15" la partie crépine (fig. 2) avait un diamètre de 8" seulement mais avec un massif filtrant plus épais (8"  $\times$  22" 1/2) constitué de gravette sélectionnée fine 4-6 mm.

En 1978, l'irrigation du Drader est alors assurée par 19 forages exécutés en deux étapes (huit en 1970 et onze en 1974-75). Les besoins complémentaires sont assurés par pompage dans l'oued Drader.

## 2.2- qualité des eaux

L'eau de l'aquifère du bassin du Drader est peu minéralisée. Les analyses chimiques ont montré que les teneurs en Cl varient entre 25 et 80 mg/l alors que le résidu sec à 180°C varie entre 200 et 650 mg/l. Elle est donc excellente pour l'usage domestique et agricole.

## 2.3- bilan global des ressources en eaux souterraines

Au terme des études préliminaires, le bilan de la nappe souterraine avait été établi (30 millions de m<sup>3</sup>/an soit près de 1m<sup>3</sup>/s) et les zones d'exploitation se trouvaient délimitées de part et d'autre de la ride anticlinale Est-Ouest du substratum miocène du Dahar El Hadechi l'une au Nord dans le bassin du Soueir, l'autre au Sud dans le bassin du Drader. Quelques approches sommaires par l'extrapolation des essais de pompage disponibles et la formule du Ghyben-Herzberg liant la profondeur de l'eau salée Hs sous l'eau douce en fonction de la hauteur piézométrique de la nappe (Hf) sur une même verticale ( $H_s = 40 H_f$ ) avaient alors permis de juger que l'invasion marine de la nappe demeurerait acceptable lors de l'exploitation.

Après la campagne de 8 forages d'exploitation (1970-71), les prévisions sur la qualité de l'exploitabilité du bassin cotier étaient confirmées et s'avéraient même un peu meilleures qu'espéré. Les éléments indispensables se trouvaient alors recueillis pour une étude plus globale de l'exploitation par simulation de la nappe sur modèle (1972-73). Le problème de l'aménagement hydro-agricole est en effet non pas de connaître un débit moyen annuel d'exhaure, mais plutôt de fixer le débit maximum exploitable en pointe des irrigations, ce qui permet de déterminer la taille du périmètre, car l'irrigation dans ce secteur ne se pratique que pendant 4 à 5 mois par an.

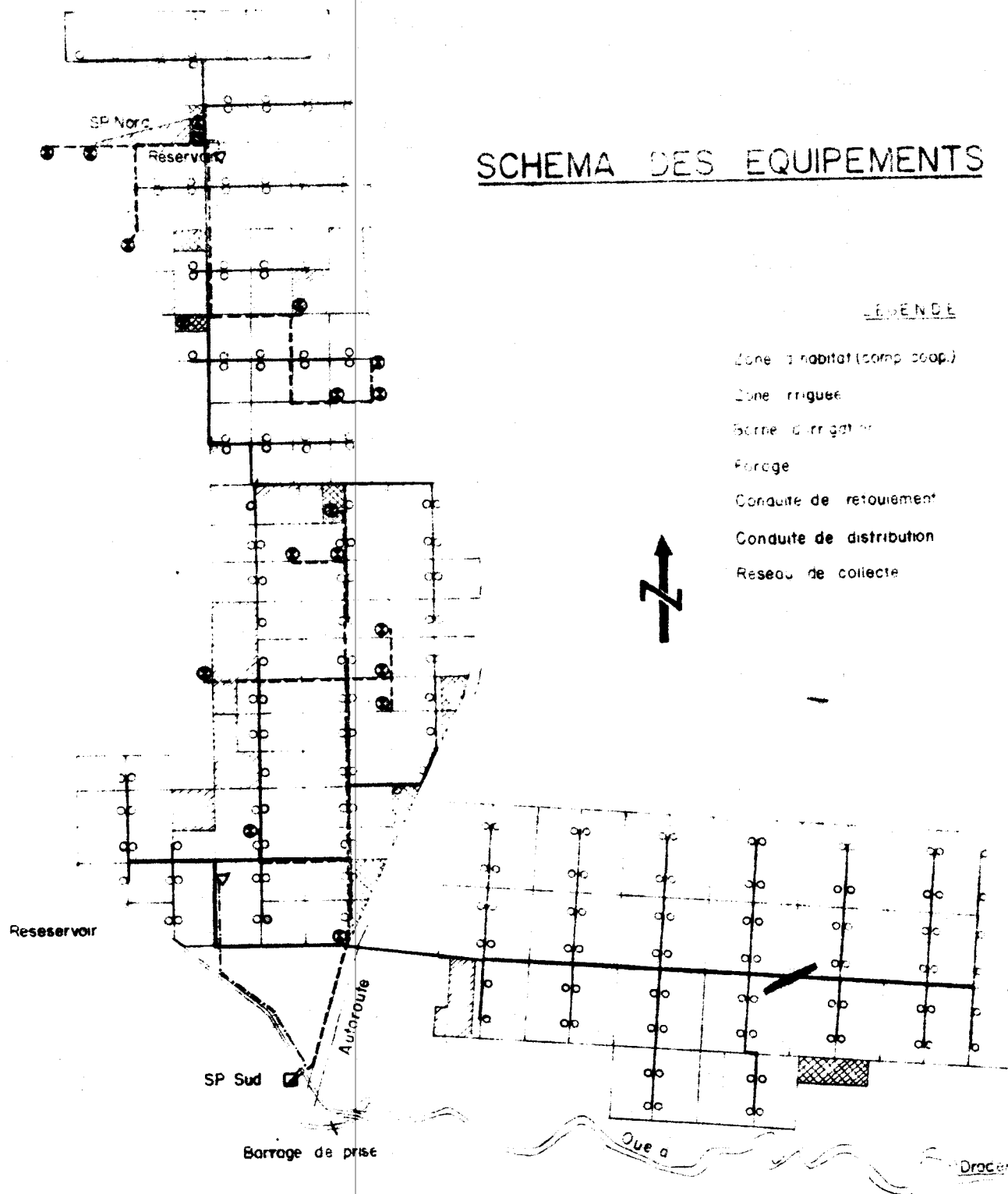
Plusieurs modèles mathématiques ont été réalisés successivement en régime permanent. Leur calage sur la piézométrie observée a été obtenu sans difficulté et les bilans qui en résultent sont conformes à ceux calculés auparavant ; les cartes de transmissivité concordent fort bien avec les cartes de résistance transversales de la géophysique électrique (C.A.G. 1966).

Des modèles plus précis ont suivi : modèle DRPLIBY du BRGM, permettant une variation de la transmissivité sous l'effet des pompes en prenant en compte la perméabilité et l'épaisseur mouillée variable de l'aquifère (cotés du mur et du toit en chaque maille). Des ajouts à ce programme ont permis également d'introduire les réactions du biseau salé sous l'effet des pompes, toujours en régime permanent.

Les résultats obtenus à l'aide de ces différentes simulations permettent de confirmer une possibilité d'exhaure par pompes de 350 l/s fictifs continus dans le bassin cotier Sud (secteur Drader) et de 200 à 250 l/s fictifs continus dans le bassin cotier Nord (secteur Soueir) en limitant l'avancée du biseau salé marin dans la nappe en deça des zones de culture (entre 1 et 2 km de la cote). Ces débits fictifs continus pourront, conformément au programme de prélèvement de l'agriculture, être modulés selon la loi de fourniture qui prévoit l'irrigation sur 3 à 4 mois de l'année avec une pointe maximale de 1 700 à 1 800 l/s ; ces derniers débits permettent de dimensionner le périmètre de pompage à 2 000 hectares.

# SECTEUR DRADER RIVE DROITE

## SCHEMA DES EQUIPEMENTS



Profitant des résultats précédents, un modèle mathématique DKTRA en régime transitoire est confectionné en 1973 afin de répondre aux questions de l'agriculture concernant notamment le risque de défaillance en année agricole très sèche et la fréquence de retour de telles années déficitaires ; la contrainte essentielle devient alors le maintien des niveaux de la nappe au dessus de la limite qui entraînerait une avancée plus importante du front salé souterrain. Il ne semble pas, au terme de cette simulation, qu'il y ait un risque d'intrusion saline excessif, même à la suite de périodes très déficitaires de fréquence raisonnable (décennale). Selon le modèle, jamais l'avancée du biseau n'est menaçante pour les ouvrages de captage et l'intrusion saline ne constituera pas un facteur limitant pour les conditions de débit imposées.

### C)- L'aménagement hydro-agricole

#### 1- Le schéma d'aménagement retenu

Le secteur Drader d'une superficie de 1 500 ha est irrigué à partir d'une prise sur l'oued Drader complétée par les débits de 19 forages répartis à travers le secteur. Le débit d'étiage de l'oued Drader est de 300 l/s. Les forages totalisant un débit de 1030 l/s donnant ainsi un débit total de 1330 l/s correspondant à un débit fictif continu de 0,8 l/s/ha. Le secteur Drader est divisé en deux sous-secteurs :

##### a) Le sous-secteur Nord (540 ha) :

- Ce sous-secteur est alimenté par des eaux d'exhaure de 9 forages d'exploitation totalisant un débit de 457 l/s véhiculés dans un réseau de collecte au niveau de la bache de la station de pompage Nord.

A ce niveau, les eaux sont refoulées dans un réseau de distribution par la station de mise en pression dont la régulation est assurée par un réservoir surélevé.

##### b) Le sous-secteur Sud (960 ha) :

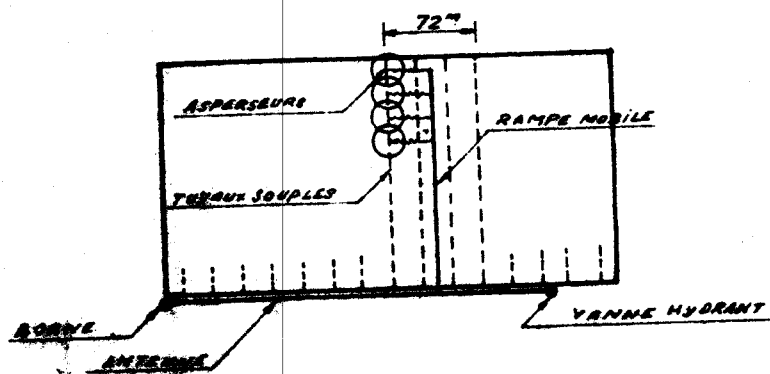
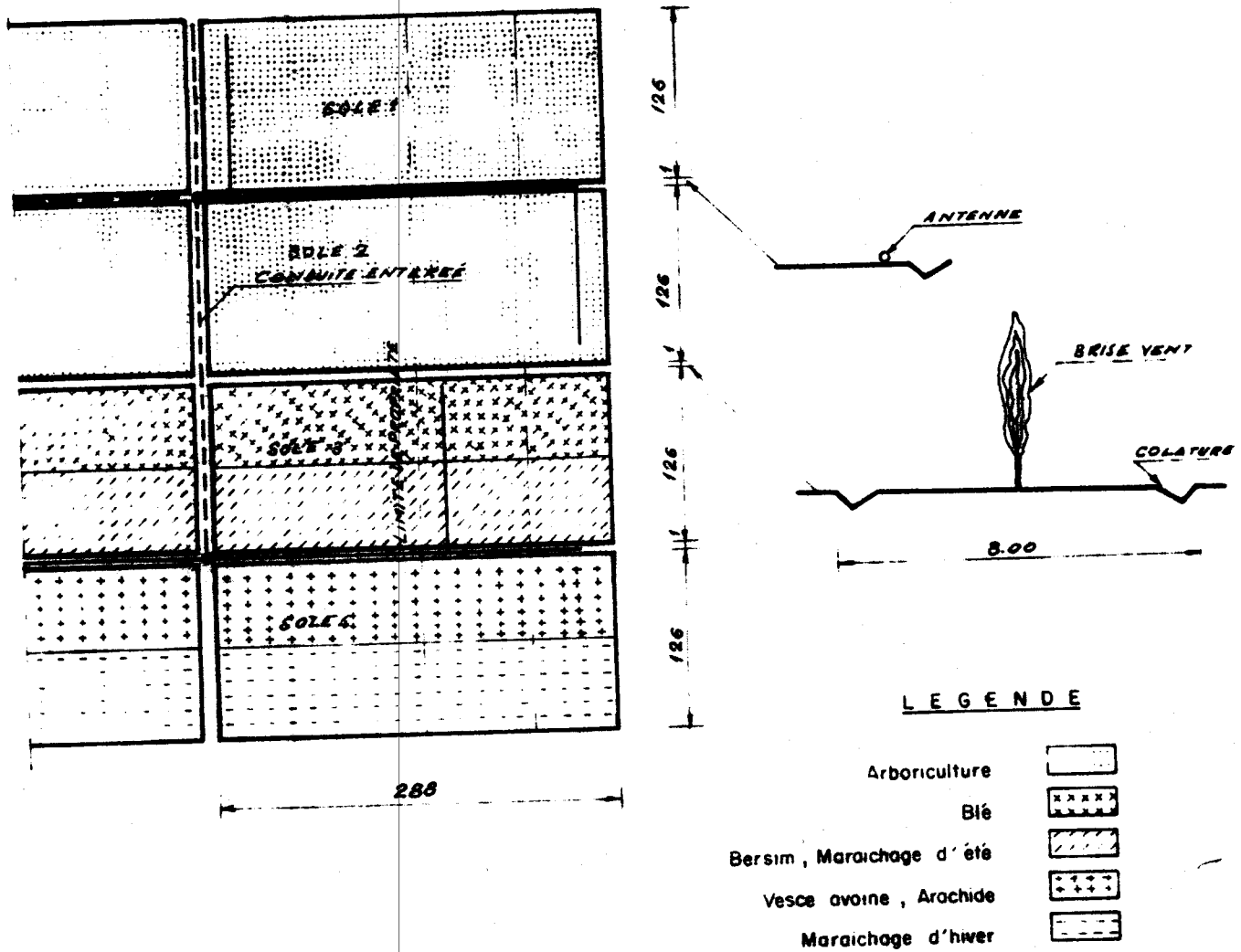
- Ce sous-secteur est desservi par une prise sur l'oued Drader pour un débit d'étiage de 300 l/s complétée par la collecte par un réseau des eaux de 10 forages d'exploitation pour un débit de 730 l/s. Ces eaux débouchent dans une bache de reprise et sont refoulées dans un réseau de distribution. La régulation de la station de pompage est assurée par un réservoir surélevé. La distribution de l'eau au niveau du secteur se fait par un réseau de conduites enterrées en charge sur lequel sont raccordées des bornes d'irrigation type A à deux sorties desservant les blocs d'irrigation.

Deux assolements ont été retenus dans le secteur. L'assolement quadriennal et l'assolement arboricole chacun sur 50 % de la superficie du secteur. L'irrigation à la parcelle se fait au moyen de matériel mobile d'aluminium portant des asperseurs avec un écartement 18m x 18m pour l'assolement quadriennal et 14m x 14m pour l'assolement arboricole. L'ilot type est constitué par des soles de cultures régulières de 126m x 288m dans lesquelles les propriétés sont remembrées selon le principe de la Trame B (voir schéma ci-joint).



## IRRIGATION PAR ASPERSION

## Trame B - Schema Type d'un bloc d'irrigation



Les caractéristiques techniques des équipements de ce secteur sont les suivantes :

Station de pompage Nord

3 groupes motopompes centrifuges verticalisées ( pompe Rateau  
( moteur CEM

- débit total station 438 l/s
- débit par pompe 146 l/s
- H M T 72 m
- Puissance par groupe 266 kw
- Puissance installée 800 KVA

Station de pompage Sud

4 groupes motopompes centrifuges verticalisées (pompe Rateau  
(moteur CEM

- débit total station 772 l/s
- débit par groupe 193 l/s
- H M T 90 m
- Puissance par groupe 315 Kw
- Puissance installée 1260 KVA

Les débits des forages varient de 30 l/s à 100 l/s et les H M T des groupes immergés de 31 m à 50 m (un tableau détaillé rassemblant les caractéristiques des forages est joint en annexe)

Réseaux d'irrigation

Réseaux de collecte et de distribution  
42 km de conduites Ø supérieur ou 500 mm  
40 km de conduites Ø inférieur <sup>égal</sup> 500 mm

Réservoirs surélevés :

Réservoir Sud : hauteur 76 m  
volume 500 m<sup>3</sup>

Réservoir Nord : hauteur 62 m  
volume 500 m<sup>3</sup>

Matériel mobile et borne d'irrigation

- 117 bornes ADPM 100 à deux prises de 7,6 L/s chacune
- 90 km de tubes aluminium en 34 et 24
- 2535 asperseurs.

Le schéma décrit plus haut est le schéma retenu pour l'équipement du secteur après une étude d'optimisation et d'analyse de différents schémas approchés au niveau des études du schéma d'équipement du secteur. Le principe de fonctionnement et de régulation des forages est un refoulement général dans une bache de reprise et le démarrage et l'arrêt sont commandés par des niveaux sélectionnés dans la bache.

La régulation des forages se fait donc par niveaux matérialisés par des poires flight au niveau de la bache et est commandée par câble à partir des stations. Ainsi le fonctionnement des forages est automatique fonction des niveaux dans la bache. En plus, on peut en commande manuelle à partir des stations de reprise arrêter ou démarrer un forage et moduler son débit. Le débit à la sortie de chaque forage est affiché à la station de reprise. L'arrivée du réseau de collecte est munie d'une vanne électrique dont le fonctionnement permet de maintenir toujours le réseau de collecte en charge. La conduite de distribution du pied du réservoir surélevé est équipée d'une vanne à survitesse assurant la protection du réservoir en cas de cassure de conduite intervenant sur le réseau en aval. Les niveaux sont calculés dans la bache sud de manière à privilégier toujours le fonctionnement de la prise sur le Drader par rapport aux forages du Sud.

La régulation des stations de pompage est assurée par les niveaux installés dans les réservoirs surélevés.

D'autres schémas ont été étudiés et différent par rapport à celui choisi par les modifications suivantes :

- Schéma n° 1 :

Régulation de la station Nord par régulation manométrique

- Schéma n° 2 :

Les deux stations sont équipées par une régulation manométrique

- Schéma n° 3 :

Les deux stations sont équipées par une régulation manométrique. En plus, les stations comportent deux étiages de refoulement correspondant à deux réseaux distincts "haut service" et "bas service"

- Schéma n° 4 :

Découpage du secteur en trois sous-secteurs au lieu de deux avec trois stations de pompage à régulation manométrique.

- Schéma n° 5 :

Deux sous-secteurs avec deux stations de pompage régulées par deux réservoirs surélevés. C'est le schéma qui a été retenu.

Les coûts estimés des différents schémas sur la base des coûts au mois d'Avril 1975 sont :

| schémas     | I     | T     |
|-------------|-------|-------|
| schéma n° 1 | 9623  | 16528 |
| schéma n° 2 | 8261  | 15001 |
| schéma n° 3 | 8666  | 15457 |
| schéma n° 4 | 7534  | 13949 |
| schéma n° 5 | 10150 | 16747 |

- Rapport SCET-INTERNATIONAL - Etudes préliminaires -
- Schéma d'Equipement
- I Investissement
- T Investissement actualisé.

# SECTEUR DRADER

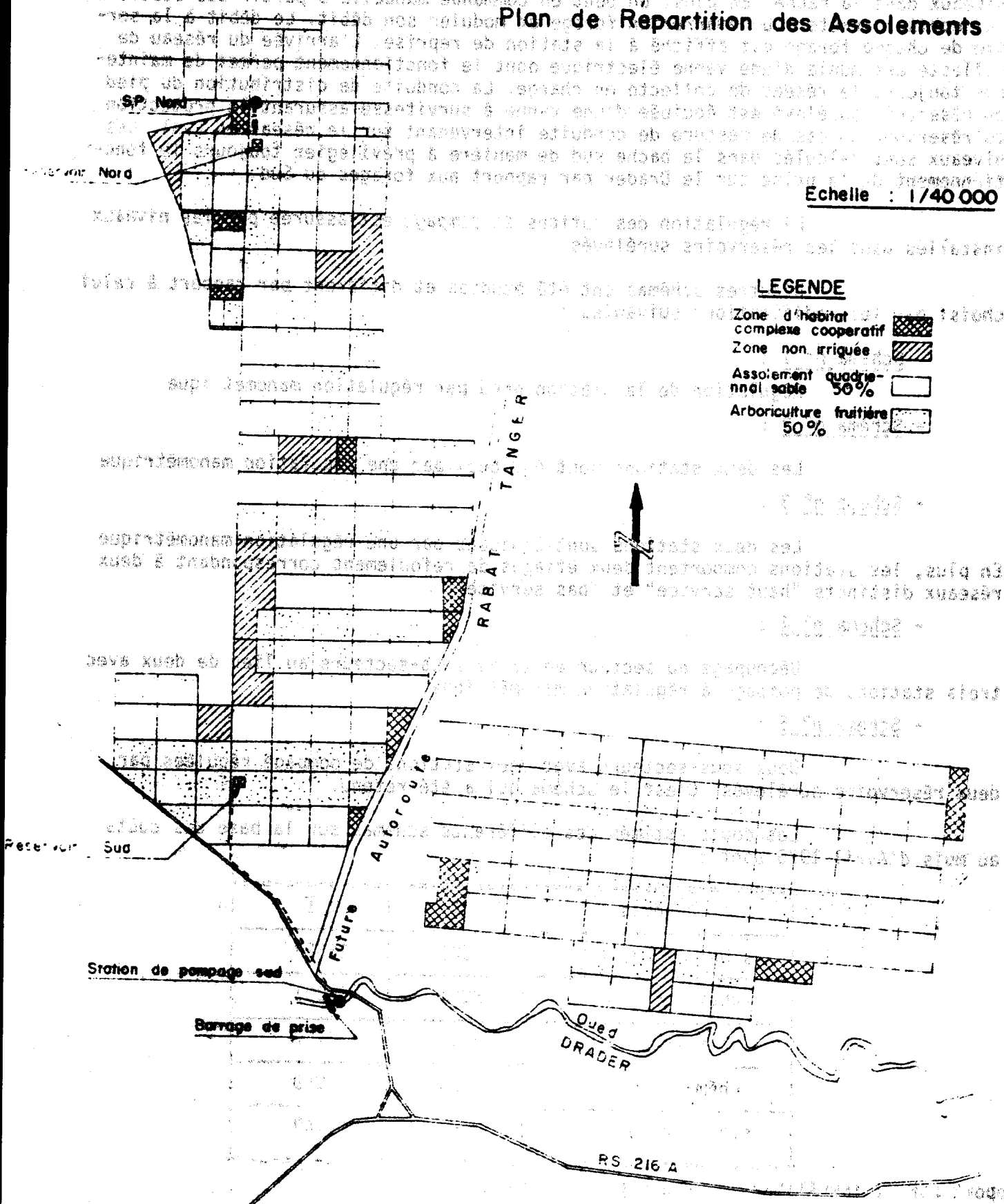
## RIVE DROITE

### Plan de Repartition des Assolements

Echelle : 1/40 000

#### LEGENDE

- Zone d'habitat complexe coopératif
- Zone non irriguée
- Assoiement quadrienal sable 50%
- Arboriculture fruitière 50%



Le schéma retenu est le plus cher car est plus sécuritaire et plus simple sur le plan de la gestion pour les stations de pompage. Il faut noter qu'à cette époque, la régulation manométrique n'était pas très sûre alors que celle par réservoirs surélevés était plus fiable et ne présentait aucune difficulté au niveau de la maintenance et des dépannages. La régulation manométrique a connu ces derniers temps des progrès très notables. Son entretien est devenu simplifié, ce qui le rend actuellement plus concurrentielle par rapport à la régulation par réservoirs surélevés. Ainsi pour des secteurs dont la superficie irriguée reste inférieure à 1000 ha, la régulation manométrique est à retenir car est plus économique et présente une fiabilité et maniabilité acceptables. Le choix de l'administration a été orienté vers de solutions rustiques, simples n'exigeant pas pour leur fonctionnement et maintenance des interventions spécialisées et ayant déjà fait leur preuve dans des périmètres en activité. Cependant, il y a lieu de souligner que les variantes étudiées au niveau du schéma se sont centrées surtout au niveau du type de régulation des stations de reprise. Il aurait été intéressant de voir les répercussions sur l'investissement qu'aurait pu avoir des changements au niveau des postes suivants :

- . modification dans l'implantation des stations de reprise et des réservoirs. Il est toujours intéressant d'avoir des stations de pompage au centre des secteurs d'irrigations
- . modification dans le nombre de secteurs. On aurait pu concevoir un secteur avec une station de reprise et un bassin d'alimentation reprenant toutes les eaux de forages ou un nombre de sous-secteurs important indépendant (de l'ordre de 5 à 6) alimentés chacun par une batterie de 3 à 4 forages refoulant dans un bassin enterré servant de mise en pression. Ce schéma pourrait comporter de petites installations avec des équipements plus rustiques

Ces éléments de schéma seront analysés et revues en fonction des résultats enregistrés au cours des deux premières campagnes d'irrigation pendant le fonctionnement des différents ouvrages. Ces résultats nous permettront de dégager un certain nombre d'orientations autour desquelles devrait s'axer la conception des équipements hydro-agricoles pour l'irrigation de secteurs à partir de ressources souterraines.

## 2- Mise en Valeur

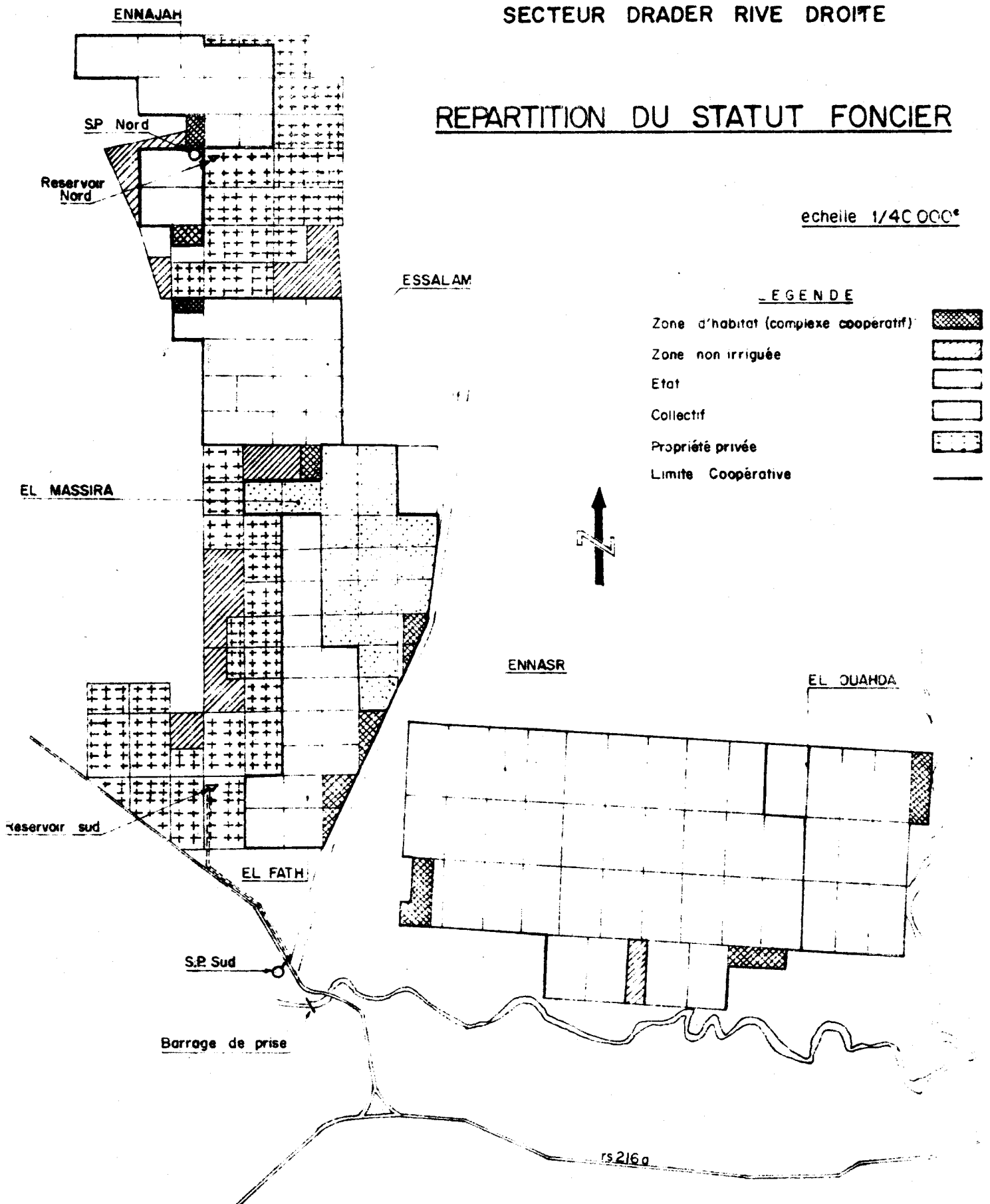
Les assolements prévus dans le secteur sont l'assolement quadriennal et l'assolement arboricole sur une superficie respective de 743 ha chacun. La répartition des cultures sur le secteur sera en croisière la suivante :

| Cultures ou plantations  | Surface en ha |
|--------------------------|---------------|
| Assolement quadriennal : |               |
| - blé                    | 185,75        |
| - bersim                 | 185,75        |
| - vesce-avoine           | 185,75        |
| - maraîchage d'hiver     | 185,75        |
| - maraîchage d'été       | 185,75        |
| - arachide               | 185,75        |

SECTEUR DRADER RIVE DROITE

REPARTITION DU STATUT FONCIER

echelle 1/40 000<sup>e</sup>



| Cultures ou plantations | Surface en ha |
|-------------------------|---------------|
| Assolement arboricole : |               |
| - avocats               | 181,00        |
| - citronniers           | 60,0          |
| - orangers (Navel)      | 201,00        |
| - clémentiniers         | 301,00        |
| total                   | 1857,50       |
| Intensité               | 1,27          |

Les besoins en eau de pointe, compte tenu des assolements retenus, se concentrent dans les mois de Juillet et Août. Ils correspondent au maraîchage d'été et à l'arachide dont le volume net à livrer à la parcelle est de 1 600 m<sup>3</sup>/ha. Compte tenu de l'efficacité globale de 0,76 le volume à livrer à la borne d'irrigation devra être de 2 100 m<sup>3</sup>/ha correspondant à un débit d'équipement de 0,78 l/s/ha.

Le matériel mobile d'irrigation à la parcelle est constitué par des antennes principales fixes en 4" et des antennes mobiles en 2" en aluminium sur lesquelles sont branchés des traîneaux déplaçables à l'aide de tuyaux en polyéthylène. Par rapport aux assolements retenus au niveau de l'étude, des modifications ont été introduites par l'insertion de la culture de la fraise dans le secteur Drader sur une superficie de 95,5 ha. En plus, il y a lieu de signaler la construction d'une unité de congélation de fraises et légumes au Drader pour une capacité journalière de 4 t/jour. La culture de la fraise est exigeante en eau au niveau de la plantation (Août-Septembre-Octobre) mais nécessite surtout une fréquence élevée des irrigations soit un retour de l'irrigation tous les deux jours soit 12 fois par mois au niveau du mois de pointe. Cela entraîne des contraintes importantes au niveau du déplacement du matériel et de l'irrigation des autres cultures.

Au niveau de l'organisation des agriculteurs, les terres collectives et domaniales ont été structurées en coopératives de la Réforme Agraire et distribuées aux agriculteurs en lots de 5 ha. A cet effet, une coopérative de 167 ha sur terrain domaniaux comprenant 28 lots et 5 coopératives sur 1030 ha de terrain collectif comprenant 197 lots ont été constituées. Les terres Melk ont été remembrées à l'intérieur du canevas d'irrigation.

Au niveau de l'élevage, il est prévu la substitution à l'élevage traditionnel existant (552 bovins, 1868 ovins, 220 mulets) un élevage laitier moderne pour valoriser les 1.300.000 U.F. qui seront produites sur le secteur. Pour cela, 442 vaches laitières de race pure seront achetées par les coopératives à raison de 2 vaches laitières par attributaire.

#### D)- Résultats du projet et recommandations

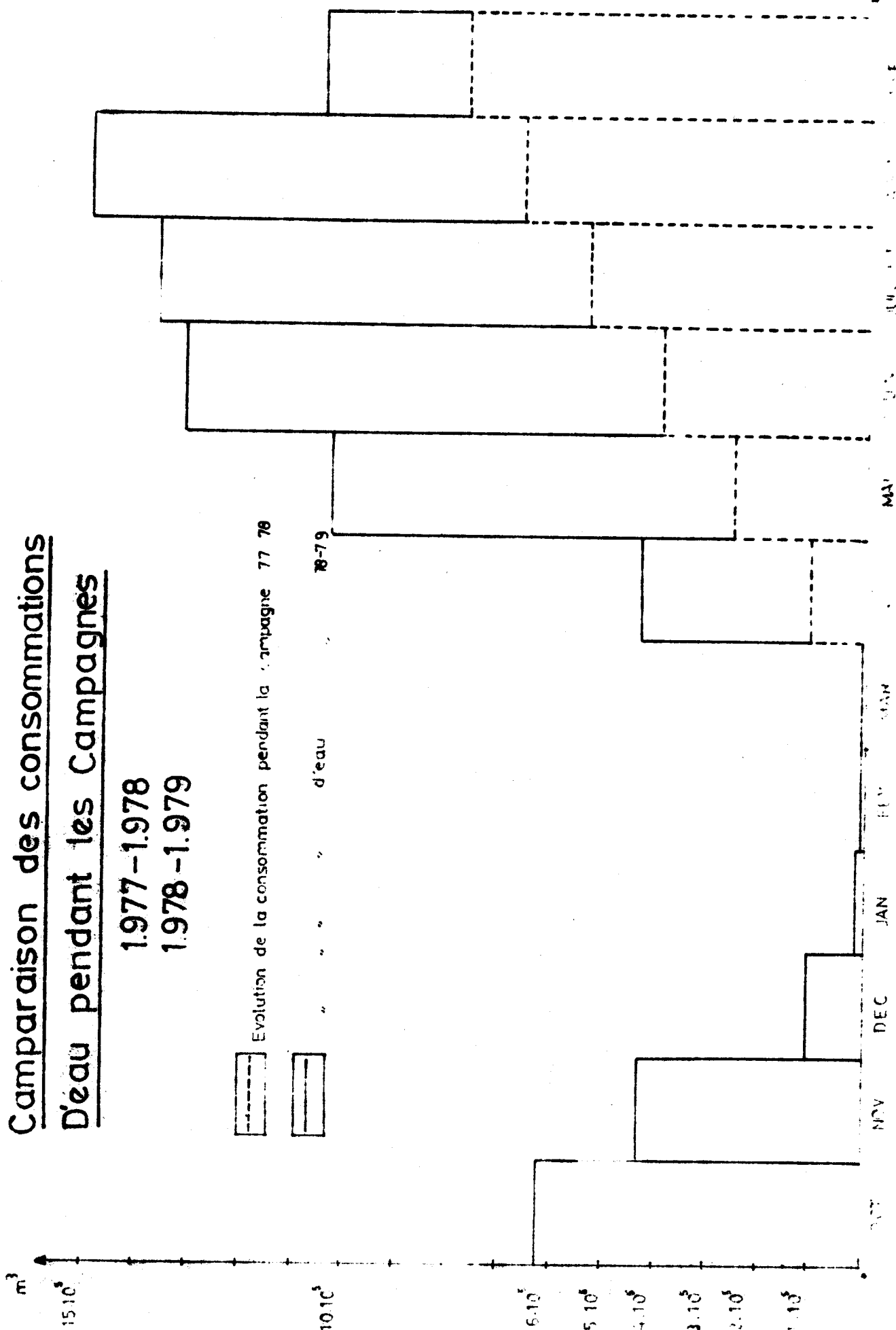
Les résultats sont à noter au niveau de la mise en valeur du secteur et de l'exploitation et de la maintenance des équipements hydro-agricoles.

# Comparaison des consommations D'eau pendant les Campagnes

1977-1978  
1978-1979

Evolution de la consommation pendant la campagne 77-78

" " " d'eau





# 1- Mise en valeur

La mise en valeur effectuée pendant les deux premières campagnes agricoles des années 1977-1978 et 1978-1979 a enregistré les résultats suivants :

| Cultures         | Année 1977-78 | Année 1978-79 | Rd/ha en quintaux |
|------------------|---------------|---------------|-------------------|
| - blé tendre     | 580           | 279,4         | 13                |
| - pomme de terre | 145           | 170           | 75                |
| - arachide       | 580           | 382           | 11                |
| - nioka          | -             | 140           | 47                |
| - fraise         | -             | 95,5          | 100               |
| - haricot vert   | -             | 80            | 11                |
| - haricot sec    | -             | 85            | 7                 |
| - pastèque       | -             | 139           | 124               |
| - fourrage       | 142           | 66,7          | 24                |
| Total            | 1 447 ha      | 1 437,60 ha   |                   |

Le taux de la mise en valeur a été de 65 % pour la première année et de 75 % pour la seconde année pour des superficies cultivées de l'ordre de 95 % de la superficie du secteur. Ce qui constitue un résultat intéressant quant on considère que 50 % de la superficie sera occupée par l'arboriculture. La mise en place de l'arboriculture commencera à partir du printemps de l'année 1980. Le blé et l'arachide occupent une place dominante. Cependant le maraîchage d'hiver et d'été ont occupé 40 % de la surface totale. On note le succès de la culture de la fraise, grâce à l'installation d'une unité de congélation de 4 t/jours dans le secteur. La mise en service de cette unité au printemps 1979 a permis la récolte de 1 150 t de fraise.

En ce qui concerne l'élevage, on attend la construction des complexes socio-économiques des coopératives de la réforme agraire et de l'habitat des attributaires en particulier les étables pour l'acquisition des vaches laitières de race pure.

Compte tenu de ces résultats, une évaluation économique à posteriori a été faite par l'Office compte tenu de la connaissance des coûts réels de l'équipement hydro-agricole réalisé et des résultats de la mise en valeur du secteur pour les deux premières années. Le taux de rentabilité interne du secteur compte tenu de ces éléments est de 16 %.

Le coût des équipements réalisés du secteur Drader s'établit comme suit :

|                              |               |
|------------------------------|---------------|
| Station de mise en pression  | 9 800 000 DP  |
| Réseau de forages            | 10 080 000 "  |
| Réservoirs                   | 6 800 000 "   |
| Réseau de distribution       | 12 800 000 "  |
| Matériel Mobile d'Irrigation | 2 600 000 "   |
| Travaux divers               | 8 700 000 "   |
|                              | <hr/>         |
|                              | 50 780 000 DP |

## 2- Exploitation et maintenance des ouvrages d'équipement

En vue de répondre au démarrage important de la mise en valeur connu dans ce secteur, les volumes d'eau consommés dans le secteur ont été successivement de 3.950.000 m<sup>3</sup> en 1977-78 et 7.900.000 m<sup>3</sup> pour 1978-79 par rapport au volume consommé en croisière de l'ordre de 10.000.000 m<sup>3</sup>. Le volume d'eau fourni par les 9 forages de la zone Nord a été de 700.000 m<sup>3</sup> pour la campagne 1978 et de 2.400.000 m<sup>3</sup> pour la campagne 1979. 10 forages du Sud ont livré 850.000 m<sup>3</sup> pendant la campagne 1979. Le reste des volumes a été fourni par la prise sur l'oued Drader. L'évolution des consommations pendant ces deux années est résumée dans le graphique ci-joint.

Le déroulement de ces deux campagnes a révélé un certain nombre de problèmes inhérents aux forages d'exploitation d'eau et à la complexité du schéma de distribution de l'eau du secteur. En effet, le secteur ayant été mis en eau en Février 1978, on a observé des pannes répétées sur les groupes immergés, et en Septembre 1978, deux groupes immergés ont été endommagés. L'analyse de l'état des groupes a mis en évidence une usure anormale des roues et des paliers due à la présence d'eau chargée de sable fin. Après examen de la situation, un développement systématique et nettoyage ont été opérés au niveau de tous les forages pendant le dernier trimestre de l'année 1978. On pensait que la durée de 2 à 3 ans qui avait séparé la réalisation des forages de leur mise en service avait entraîné l'accumulation de dépôts au fond des forages et nécessitaient pour cela un nouveau développement. Après ces développements, des essais de teneur en sable avaient été effectués sur chaque forage avec des débits voisinant le débit d'exploitation. Les résultats obtenus classent les forages en deux catégories :

- les forages donnant une forte teneur en sable au démarrage de l'ordre de 800g à 1kg par m<sup>3</sup> sur une durée de 4 à 6 heures et une teneur faible après (voir graphique ci-joint).

- les forages donnant une teneur de 60 à 80 g au démarrage sur une durée de 1 heure et une teneur nulle après (voir graphique ci-joint).

Il est utile de rappeler que les constructeurs de pompes garantissent 25 g/m<sup>3</sup> de sable en régime permanent et 40 g/m<sup>3</sup> au démarrage.

Les causes du phénomène pourraient être les suivantes :

- l'épaisseur de l'aquifère étant faibles, les rabattements importants (de 25 à 30 m) observés au démarrage entraînent un siphonage du forage qui provoque la mise en vitesse des sables extrêmement fins au niveau des différentes couches sableuses de l'aquifère.

- les débits importants donnent des vitesses élevées compte tenu du diamètre ( $\varnothing$  200 mm) faible de la chambre de captage à ce niveau qui mettent en mouvement les sables fins.

Pour pallier à ce phénomène et réduire surtout les répercussions qu'il peut avoir sur la vie des pompes, un certain nombre de principe d'exploitation ont été arrêtées à savoir :

- limitation des débits d'exploitation de tous les forages à 40 l/s au plus.

- fonctionnement des forages en continu (1 démarrage et 1 arrêt au plus par quinzaine).

il en ressort, compte tenu de la conception similaire, que ces forages ne pouvaient que se dégrader avec le temps. Des mesures ont été prises au niveau de l'exploitation pour assurer leur longévité maximale et un fonctionnement des équipements électromécaniques dans les meilleures conditions possibles. En vue de ne pas occasionner des répercussions graves sur l'évolution de la mise en valeur de ce secteur, une solution de rechange devrait être trouvée et si possible indépendante des forages surtout si ce problème ne trouvait pas de solution immédiate. Pour cela, une solution de maillage du secteur Drader au secteur R'Mel a été étudiée. Ce maillage permet le transfert de 700 l/s de l'extrémité du canal 70 irrigant le R'Mel au Drader par le biais d'une conduite  $\varnothing$  1000 mm sur 8 km environ en écoulement gravitaire. Les travaux de ce maillage commenceront l'année 1980.

La solution adoptée permettra de sécuriser la mise en valeur des années prochaines. Par la suite au niveau des forages, la réalisation de deux autres forages cimentés a été décidée ainsi que 4 puits de diamètre 1000 mm à 1200 mm sur une profondeur de 40 à 50 m.

L'examen du comportement des nouveaux et des anciens forages dans l'avenir nous amènera soit vers la solution du problème donc vers un débit disponible au niveau du secteur et l'irrigation de superficies supplémentaires en y adjoignant des équipements complémentaires, soit vers l'irrigation des secteurs à partir des eaux superficielles en cas où les problèmes sur les forages ne trouvent pas de solution. Il est utile de citer au passage l'avantage présenté par les puits à grand diamètre au niveau du démarrage des pompes. En effet, la réserve contenue dans le puits entraîne un rabattement lent et donc élimine le secouage des terrains avoisinants l'ouvrage. Par contre en ce qui concerne l'utilisation des crépines Johson avec un filtre, Les pertes de charges seront grandes à l'intérieur du système et induiront une diminution de débit importante. En plus, l'obstruction de filtre se fera rapidement avec le temps avec la décantation des sables fins dans le filtre.

La réflexion se continue et les différentes solutions sont en cours d'essais sur le terrain en vue de parvenir à une solution de captage adaptée des eaux souterraines de l'aquifère particulier du Drader.

Indépendamment des problèmes intervenus sur les forages, la gestion d'un secteur alimenté par les eaux souterraines pose un certain nombre de problèmes de part le nombre d'ouvrages à exploiter rapporté à la superficie irriguée. Pour le secteur Drader d'une superficie de 1500 ha, il y a 19 stations de pompage sur forages, 2 stations de reprise, 2 réservoirs, 2 réseaux de collecte, 2 réseaux de distribution. La multiplicité des ouvrages et la conséquence au niveau du nombre de matériel et de la nécessité d'assurer un stok de pièces de rechanges en bon état pour la maintenance pose des problèmes d'organisation de gestion beaucoup plus aidés qu'un secteur alimenté par une prise sur un oued ou un canal. En plus, le personnel de gestion à mettre sur le terrain devra être plus important tant en nombre qu'en qualification et devra être doté de moyens de fonctionnement.

On pourrait avancer sans exagération que les normes d'encadrement pour la gestion et la maintenance sont à doubler largement pour les secteurs irrigués à partir des eaux souterraines par rapport aux secteurs irrigués par des eaux superficielles. Des problèmes rencontrés au niveau de l'exploitation de ce secteur, on pourrait tirer un certain nombre de recommandations à conseiller pour l'équipement des secteurs irrigués par les eaux souterraines au niveau du schéma hydraulique d'équipement.

. Il est rationnel de prévoir pour des projets similaires des bassins de stockage d'un volume voisinant la consommation journalière en pointe du secteur environ pour le fonctionnement continu des forages suivant un programme arrêté annuellement par rapport aux besoins en eau des plantes.

. Il est souhaitable de prévoir 15 % à 20 % de sécurité au niveau du nombre des forages et de leur débit par rapport aux débits nécessaires pour l'irrigation du secteur. Cette sécurité nous permet d'avoir un équipement rustique avec un fonctionnement manuel et nous dispense du matériel de télécommande sophistiqué et difficile à maintenir et surtout à remplacer.

. Prévoir un réseau de collecte des forages. Dans le cas de deux ou trois réseaux, envisager des maillages qui assurent la continuité de service en cas de panne.

. Prévoir des maillages au niveau des réseaux de distribution.

L'approche au niveau économique de l'équipement d'un secteur par eaux souterraines devait faire l'objet d'un examen plus approfondi au niveau de la sécurité d'alimentation et des conséquences sur la continuité en cas de panne sur 1, 2, 3, ... forages. En plus, il est utile dans ce cas de prévoir un ou deux groupes électrogènes mobiles en cas de panne sur les postes de transformation et un stock de groupes immergés voisinant les 10 % des groupes posés.

### C o n c l u s i o n s

L'équipement hydro-agricole d'un secteur alimenté par les eaux souterraines est plus complexe au niveau de la conception car se base sur une ressource en eau de captage plus difficile par rapport à une ressource en eau régularisée superficielle. En plus, il y a doublement des réseaux d'adduction par des réseaux de collecte et des réseaux de distribution avec multiplication des équipements électromécaniques correspondants. Ces contraintes ont pour résultat des difficultés plus grandes d'exploitation et de maintenance et des moyens beaucoup plus importants à mettre en oeuvre au niveau du personnel et des moyens de fonctionnement (voitures, personnel, pièces de rechanges...).

La mise en valeur intensive observée au démarrage de ce secteur avec la mise en place d'une infrastructure agro-industrielle conséquente a mis l'administration devant l'obligation d'envisager toutes les solutions possibles au niveau de la sécurité d'alimentation pour pallier à toute éventualité. Il est extrêmement délicat voir même impossible, de mettre un secteur nouvellement mis en eau ayant eu un démarrage au niveau de la mise en valeur réussi devant une pénurie d'alimentation en eau. Les conséquences sur l'avenir du secteur et l'organisation des coopératives seront lourdes même si les problèmes techniques sont résolus par la suite. Toutefois, les solutions arrêtées permettent de continuer la réflexion et la recherche de solutions appropriées à l'aquifère du secteur.

Ainsi de l'expérience de deux années de fonctionnement du secteur Drader, on pourrait proposer les thèmes de recherches ou de réflexion les suivants :

- Captage des ressources souterraines dans des aquifères à horizon sableux très fins. Conception de l'équipement du forage, méthode de forage (battage ou Rotary), diamètre de foration, diamètre du puits équipé, diamètre de la chambre de captage, type de crépine (degré d'ouverture une ou plusieurs crépines, nature, etc...), granulométrie et épaisseur du massif filtrant, coûts..., définition des équipements électromécaniques appropriés, pompes, moteurs, robinetterie, appareil de protection.

- Recherche de schémas d'équipement économiques et adaptés par rapport aux problèmes de sécurité d'alimentation en eau, et par rapport à l'utilisation de matériel et matériaux de technologie adaptée aux pays utilisateurs.

- Définition de normes d'équipement propres aux secteurs alimentés par les ressources souterraines.

- Définition et conception de l'organisation de la structure chargée de la gestion du secteur irrigué par les eaux souterraines au niveau :

- . organisation et structure

- . définition des normes d'encadrement - Adjoints Techniques électromécaniciens - Opérateurs stations - Agents réseaux etc...

- . définition des moyens de fonctionnement (bureaux, logements, véhicules, carburants etc...).

Caractéristiques hydrauliques  
des forages d'exploitation du Drader

| S/Secteur Nord :  | Débit<br>d'exploitation<br>l/s | Rabattement | H.M.T.<br>(m) | Ø mm<br>Tubage | Ø mm<br>Cahmbre<br>de<br>captage |
|-------------------|--------------------------------|-------------|---------------|----------------|----------------------------------|
| forage 2032 (SIF) | 25                             | 32,2        | 38            | 200<br>317     |                                  |
| " 1715 (SOL)      | 30                             | 32          | 50            | 200<br>360     |                                  |
| " 2035 (SIF)      | 52                             | 24,2        | 54            | 200<br>317     |                                  |
| " 2036 (SOL)      | 65                             | 20          | 46            | 200<br>360     |                                  |
| " 2051 (SOL)      | 35                             | -           | -             | 200<br>400     |                                  |
| " 1717 ( " )      | 40                             | 21,13       | 48            | 150<br>317     |                                  |
| " 1716 ( " )      | 50                             | 26          | 44            | 200<br>360     |                                  |
| " 1582 (SIF)      | 50                             | 20          | 54            | 200<br>317     |                                  |
| " 1718 (SOL)      | 40                             |             |               | 200<br>317     |                                  |
| " 1714 ( " )      | 80                             | 13          | 49            | 200<br>360     |                                  |
| Total             | 467                            |             |               |                |                                  |
| S/Secteur Sud :   |                                |             |               |                |                                  |
| forage 1583 (SIF) | 36                             | 36          | 52            | 200<br>317     |                                  |
| " 1581 ( " )      | 62                             | 14,3        | 32            | 200<br>317     |                                  |
| " 1719 (SOL)      | 40                             | 36,4        | 50            | 200<br>317     |                                  |
| " 1724 ( " )      | 40                             | 27          | 44            | 200<br>317     |                                  |
| " 1721 ( " )      | 50                             | 20          | 40            | 200<br>360     |                                  |
| " 1725 ( " )      | 70                             | 16,5        | 40            | 200<br>317     |                                  |
| " 1720 ( " )      | 50                             | 19          | 46            | 200<br>317     |                                  |
| " 1723 ( " )      | 100                            | 17          | 47            | 300<br>360     |                                  |
| " 1726 ( " )      | 80                             | 12,5        | 23            | 300<br>360     |                                  |
| " 1722 (SOL)      | 35                             | 8,7         | 31            | 200<br>360     |                                  |
| Total             | 563                            |             |               |                |                                  |
| Total Général     | 1.030                          |             |               |                |                                  |

## Eaux Souterraines et Irrigation

Le point de vue du modéliste

A. LEVASSOR\*

---

Si, dans les statistiques mondiales, l'irrigation à partir des eaux souterraines n'a qu'une importance marginale, elle constitue néanmoins une pratique agricole très ancienne et largement répandue sur tous les continents. On observe sa croissance régulière, surtout en zones arides ou semi-arides, mais également en climat tempéré.

L'objectif premier de l'irrigation est l'établissement ou le développement d'une agriculture permanente [1]. Dans cette perspective à long terme, il est clair que l'irrigation, le drainage et la bonification des terres d'un périmètre irrigué sont des aspects complémentaires et indissociables de la maîtrise de l'eau. Il est également important de saisir la dimension régionale du problème: surtout à long terme, les différents pôles d'activité agricole ne peuvent, à de nombreux points de vue, être considérés comme indépendants les uns des autres.

### MODES D'UTILISATION DES EAUX SOUTERRAINES POUR L'IRRIGATION

En irrigation, le mode d'utilisation le plus courant des eaux souterraines est le pompage dans des puits ou des forages. Les ouvrages de captage sont implantés à l'intérieur même ou à faible distance du périmètre irrigué. Les moyens d'exhaure sont très variables. Certains (forages artésiens, sources, foggaras ou quanats, etc....) ne font pas appel à une source d'énergie. Dans la plupart des cas, il faut fournir un travail mécanique (traction animale, moteurs,...) pour relever l'eau jusqu'au niveau du sol.

On peut encore utiliser la capacité de stockage et de régulation des aquifères dans le but de renforcer le débit des rivières pendant les saisons de forte demande en eau d'irrigation. Considérons un aquifère en relation avec une rivière. Si les conditions hydrogéologiques sont favorables, l'injection dans la nappe d'un certain débit à une distance  $d$  de la rivière aura pour effet, après un certain délai nécessaire au transfert de l'eau dans le milieu saturé, de renforcer le débit de base de la rivière. Ce supplément de débit permet de satisfaire une plus grande demande en eau d'irrigation. Inversement, connaissant la demande à satisfaire à partir d'eau de rivière, on cherchera à déterminer les conditions optimales d'injection dans la nappe.

---

\* Centre d'Informatique Géologique, Ecole des Mines de Paris.  
35, rue Saint-Honoré, 77305 Fontainebleau, France.  
Tel: (1) 422.48.21

## VARIABILITE DES APPORTS ET STRATEGIE D'EXPLOITATION DES AQUIFERES

Il existe, pour chaque aquifère, une variabilité naturelle des apports dont l'incidence est variable en fonction des conditions hydrogéologiques. En règle générale, ce sont les aquifères les plus proches de la surface du sol qui sont les plus sensibles aux fluctuations de l'infiltration. Dans le cas des nappes libres peu ou pas exploitées, on constate souvent une corrélation significative entre les niveaux piézométriques moyens d'une année et la somme des écarts pluviométriques à la moyenne. L'interprétation de "l'état" d'un aquifère doit donc tenir compte de l'historique des apports. La défaillance d'un système d'irrigation à partir d'eaux souterraines peut s'expliquer par l'accumulation de déficits pluviométriques pendant plusieurs années. Le diagnostic de surexploitation ne doit être avancé, dans ce cas, qu'avec beaucoup de prudence, après une analyse détaillée de la situation.

L'utilisation optimale de la capacité de stockage des aquifères est également fonction de la variabilité des apports. Si ceux-ci étaient parfaitement constants, le débit optimal d'exploitation serait égal au débit entrant dans l'aquifère. S'il existe au contraire une certaine variabilité des entrées, on aura intérêt à pomper suffisamment afin de libérer une capacité de stockage suffisante pour emmagasiner les apports élevés de faible probabilité d'occurrence. Si le débit pompé est trop faible, on perd en surface irriguée et on ne bénéficie pas complètement d'apports peu fréquents, mais abondants.

## SALINISATION DES SOLS ET DES EAUX SOUTERRAINES EN RELATION AVEC L'IRRIGATION

D. YARON estimait, en 1974, qu'un tiers des surfaces irriguées dans le monde connaissait des problèmes de salinité. Ce phénomène, particulièrement accusé en zone aride, n'épargne pas d'autres climats. On observe, en général, une augmentation régulière des concentrations en sel dans les eaux souterraines, et parfois dans les sols. Cette salinisation affecte la fertilité du sol et dégrade de manière quasi-irréversible la qualité des eaux souterraines.

En période sèche, l'évapotranspiration concentre le sel dans les horizons superficiels du sol, provoquant parfois la formation de croûtes. Une partie du sel descend jusqu'à la nappe si la dose d'irrigation est trop forte.

En période de pluies (si elle existe ...), le sol est lessivé de son sel, lequel pénètre alors massivement dans la nappe qui tend par ailleurs à remonter.

L'obtention de conditions stables pour l'agriculture passe évidemment par une maîtrise de l'équilibre concentration-lessivage. On peut mettre en oeuvre plusieurs techniques pour y parvenir:

- Appliquer des doses d'irrigation en période de faible évapotranspiration afin de lessiver artificiellement le sol. Cette méthode se pratique surtout dans le cas où l'aquifère se trouve à une certaine profondeur.

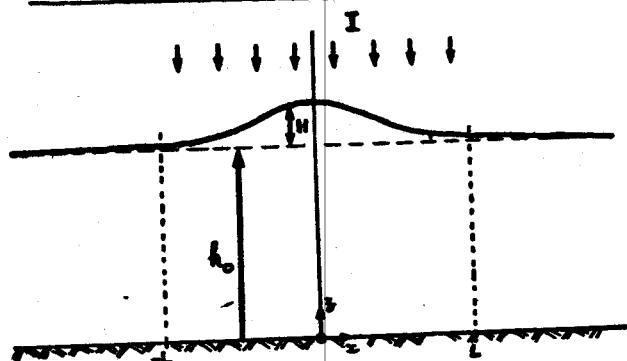


- Drainer superficiellement l'aquifère, afin d'évacuer du périmètre les sels accumulés dans le sol en fin de période d'irrigation. Cette technique convient pour les aquifères peu profonds. Elle doit également permettre de maintenir la surface de la nappe phréatique en bonne position par rapport à la zone d'enracinements des végétaux. Le drainage des basses plaines pose des problèmes particuliers de conception des réseaux.

En tout état de cause, l'irrigation exerce un effet défavorable sur la structure des sols. Leur exploitation en zone aride et semi-aride est rendue encore plus délicate par l'existence de risques de salinisation, puis d'alcalisation quasi-irréversible. Les périmètres doivent donc être soumis à une surveillance constante et la conduite rationnelle des cultures exige un bon niveau de technicité.

Le rejet d'eaux fortement minéralisées peut, en outre, soulever des conflits d'intérêts entre usagers.

#### RELATION ENTRE L'IRRIGATION ET LA DYNAMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES



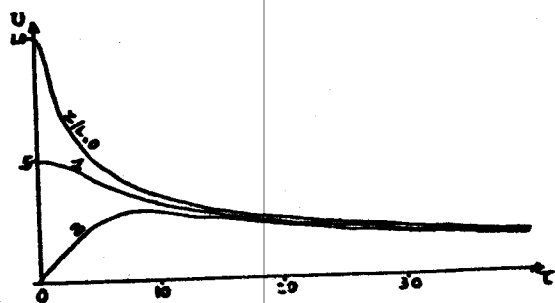
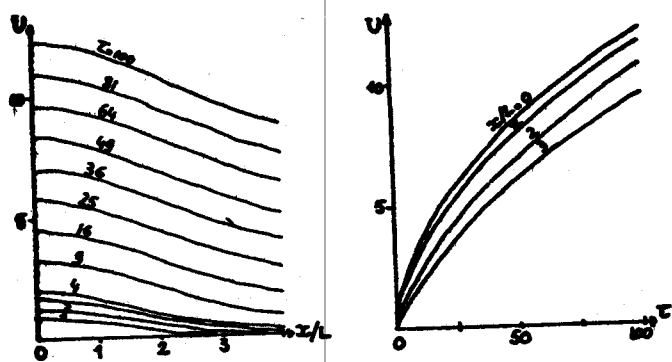
Le problème le plus simple consiste à rechercher l'effet d'un apport constant d'eau sur une nappe libre initialement horizontale, homogène et d'extension infinie. Le domaine d'injection est une bande de largeur  $2L$ .

Le débit parvenant à la nappe est supposé constant, égal à  $I$ .

La solution de ce problème, en terme de variables adimensionnelles, est représentée sur les deux premiers abaques de la Fig. 1 [2].

Si l'infiltration cesse brusquement, la crête piézométrique tend à se résorber par étalement. L'évolution du potentiel est donnée par l'abaque du bas de la Fig. 1

On estime qu'en moyenne, le débit  $I$  traversant la surface de la nappe est égal à la moitié du débit distribué aux parcelles.



$$U_0 = \frac{D_0 \alpha H}{L^2 I}$$

$$\tau = \frac{D_0 t}{L^2}$$

$D_0 = \frac{K h_0}{\alpha}$ 
 $\left\{ \begin{array}{l} K, \text{ PERMEABILITE} \\ h_0 = \text{POTENTIEL INITIAL} \\ \alpha = \text{POROSITE EFFICACE} \end{array} \right.$

Un second problème élémentaire apparaît chaque fois que l'irrigation est faite à partir d'eaux souterraines. C'est celui de l'évolution des potentiels de l'aquifère en réponse à un pompage. Depuis la première formule classique établie par Theis, de nombreuses solutions analytiques ont été publiées, correspondant à une grande variété de conditions hydrogéologiques et de modes de cantage. Plusieurs ouvrages récents exposent de façon détaillée ces résultats qui donnent une bonne compréhension du comportement des aquifères, mais seulement à court terme [3].

En effet, après un certain temps de pompage et/ou d'injection dans un aquifère, diverses influences extérieures commencent à se manifester. La plus générale est celle des conditions aux limites: rivières, barrières imperméables, zone d'alimentation, etc... Il peut s'y ajouter des interférences à plus ou moins longue distance entre centres d'exploitation d'un même aquifère. Si les équations du mouvement des eaux souterraines sont linéaires, le principe de superposition permet de combiner des solutions analytiques pour résoudre des problèmes complexes où l'on prend en considération le rôle des limites et des interférences. En fait, le volume des calculs à entreprendre et la complexité des conditions naturelles font le plus souvent de cette approche une simple possibilité théorique. Il devient rapidement préférable de chercher à résoudre l'équation générale régissant la dynamique des eaux souterraines. Cette équation, dite "de la diffusivité", est une combinaison du principe de conservation de la masse et de la loi de Darcy. Si la forme générale de la solution est inconnue, on sait néanmoins l'évaluer, par divers procédés en un nombre fini de points du domaine aquifère. Il suffit donc de choisir ces points en nombre suffisant pour avoir une estimation satisfaisante de la distribution des potentiels. On a pris l'habitude, en hydrogéologie, d'appeler "modèle" tout procédé susceptible de donner une représentation de la solution de l'équation de la diffusivité. Nous nous limiterons aux seuls modèles mathématiques, désignés ainsi par opposition aux modèles "physiques" ou "analogiques". Les modèles mathématiques utilisent des nombres pour décrire l'état de la nature. La résolution des équations est donc toujours ramenée à une suite d'opérations arithmétiques élémentaires, et on utilise un ordinateur pour effectuer ce travail automatiquement. Une simulation est un calcul d'estimation de la réponse du système modélisé à une série de données d'entrée. Les entrées sont des conditions aux limites, généralement variables dans le temps et dans l'espace, ou peuvent être considérées comme telles.

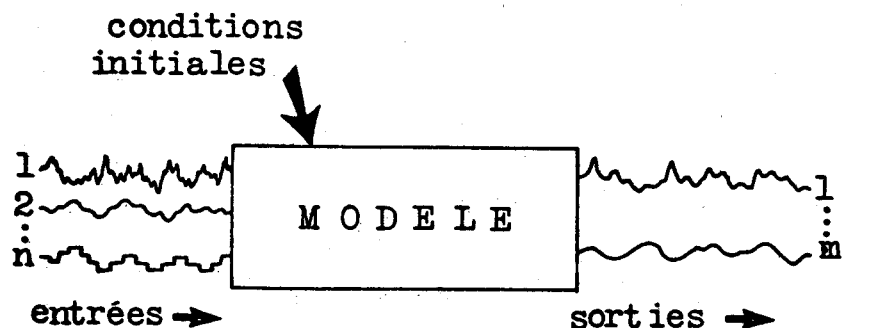


FIGURE 2: SCHEMA D'UNE SIMULATION.

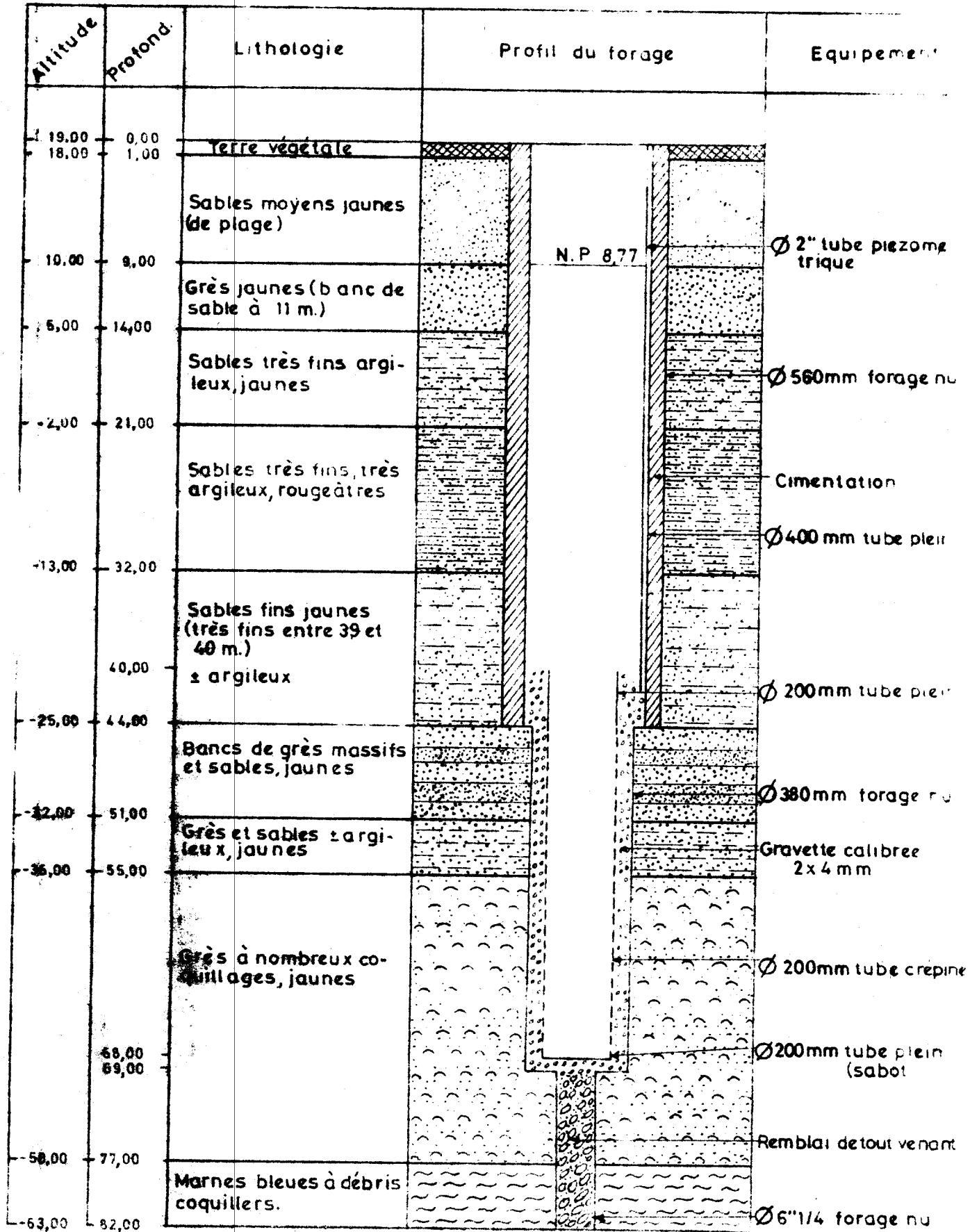
# FORAGE O.R.M.V.A.L.\_DRADER

FIGURE 3

N° I.R.E. 2052/3

X = 423,166 Y = 479,565 Z = 19 m

Date d'exécution: MAI-JUIN 1979



- Mise en route des forages arrêtés 1 à 2 heures par mois.

Au niveau de la conception du forage en question, les propositions suivantes ont été étudiées :

- Chemisage de la chambre de captage pour une crépine Johson et filtre.
- Cimentation du massif filtrant au niveau de la partie pleine du forage avec injection de ciment par tube au lancement.
- Réalisation de nouveaux forages avec une conception adaptée au terrain tenant compte de l'expérience acquise. Pour cela deux solutions ont été envisagées.
- Une conception classique (voir fig. 3) ressemblant aux forages initiaux avec cimentation de l'annulaire et aggrandissement des diamètres au niveau de la partie pleine ( $\emptyset$  400 mm au lieu de  $\emptyset$  360 mm) et changement de la granulométrie et de l'épaisseur du massif filtrant (gravette 2/4 mm sur 100 mm d'épaisseur par rapport gravette 3/8 mm).
- La réalisation de puits de 1,00 à 1,2 m de diamètre sur 40 à 50 m de profondeur.

Au départ, l'expérience de la solution d'injection d'un coulis de ciment par lançage a été essayé dans le forage 2036 qui donnait de fortes teneurs en sable à son débit d'exploitation de 65 l/s. 30 tonnes de ciment ont été injectées par tubes placés à 1,2 m autour de l'axe du forage pour consolider le sol aux endroits perturbés. Au niveau des essais de pompage, l'ouvrage s'est comporté normalement jusqu'à un débit de 50 l/s et s'est totalement dégradé lorsque les débits ont voisiné le débit de 60 l/s. Cette technique s'est révélée en plus très coûteuse et exige une surveillance spécialisée avec un matériel très coûteux. L'opération a coûté environ 120.000 DH. Pour cela, cette technique a été abandonnée et on a procédé au remplacement du forage 2036 et 1722 par la réalisation de deux forages cimentés. Ces deux forages ont donné au niveau des essais de développement des teneurs de l'ordre de 40 g/m<sup>3</sup> pendant 35 mn et des teneurs faibles par la suite. Par contre, on a observé une diminution des débits recueillis qui ont chuté de 60 l/s à 35 l/s pour le premier et de 45 l/s à 25 l/s pour le second avec des rabattements plus importants.

Pendant le mois de Mars 1979, des dégâts très importants sont intervenus sur le forage 1718. Un effondrement sur un diamètre de 7,00 m autour de l'axe du forage et une hauteur de 8 m a eu lieu provoquant le blocage de la pompe et de la colonne montante. En plus des fissures sont apparues sur les terrains avoisinants des forages 1714, 1721, 1725. Ces désordres sont le signe d'une dégradation avancée à l'intérieur des forages qui risquent de se déclarer progressivement alors que le secteur est alimenté en pointe à 75 % à partir des ressources en eau souterraines.

Le problème est d'autant plus grave que le sous-secteur Nord est alimenté uniquement par 9 forages dont 3 forages ont connu des dégâts importants (1718, 2036, 1714). Ainsi dès la fin de l'année 1978, il a été décidé de réaliser le maillage entre le réseau Sud et le réseau Nord de distribution. Ce maillage permet le transfert du Sud au Nord d'un débit de 350 l/s et répartit ainsi la pénurie équitablement sur les deux sous-secteurs. Ce maillage a été fonctionnel à partir du mois d'Avril 1979 et a participé à la continuité de service pour l'irrigation de la totalité du secteur. Cependant, vu l'évolution des phénomènes observés sur les forages détruits,

Il faut distinguer, parmi les conditions aux limites, celles qui peuvent (et doivent) être directement mesurées sur le terrain, et celles qui, résultant de processus complexes, doivent être estimées.

Les mesures de potentiel hydraulique, de débit et de hauteur d'eau dans les rivières, de prélèvements dans les puits et forages entrent dans la première catégorie. Les apports par infiltration, les sorties par évapotranspiration et les transferts entre aquifères et cours d'eau sont autant de termes difficiles à évaluer. Ils correspondent à des échanges au niveau des interfaces milieu saturé-milieu non saturé d'une part, eaux souterraines-eaux de surface d'autre part. Il est donc nécessaire, pour parvenir à une représentation satisfaisante des aquifères d'établir des "couplages" entre différents types de modèles, correspondant chacun à un milieu spécifique. On aboutit ainsi à une représentation de processus très complexes sous forme d'un "système modulaire" [4].

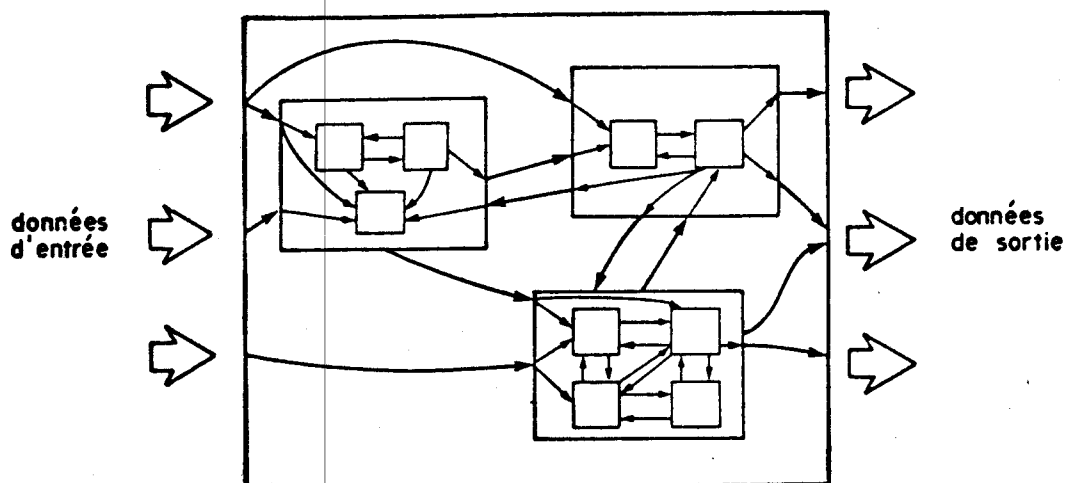


FIGURE 3: EXEMPLE DE SYSTEME MODULAIRE

Chaque milieu (atmosphère, non saturé, aquifères, cours d'eau) est identifié à un composant du système de telle sorte que toute modification d'un élément entraîne, à plus ou moins longue échéance, un changement d'état des autres éléments. La modélisation porte donc tout autant sur l'identification des équations décrivant les processus caractéristiques de chaque milieu que sur celles des relations entre les différents éléments du système. Le modèle est alors l'assemblage de toutes ces relations mathématiques.

Cette approche est intéressante à plusieurs titres: elle tend à supprimer les séparations artificielles que l'on établit souvent entre les différents milieux. Elle permet, en outre, une très grande souplesse dans la représentation de chacun des composants, en sorte que le modèle peut constamment être adapté à l'évolution des connaissances. Enfin, elle facilite la collecte rationnelle des données.

Un modèle de ce type, mis au point grâce à une collaboration entre l'Ecole des Mines de Paris, l'ORSTOM et l'INRS-Eau du Québec, est actuellement en cours d'expérimentation [5]. Il tire parti des analogies conceptuelles entre deux modèles déjà largement éprouvés. L'un, NEWSAM, est utilisé couramment pour l'étude des systèmes aquifères multicouches, l'autre, CEQUEAU, pour la simulation des écoulements de surface. Ces deux modèles utilisent une même base de discrétisation de l'espace et des représentations analogues des écoulements en milieu non-saturé. Tous deux ayant été utilisés avec succès dans des contextes très variés, il paraissait donc naturel de les assembler afin de disposer d'un outil de portée très générale.

#### EXPLOITATION ET UTILISATION OPTIMALES DES EAUX SOUTERRAINES

Considérons une région disposant comme seule source d'approvisionnement en eau d'un aquifère ou d'un système d'aquifères. Supposons que les activités économiques consommatrices d'eau y soient réparties entre plusieurs pôles distants les uns des autres et disposant chacun d'un ou plusieurs forages. Bien que cela ne soit pas indispensable à notre propos, nous supposons que ces rôles correspondent en fait à des périmètres irrigués. La politique de production de chaque périmètre est définie par un "décideur" qui poursuit des objectifs bien précis: maximiser la production ou le revenu, etc.... Pour cela, il dispose de facteurs de production tels que la main d'oeuvre, l'outillage, les engrais, les produits phyto-sanitaires, les sols et l'eau. Les conditions d'utilisation de ces facteurs peuvent être considérées comme des données de l'économie. On peut admettre qu'il existe un niveau optimal d'emploi de chacun de ces facteurs, permettant de réaliser au mieux les objectifs. En particulier, il existe un débit optimal pour chacun des forages d'irrigation du périmètre. Si ces débits sont bien sûr fonction des caractéristiques de chacun des forages et des conditions hydrogéologiques locales, ce ne sont pas les seuls paramètres qui interviennent. On peut montrer que les prélèvements opérés dans les autres périmètres sont des variables à prendre en compte dans la détermination des débits optimaux. La situation se résume donc ainsi:

- Chaque décideur cherche un niveau optimal de réalisation de ses objectifs, compte-tenu des contraintes locales qu'il rencontre.
- Chaque décideur doit, pour déterminer l'optimum d'activité de son périmètre, connaître les débits prélevés dans les périmètres qu'il ne contrôle pas. Cette condition est évidemment difficile à satisfaire sans l'intervention d'un organisme chargé de contrôler les prélèvements.

Il faut souligner, d'autre part, que les décideurs agissent essentiellement en fonction de leurs intérêts à court terme. Or, comme nous l'avons évoqué plus haut, l'intérêt de la collectivité est de préserver à long terme les ressources en eau dont l'utilité future sera au moins aussi grande que l'utilité présente.

Il est donc nécessaire que l'Etat intervienne pour arbitrer entre les intérêts à court terme et à long terme.

Plusieurs politiques sont alors réalisables:

- Soit l'Etat a le pouvoir de fixer le niveau d'activité de chaque pôle d'activité en fonction de l'intérêt général. Dans ce cas,

l'optimum collectif peut être atteint en tenant compte des contraintes exprimant l'intérêt à long terme de la société.

- Soit l'Etat n'a pas le contrôle des niveaux d'activité. Il peut néanmoins déterminer des niveaux souhaitables d'activité et instituer un système incitant les décideurs à respecter ces "quotas" indicatifs. On peut, par exemple, instituer des redevances et des primes allouées en fonction du degré de réalisation des normes [6].

Des systèmes analogues peuvent être mis en oeuvre pour contrôler la qualité des eaux.

#### CONCLUSION

L'irrigation à partir des eaux souterraines n'est pas une solution facile pour les problèmes de développement agricole, surtout dans le cas des zones arides ou semi-arides. Certes, on dispose de techniques très efficaces pour aider à la conception et à la gestion des projets. Nous avons essayé de donner rapidement "l'état de l'art" en cette matière. Il reste cependant évident que le meilleur des modèles ne peut remplacer le savoir faire et l'expérience. D'autre part, l'emploi de techniques avancées implique nécessairement un recours à l'agriculture scientifique en quête de débouchés commerciaux. Dans un certain nombre de cas au moins, des projets modestes et peu onéreux auraient un impact supérieur au niveau de l'économie et de l'amélioration du sort des gens [7]. Le problème de l'exploitation des eaux souterraines pourrait alors se résoudre grâce à la mise en valeur des compétences et des ressources locales.

-----

#### REFERENCES

- 1 - UNESCO/FAO: Irrigation, drainage and salinity, 1973.
- 2 - P. Ya. POLUBARINOVA-KOCHINA: Theory of groundwater movement., Princeton University Press, 1962.
- 3 - W.C. WALTON: Groundwater resources evaluation. McGraw Hill, 197 .
- 4 - H.A. SIMON: La science des systèmes. Epi, 1974.
- 5 - G. GIRARD, E. LEDOUX, J.P. VILLENEUVE: Modèle intégré pluie, eau de surface, eau souterraine. Société Hydrotechnique de France, 21-22 Novembre 1979.
- 6 - A. LEVASSOR: Simulation et gestion des systèmes aquifères. Ecole des Mines, 1978.
- 7 - UNESCO: Développement des régions arides et semi-arides: obstacles et perspectives. Notes techniques du MAB6, 1977.

partie au bassin hydrographique du Pinios, d'une superficie de 10 600 kilomètres carrés et dont les points culminants ont des altitudes comprises entre 2500 et 3000 mètres (cf. figure 2). L'essentiel des réserves en eaux souterraines se trouve dans le remplissage alluvionnaire de deux grandes dépressions d'origine tectonique allongées en direction NO-SE. Ce sont la Plaine occidentale et la Plaine orientale de la Thessalie et elles constituent la partie la plus riche et la plus peuplée de cette province.

ETUDE DES POSSIBILITES D'EXPLOITATION  
DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES  
DE LA THESSALIE (Grèce) POUR L'IRRIGATION

par

J.M. DUJARDIN, P. GAILLARD, R. HUBER, J. SIEBERT  
SOGREAH, Ingénieurs-Conseils, Grenoble, France

Pendant une année hydrologique moyenne les précipitations apportent de 500 à 900 millimètres d'eau dans les zones de plaine. Sur les reliefs les précipitations, dont une partie appréciable tombe sous forme de neige, sont beaucoup plus abondantes : les valeurs maximales dépassent 1800 mm en bordure SO de la plaine occidentale. Les étés sont secs et chauds, il arrive couramment que la température atteigne 40 degré C. en plaine. L'évapo-transpiration potentielle atteint environ 1300 millimètres en année moyenne.

Une grande partie des pluies tombe pendant l'hiver. Les sols emmagasinent alors une réserve d'eau qui permet aux cultures de se développer pendant les premiers mois du cycle végétatif. L'irrigation ne devient nécessaire qu'au début de la saison chaude, généralement en mai.

Dans les deux plaines le sous sol est formé d'alluvions. Les dimensions des éléments vont des galets grossiers aux silts argileux selon les lieux considérés, toutes les catégories intermédiaires étant représentées. Des calcaires ou des marbres karstifiés existent par endroit soit dans les collines bordant les plaines, soit localement à l'intérieur de la Plaine occidentale (cf. figure 3).

Les alluvions et les karsts reçoivent des apports provenant de l'infiltration des pluies et des eaux ruisselées. Pendant les mois d'été les réserves emmagasinées dans les aquifères sont utilisées pour pallier l'insuffisance des pluies par rapport aux besoins agricoles.

Antérieurement au projet, l'irrigation était déjà pratiquée sur une étendue considérable et elle s'est encore développée durant la période 1972-1979. La période d'irrigation s'étend usuellement du début de mai à la mi-septembre. Le coton tient le premier rang parmi les cultures irriguées qui comprennent aussi : betterave à sucre, tabac, plantes fourragères, etc. Le procédé le plus courant est l'aspersion. Les sources d'eau sont diverses : eaux de surface, généralement appliquées sur des périmètres de gestion collective, ou eaux souterraines, presque toujours sous le régime de l'exploitation privée. Des cultures alimentées en eau à partir de forages ou de puits se rencontrent un peu partout dans les deux plaines alluviales avec une concentration qui varie selon la facilité matérielle de réaliser des captages.

#### 4. DIFFERENTES PHASES DE L'ETUDE

Le calendrier de réalisation du projet comportait le démarrage dès Novembre 1972 d'une première tranche de travaux de forage par une entreprise privée, en parallèle avec les travaux de forage entrepris par la DGAF avec ses moyens propres à la fin de 1971. Il importait donc de prévoir une chronologie des études techniques qui permette de prendre des décisions rapidement pour les premiers forages à entreprendre à partir des éléments d'information existant à cette date, tout en permettant d'étayer l'orientation ultérieure du projet sur la base d'études plus approfondies réalisées en plusieurs étapes. Les études techniques ont ainsi été réalisées tout en permettant aux travaux de forage d'être poursuivis pratiquement sans interruption jusqu'en 1979.



L'étude des eaux souterraines de Thessalie conduite sous la direction de SOGREAH, a, pour la raison indiquée, comporté les différentes phases suivantes :

- . 1972 : Etude préliminaire
- . 1972-1974 : Campagnes de mesures et travaux de recherches
- . 1974-1975 : Elaboration des modèles mathématiques des nappes
- . 1975-1977 : Etude de principe des trois réseaux types de distribution d'eau d'irrigation
- . 1978 : Participation à l'établissement des dossiers d'appel d'offres correspondants.
- . 1977-1979 : Supervision des travaux de forage.
- . 1978-1979 : Poursuite des études sur modèles mathématiques.
- . 1979 : Transfert des modèles au Ministère de l'Agriculture.
- . 1980 : Participation à la surveillance des travaux et à la mise en route des réseaux d'irrigation.

Nous nous bornerons ici à exposer les grandes lignes des différentes phases d'étude précitées.

#### 4.1 ETUDE PRELIMINAIRE

L'étude a débuté en 1972 par une analyse des nombreuses données préexistantes. Simultanément une première reconnaissance du terrain a permis d'apprécier dans le contexte local les résultats des études antérieures et les conclusions auxquelles elles avaient abouti.

Sur ces bases deux groupes de documents ont été élaborés :

- a) un programme pour l'exécution d'une première tranche de 200 forages d'exploitation.
- b) une définition des études et des travaux de recherche jugés nécessaires pour qu'il soit possible, d'une part de programmer la poursuite des travaux de forage au-delà de la première tranche, d'autre part d'estimer avec une approximation suffisante les débits exploitables et les conditions futures de pompage dans chaque zone reconnue favorable au développement des captages.

#### 4.2 CAMPAGNES DE MESURES ET TRAVAUX DE RECHERCHE

Le programme d'études préparé par SOGREAH pour la période 1972-1974 comprenait plusieurs volets.

##### a) Etude géologique, géophysique, sondages de reconnaissance

Les moyens d'investigation suivants furent employés :

- . des levés géologiques pour compléter les cartes existantes ou en améliorer localement la précision. Ces levés ont porté principalement sur les collines bordières et l'accent a été mis sur l'étude des formations karstiques ;
- . une étude de résistivité électrique sur les zones reconnues les plus intéressantes pour le captage des eaux souterraines à la lumière des études antérieures. Cette étude fut réalisée par la Compagnie Générale de Géophysique sous la supervision de SOGREAH.
- . une campagne de sondages de reconnaissance : outre l'analyse des données de sondage antérieures à 1972, 140 sondages d'étude et plus de 700 forages d'exploitation fournirent une abondante information sur les propriétés des alluvions et de leur substratum.

##### b) Etude climatologique et des eaux superficielles

Pour estimer les débits des échanges d'eau entre les nappes et la surface, il importait de bien connaître le régime des précipitations atmosphériques et des débits de ruissellement ainsi que les facteurs climatiques tels que température, évaporation et évapotranspiration potentielle.

Dans ce but le réseau d'observation pré-existant a été complété : 12 postes pluviométriques et 24 stations de jaugeage ont été installés en 1972 par la DGAF, selon les recommandations de la SOGREAH (cf. figure 2).

Des équipes de la DGAF ont assuré les mesures, après qu'une formation technique leur ait été donnée par un expert de SOGREAH. Ce dernier, au cours de nombreux séjours sur place, a veillé au bon fonctionnement des appareils et au déroulement correct de la campagne de mesures.

Le traitement des données obtenues et leur interprétation ont été faits à Grenoble par des spécialistes de la SOGREAH, utilisant un ordinateur IBM 360-65.

Un modèle de bilan hydrologique prenant en compte les précipitations, l'évaporation et le débit de surface des rivières a permis de déterminer les différents régimes d'alimentation des nappes à partir des eaux superficielles :

- . infiltration directe de la pluie sur la plaine
- . infiltrations en bordure de la plaine d'une partie des eaux de ruissellement des bassins versants qui l'entourent.
- . infiltrations d'une partie des débits des rivières qui traversent la plaine.

c) Etude hydrogéologique

La structure des terrains aquifères et leurs limites étant définis grâce aux investigations géologiques, on devait aussi étudier les caractères hydrogéologiques gouvernant l'écoulement de l'eau dans le sous-sol, tels que la distribution de la charge, ses variations dans le temps, la distribution spatiale des propriétés hydrodynamiques, etc. Cette étude s'imposait pour deux raisons :

- parce qu'une compréhension générale des conditions d'écoulement dans l'ensemble de la zone d'étude était une base indispensable de l'estimation des quantités d'eau exploitables et de la prévision des conditions de pompage futures.
- pour pouvoir donner au maître d'oeuvre, au fur et à mesure des besoins, les informations requises pour l'implantation et la définition des forages d'exploitation ;

Parmi les points d'eau existant au début de l'étude, soixante environ furent choisis pour y mesurer périodiquement le niveau piézométrique. Le réseau ainsi constitué fut progressivement complété par la mise en place de piézomètres, pour lesquels on utilisa notamment certains des trous forés aux fins de reconnaissance des aquifères (cf. figure 10). Les mesures piézométriques furent assurées par des équipes de techniciens de la DGAF sous le contrôle suivi des hydrogéologues de SOGREAH.

Dans les forages réalisés dans le cadre du projet, on procéda à des essais de pompage pour déterminer les paramètres hydrodynamiques du terrain. On fit d'une part des essais ponctuels et de courte durée qui donnèrent des valeurs relatives de la perméabilité locale, d'autre part des essais de un ou plusieurs jours pour déterminer la transmissivité globale. Un petit nombre d'essais furent poursuivis pendant des durées allant d'une semaine jusqu'à deux mois. Au total 1200 essais environ ont été interprétés.

#### 4.3 ELABORATION DES MODELES MATHÉMATIQUES DES NAPPES

La troisième phase de l'étude fut assumée par SOGREAH en 1974 et 1975 avec le concours momentané de deux ingénieurs de la DGAF.

Pour chacune des deux plaines fut élaboré un modèle mathématique représentant les aquifères et destiné à simuler leur exploitation future. Les modèles furent construits en utilisant toutes les données rassemblées sur les formations aquifères, leurs limites physiques, l'alimentation et l'écoulement des nappes, leurs exutoires naturels ou artificiels, etc. La figure 4 montre la configuration de ces modèles.

En général, l'estimation initiale des paramètres d'un modèle repose sur l'interprétation des données de terrain et comporte nécessairement une certaine imprécision. Il est donc nécessaire de tester la cohérence de l'ensemble des valeurs des paramètres introduits dans le modèle et si nécessaire de les ajuster en respectant les limites d'erreur estimées propres à chaque groupe de données. C'est le but de l'opération de réglage.

Pour régler les modèles on a simulé le comportement de la nappe au cours de la période 1972-74 pour laquelle on disposait, grâce aux campagnes de mesures mentionnées plus haut, de données hydrologiques et piézométriques suffisamment denses dans l'espace et continues dans le temps.

Lorsque la fidélité de chaque modèle a été jugée satisfaisante, on a effectué une première série de simulations du comportement futur de la nappe pendant des durées de 10 à 15 années, en se plaçant successivement dans plusieurs hypothèses de prélèvement d'eau.

Ces simulations prévisionnelles ont permis de prévoir dès 1975 la distribution et l'amplitude du rabattement qui résulteraient des conditions de pompage simulées. Lorsque la nécessité en est apparue, les hypothèses de prélèvement initiales ont été ajustées de manière à faire en sorte qu'à long terme les volumes d'eau prélevés soient compensés par les apports à la nappe. Ainsi, l'étude sur modèle a atteint ses principaux objectifs qui étaient de définir la limite supérieure des prélèvements compatible avec les ressources et d'autre part de prédire les rabattements correspondants.

#### 4.4 SUPERVISION DES TRAVAUX DE FORAGE

Plusieurs centaines de forages ont été mis en exploitation durant la période de 1974 à 1977, sous la supervision du Ministère de l'Agriculture.

Dans 20 % environ des forages réalisés au cours de cette période des infiltrations de sable se sont manifestées en cours de pompage en raison du débit d'exploitation trop élevé. Dans certains cas, une érosion notable des pompes en est résultée, et l'exploitation du forage a dû être interrompue.

De 1977 à 1979, SOGREAH a été chargée d'assurer la supervision des travaux pour la réalisation de nouveaux forages d'exploitation, ainsi que la programmation d'essais et la supervision des travaux de réhabilitation des forages produisant du sable.

Dans ce cadre de travaux, 1275 essais pour le contrôle des venues de sable ont été réalisés et interprétés par les hydrogéologues de SOGREAH et de la DGAF.

Plusieurs méthodes de réhabilitation ont été testées et celles qui se sont révélées efficaces ont été mises en oeuvre sur les forages déjà exploités. Parmi les solutions retenues, on peut citer l'obturation de crépines, l'installation de clapets de base aux pompes et de régulateurs automatiques de débit.

#### 4.5 POURSUITE DES ETUDES SUR MODELES MATHEMATIQUES

Au cours de la période 1978-1979, SOGREAH a eu pour mission d'améliorer le réglage des modèles mathématiques des aquifères de Thessalie en tenant compte des données hydrologiques et des mesures piézométriques obtenues sur l'ensemble de la période de 1972 à 1978 inclus. La période sur laquelle les modèles ont été réglés a ainsi été portée de 2 ans à 6 ans, ce qui apporte une meilleure garantie d'ajustement des modèles à la réalité.

Compte tenu du développement considérable de l'activité agricole au cours de cette période, le mode de calcul des échanges d'eau avec les aquifères liés à l'irrigation a dû être révisé de manière à prendre en compte de manière plus précise la répartition géographique et temporelle des différents types de cultures et des besoins en eau d'irrigation correspondants.

Après ce réglage, les modèles mathématiques ont été à nouveau utilisés pour effectuer des simulations prévisionnelles tenant compte des informations les plus récentes concernant le développement des activités agricoles, et permettant d'orienter les choix du Ministère en matière de travaux de forages d'exploitation.

Nous exposerons plus loin comment sont constitués ces modèles mathématiques et la nature des résultats qui en ont été tirés.

#### 4.6 TRANSFERT DES MODELES AU MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Le Ministère de l'Agriculture souhaitait dans le cadre de ce projet se doter des outils de calculs nécessaires à la prévision du comportement des aquifères en fonction des projets futurs de pompage qu'il était susceptible d'envisager.

SOGREAH a en conséquence eu la charge :

- . d'une part d'installer les modèles mathématiques précités au Centre de calcul du Ministère de l'Agriculture à Athènes, centre équipé d'un ordinateur Control Data CYBER 72.
- . d'autre part, de former une équipe d'hydrogéologues et d'informaticiens appartenant au personnel du Ministère, afin que celui-ci puisse prendre en charge entièrement la responsabilité de l'exploitation de ces modèles. Cette formation a été assurée à la fois par des stages d'ingénieurs grecs au siège de SOGREAH et par un entraînement à l'utilisation des modèles après leur installation à Athènes.

#### 4.7 PRINCIPES DE CONCEPTION DES RESEAUX COLLECTIFS D'IRRIGATION SUR TROIS PERIMETRES TYPES

Le Ministère de l'Agriculture, après avoir équipé individuellement chaque forage suivant des principes simples qui n'ont cependant donné satisfaction ni aux utilisateurs ni aux exploitants, a chargé SOGREAH de définir les principes d'aménagements de trois situations types qui puissent être appliqués aux diverses situations rencontrées dans l'ensemble de la plaine.

SOGREAH a ainsi étudié durant la période 1975-1977 les solutions à retenir pour des réseaux collectifs d'irrigation équipant les trois types de périmètres suivants :

- . Périmètre alimenté par un, deux ou trois forages.
- . Périmètre à forages multiples régulièrement répartis sur l'ensemble de sa surface.
- . Périmètres à forages multiples irrégulièrement répartis où des transferts de débits sont nécessaires d'une partie à l'autre du périmètre.

Hormis le cas des forages isolés, ce sont toujours des réseaux interconnectés qui ont été préconisés afin de satisfaire aux exigences techniques des utilisateurs. Dans le cas de trois forages les réseaux interconnectés ont été prévus avec une régulation centrale alors que dans les deux cas à forages multiples, c'est une régulation locale qui a été retenue (chaque pompe est automatiquement commandée en fonction de la pression régnant dans le réservoir sous pression d'air dont elle est équipée).

Le dimensionnement des réseaux a été effectué au moyen d'un programme de calcul sur ordinateur dénommé 'Procédure', qui a permis de simuler la panne de certains forages et de pallier cela par des surdimensionnements de certaines conduites.

D'autre part, pour vérifier la stabilité de fonctionnement des réseaux interconnectés à régulation locale, des simulations de fonctionnement ont été réalisées à l'aide d'un modèle mathématique utilisant un autre programme de calcul dénommé 'Certitude'.

#### 4.8 PARTICIPATION A L'ETABLISSEMENT DES DOSSIERS D'APPEL D'OFFRES.

Pour les trois réseaux types, SOGREAH a assisté en 1978 le bureau d'étude local chargé de l'établissement des dossiers d'appel d'offres sur les points suivants :

- . Conception et dimensionnement des réseaux de conduites
- . définition de l'appareillage.

- . Spécifications techniques de l'équipement des stations de pompage et de leur automatisme.

#### 4.9 PARTICIPATION A LA SURVEILLANCE DES TRAVAUX RELATIFS AUX RESEAUX D'IRRIGATION

Au cours de cette phase des travaux prévue en 1980, SOGREAH sera chargée :

- . du contrôle de l'équipement des stations de pompage
- . de l'assistance à la mise en route des réseaux et au réglage des automatismes de régulation.

#### 5. ETUDE SUR MODELES MATHEMATIQUES

En vue d'étudier les ressources en eaux souterraines exploitables pour l'irrigation, il a été fait appel à des modèles mathématiques de simulation du comportement des aquifères. Ces modèles se scindent géographiquement en deux parties, étant donné le caractère très nettement individualisé des deux plaines sur le plan hydrologique. Du point de vue phénoménologique, ils se scindent également en plusieurs étages ou sous-modèles :

- . un sous-modèle relatif à l'hydrologie de surface,
- . un sous-modèle d'irrigation,
- . un sous-modèle relatif à l'hydrologie souterraine.

##### 5.1 SOUS-MODELE HYDROLOGIQUE

A partir de l'étude hydrologique complète des bassins de Thessalie, il a été possible d'établir, pour chaque plaine, un modèle hydrologique simple utilisant comme données :

- . les enregistrements de pluies en cinq stations hydroclimatologiques de la plaine orientale et neuf stations de la plaine occidentale;
- . les mesures de débits des rivières Pinios, Portaikos, Pliouris, Enipefs et Titarisios;
- . les mesures d'évaporation en bac à la station de Larissa.

Avec ces données, définies sur une base mensuelle, le modèle détermine les grandeurs suivantes :

- . le taux d'infiltration des eaux de pluie en période humide;
- . les besoins en eau d'irrigation en période sèche;
- . l'évapotranspiration réelle pour le mois considéré;
- . l'évolution de la réserve en eau de la zone racinaire disponible et la contribution apportée par cette réserve à l'évapotranspiration réelle;
- . le taux d'infiltration des eaux des rivières.

Ces éléments sont calculés sur la base d'un bilan mensuel des échanges de la réserve en eau de la zone racinaire avec la surface du sol et avec l'aquifère sous-jacent.

En saison humide, une partie de l'eau de pluie et des rivières pénètre dans le sol, est interceptée dans la zone racinaire et s'infiltré en partie vers la nappe, suivant des proportions qui peuvent être déduites de l'étude hydrologique détaillée. Dans l'éventualité où la réserve superficielle dans la zone racinaire est saturée, l'excédent ruisselle en surface.

En saison sèche, par contre, le déficit des pluies par rapport à l'évapotranspiration potentielle est compensé partiellement par l'apport de la réserve superficielle, et, partiellement, par l'irrigation.

La figure 5 donne, à titre d'exemple, la répartition géographique des infiltrations de pluie sur la plaine orientale obtenue à l'aide de ce modèle.

Les infiltrations des eaux de rivières sont déterminées à partir des lois de correspondance entre infiltrations et débits des rivières établies au cours de l'étude hydrologique détaillée, lois qui sont assorties d'un coefficient correcteur saisonnier. Les infiltrations de piémont en bordure des plaines sont déterminées de manière analogue à partir des données pluviométriques. La figure 6 donne la répartition géographique des zones d'infiltration des eaux de surface sur la plaine occidentale et les débits moyens infiltrés annuellement.

## 5.2 SOUS-MODELE D'IRRIGATION

Le modèle d'irrigation a pour objet de déterminer la répartition spatio-temporelle des échanges d'eau avec l'aquifère, liés à l'irrigation.

Ces échanges sont à double sens puisqu'ils comprennent les prélèvements par pompage dans la nappe, d'une part, et les infiltrations d'eau d'irrigation en excédent, d'autre part.



Les éléments pris en compte comprennent la répartition géographique des villages, les différents types de cultures pratiqués par chacun d'eux, les calendriers d'irrigation propres à chaque culture, les besoins mensuels d'eau d'irrigation, et les surfaces irriguées dans chaque village, respectivement par eaux de surface (sources, rivières) et par eaux souterraines.

Un inventaire détaillé de ces éléments a été effectué pour 55 et 181 villages respectivement dans les plaines orientale et occidentale (cf. figures 7 et 8). Il a ainsi été tenu compte de dix types de cultures : alfa, betteraves à sucre, blé, coton, fruits, haricots, légumes, maïs, melons, tabac, les principaux étant le coton et la betterave.

Ce sous-modèle fournit les débits mensuels d'irrigation pour chacune des provenances, les excédents d'eau d'irrigation infiltrés vers l'aquifère et le bilan global des échanges avec celui-ci, compte tenu du taux d'infiltration évalué lors de la phase de réglage des modèles.

### 5.3 SOUS-MODELE HYDROGEOLOGIQUE

L'étage hydrogéologique des modèles a pour rôle de simuler l'écoulement des eaux souterraines et de déterminer les variations de niveaux piézométriques et les variations de réserve en eau associées pour les différents projets d'irrigation envisagés.

La formation alluvionnaire des plaines de Thessalie comporte un empilement de lits ou de lentilles de matériaux détritiques divers, de perméabilités très différentes. En dépit de cette structure hétérogène, il a été possible de distinguer, dans la zone profonde de la formation, un aquifère principal, en raison de son importance prépondérante vis-à-vis des possibilités de captage et d'exploitation. Au-dessus de cette zone, il existe généralement des lits de matériaux semi-perméables constituant le toit de l'aquifère principal.

Dans une grande partie du domaine d'étude, l'écoulement s'effectue en charge, avec localement un drainage à travers le toit semi-perméable. Dans quelques secteurs cependant, il n'existe pas de couverture et la nappe est à surface libre. Les modèles hydrogéologiques associés aux deux plaines sont donc conçus de manière à représenter un écoulement mixte, soit à surface libre, soit en charge selon le cas.

Les modèles associés aux deux plaines de Thessalie sont représentés sur la figure 4. Leur extension est approximativement de 66 km par 27 km pour la plaine orientale et de 84 km par 51 km pour la plaine occidentale.

Ces modèles sont subdivisés en mailles rectangulaires de dimensions variables entre 2 et 3 km de côté pour le calcul du bilan des échanges de l'aquifère avec la surface du sol. Le réseau de points de calcul est disposé suivant deux axes orthogonaux, en concordance avec la subdivision en mailles des modèles.

L'évolution en fonction du temps des cotes piézométriques  $H(x,y,t)$  dans l'aquifère principal est déterminée au moyen de l'équation de continuité

$$\text{div } Q + Q_{\text{ex}} = S \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

$$Q = T \text{ grad } H \quad (2)$$

où :

$Q$  est le débit de l'écoulement souterrain à travers une section verticale de largeur unité, traversant l'ensemble de la formation aquifère,

$Q_{\text{ex}}$  est la somme algébrique des débits échangés entre l'aquifère et le milieu environnant, rapportée à l'unité de surface.

$S(x,y)$  le coefficient d'emmagasinement local.

$T(x,y)$  la transmissivité globale de l'aquifère.

Compte tenu de l'hétérogénéité des formations aquifères,  $S$  et  $T$  sont des distributions non uniformes dans l'espace. En outre, l'aquifère est schématisé dans le modèle par deux couches de perméabilités différentes  $K_1(x,y)$  et  $K_2(x,y)$ . Suivant la nature de l'écoulement, la transmissivité globale  $T(x,y)$  se déduit de l'une des formules suivantes :

$$\begin{aligned} T &= T_S + K_1(H - Z_{\text{SUB}}) && \text{si } Z_{\text{TR}} > H > Z_{\text{SUB}} \\ T &= T_S + K_1(Z_{\text{TR}} - Z_{\text{SUB}}) + K_2(H - Z_{\text{SUB}}) && \text{si } Z_{\text{TS}} > H > Z_{\text{TR}} \\ T &= T_S + K_1(Z_{\text{TR}} - Z_{\text{SUB}}) + K_2(Z_{\text{TS}} - Z_{\text{TR}}) && \text{si } H > Z_{\text{TS}} \end{aligned} \quad (3)$$

où :

$Z_{\text{SUB}}$ ,  $Z_{\text{TR}}$ ,  $Z_{\text{TS}}$  représentent respectivement la cote du substratum, la cote de transition et la cote du toit ou du sol.

Une transmissivité de socle  $T_S(x,y)$  a été prise en compte localement pour représenter l'écoulement dans des roches karstiques sous-jacentes aux alluvions.

L'ensemble des échanges avec l'aquifère principal est représenté par  $Q_{ex}$ , qui comprend les éléments suivants :

$$Q_{ex} = Q_{IRR} + Q_{LIM} + Q_{PL} + Q_{RIV} + Q_B + Q_D \quad (4)$$

où :

$Q_{IRR}$  est la résultante des infiltrations et des pompages liés aux irrigations,

$Q_{LIM}$  est la résultante des échanges aux limites du modèle,

$Q_{PL}$  l'infiltration des pluies,

$Q_{RIV}$  l'infiltration des eaux de rivières,

$Q_B$  les infiltrations de piémont en bordure des plaines,

$Q_D$  le drainage dans les zones artésiennes, représenté sous la forme :

$$Q_D = \begin{cases} -K_v (H - Z_D) / (Z_D - Z_{TS}) & \text{si } H \geq Z_D \\ 0 & \text{si } H < Z_D \end{cases} \quad (5)$$

où  $K_v$  caractérise la perméabilité verticale associée au toit semi-perméable.

Certains des éléments précités sont déterminés au moyen du modèle hydrologique et du modèle d'irrigation, comme indiqué sur l'organigramme général de la figure 9.

#### 5.4 REGLAGE DES MODELES

Les données et les paramètres de réglage des modèles de simulation que nous venons de décrire proviennent des résultats des études préliminaires de différentes natures que nous avons évoquées concernant la géologie, la géophysique, l'hydrogéologie, l'hydrologie et l'agronomie.

Dans toute la mesure du possible, les différents sous-modèles précités font tout d'abord l'objet d'un réglage séparé, afin de déceler les erreurs, lacunes ou incohérences susceptibles d'intervenir dans la collecte ou l'interprétation des données de terrain.

Dans une phase ultérieure, l'ensemble des modèles fait l'objet de vérifications et d'ajustements en simulant, au moyen des modèles, une période historique où un nombre suffisamment abondant et fiable d'éléments de réglage est connu. Dans la dernière phase de l'étude, les modèles mathématiques des aquifères de Thessalie ont été réglés sur la période s'étendant de janvier 1971 à décembre 1978 en ce qui concerne la partie hydrologique, et sur la période d'avril 1972 à mai 1978 en ce qui concerne la partie hydrogéologique.

En ce qui concerne les modèles hydrogéologiques, le réglage est jugé satisfaisant lorsque les niveaux piézométriques calculés au moyen de ces modèles concordent avec ceux relevés dans le réseau de piézomètres de référence. Les piézomètres sélectionnés à cette fin étaient au nombre de 75 pour la plaine occidentale et de 40 pour la plaine orientale (cf. figure 10).

Les figures 11 et 12 donnent une restitution graphique de l'évolution des niveaux piézométriques calculés au moyen de ces modèles et des niveaux mesurés, représentés respectivement par un trait plein et par des petits carrés.

## 5.5 EXPLOITATION DES MODELES

Après achèvement du réglage, les modèles ont été utilisés pour simuler le comportement des aquifères soumis à diverses conditions d'alimentation et d'exploitation sur des périodes d'une durée de six à quinze ans.

Les conditions hydroclimatiques choisies pour ces simulations ont été soit celles observées entre 1972 et 1978, qui correspondent à une série d'années plutôt sèches, soit celles de l'année moyenne calculées sur une séquence de 25 ans (1954-1978).

Les calculs réalisés à l'aide de ces modèles ont permis de déterminer, pour chaque hypothèse d'exploitation des nappes, les résultats suivants :

- . le bilan mensuel des échanges entre les aquifères et le milieu extérieur, dont la figure 13 donne une illustration. Ce bilan comporte trois éléments :
  - a) le débit total imposé, composé des débits de recharge des aquifères et des débits de prélèvement connus,
  - b) le débit total de drainage,
  - c) le volume total d'eau stocké ou prélevé dans la réserve par rapport à l'état initial.
- . les variations piézométriques prévisibles dans les piézomètres de référence (cf. figure 14).

- . les cartes piézométriques indiquant l'état prévisible de la nappe à des dates futures présentant un intérêt particulier. La figure 15 par exemple donne l'état prévu au 1er avril 1995 dans la plaine occidentale pour l'une des hypothèses simulées.
- . les cartes des écarts piézométriques entre la situation calculée à ces dates particulières et une situation de référence arbitraire. La figure 16 donne les écarts entre la piézométrie calculée au 1er avril 1995 et celle au 1er avril 1980, qui résulte elle-même d'une simulation prévisionnelle.

Les résultats graphiques présentés sur les figures 14 à 16 proviennent d'un tracé automatique sur table trançante BENSON.

Les modèles mathématiques que nous venons de décrire ont été utilisés de manière à répondre à un certain nombre d'objectifs, dont une liste sommaire est donnée ci-après :

- . Déterminer l'influence d'une série d'années exceptionnellement sèches sur l'exploitation des forages du projet programmés jusqu'en 1990, compte tenu des autres irrigations existantes.
- . Délimiter les zones à protéger, où il serait préjudiciable d'accroître les pompes.
- . Délimiter les zones, où il est au contraire possible d'augmenter les prélèvements sans risque grave de déséquilibre du bilan des aquifères, et évaluer le nombre de forages supplémentaires réalisables dans ces zones.
- . Evaluer quantitativement l'effet sur les réserves d'eaux souterraines de la construction de trois barrages prévus en Thessalie occidentale, l'un sur le Pinios et les deux autres sur des affluents.

## 6. RESULTATS DE L'ETUDE

Des résultats ont été obtenus dans deux domaines complémentaires :

- . D'une part, le bilan des eaux souterraines a été dressé; les simulations sur les modèles de nappe ont fait ressortir la viabilité à long terme de l'exploitation des forages réalisés de 1972 à fin 1979. Elles ont permis, en outre, de définir dans quelles zones et jusqu'à quelles limites le réseau de forages pourra être complété pour atteindre un niveau de développement compatible avec les ressources des aquifères.

A titre indicatif, nous donnons ici un exemple du bilan des eaux souterraines pour chacune des deux plaines en supposant des conditions hydroclimatologiques moyennes, l'irrigation des mêmes superficies qu'en 1977 sauf pour les forages du projet. Pour ceux-ci, on a pris en compte tous les captages existants ou prévus, c'est-à-dire au total 1100 forages environ.

| Volumens en hm <sup>3</sup> /an        |                                                |              |             |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|-------------|
| Thessalie                              |                                                |              |             |
|                                        |                                                | Occidentale  | Orientale   |
| Apport aux aquifères                   | par infiltration                               |              |             |
|                                        | des pluies                                     | 143          | 49          |
|                                        | des eaux de surface                            | 559 / 915    | 128 / 200   |
|                                        | des surplus d'irrigation                       | /            | /           |
|                                        | des écoulements souterrains depuis l'extérieur | 113          | 23          |
| Prélèvements par pompages              |                                                | 350(1)       | 90(1)       |
| Drainage                               |                                                | 585(2) / 955 | 30(2) / 205 |
| Écoulement souterrain vers l'extérieur |                                                | 20           | 35          |
| Diminution des réserves                |                                                | 40           | 5           |

(1) pour l'irrigation de 125 000 ha environ.

(2) dont 130 hm<sup>3</sup> environ sont utilisés pour l'irrigation de 12 000 ha.

D'autre part, les études ont permis d'implanter et de réaliser plusieurs centaines de forages productifs, avec un très faible pourcentage d'insuccès.

A la fin de 1979, 960 forages d'exploitation productifs ont été réalisés. On compte 870 forages dans les alluvions de débit unitaire compris entre 30 et 400 m<sup>3</sup>/h et 90 forages dans les formations karstiques de débit unitaire compris entre 60 et 900 m<sup>3</sup>/h. Le débit moyen par forage dépasse 125 m<sup>3</sup>/s.

Globalement, ces forages pourront produire par pompage un débit de 123 000 m<sup>3</sup>/h et ils permettront d'irriguer une superficie d'environ 37 000 hectares.

Il apparaît donc que, du point de vue des captages :

- on a réalisé des forages plus productifs que prévus initialement,
- les objectifs du projet en superficies à irriguer sont atteints à 92 %.

Il résulte des simulations faites à l'aide des modèles mathématiques que l'on peut envisager la construction de 270 forages supplémentaires permettant l'irrigation de 7000 hectares.

Une centaine de nouveaux forages sont programmés pour être construits en 1980-81. En outre, si les 270 forages supplémentaires qui pourraient encore être construits étaient effectivement réalisés au cours des prochaines années, il serait alors possible d'irriguer, au total, 45 000 hectares environ avec moins de 1350 forages.

Les zones où les aquifères sont les plus perméables et où les captages sont les plus facilement réalisables sont indiquées sur la figure 17 : ce sont les zones de développement du projet.

Comme le montre le tableau ci-dessous, les irrigations par pompage ont fortement progressé dans l'ensemble de la Thessalie.

| Irrigation par                             | Superficies irriguées (ha) |         |         |
|--------------------------------------------|----------------------------|---------|---------|
|                                            | 1972                       | 1975    | 1977    |
| Sources et rivières                        | 30 640                     | 34 180  | 32 000  |
| Forages privés                             | 74 370                     | 83 060  | 86 900  |
| Forages du projet                          | -                          | 3 800   | 17 300  |
| Total                                      | 105 510                    | 121 040 | 136 700 |
| Nombre de forages du projet mis en service | -                          | 110     | 430     |

On prévoit de nouvelles augmentations des superficies irriguées par pompage au cours des prochaines années, notamment à partir des forages privés. Il était donc indispensable, pour l'avenir du projet, de mettre au point un outil de gestion des ressources en eaux souterraines. Cet outil est à présent à la disposition du Ministère de l'Agriculture.

Enfin, les études effectuées dans le domaine de la conception des réseaux d'irrigation ont permis de fournir une réponse à certains problèmes de principe particuliers aux réseaux alimentés par des forages. On peut citer :

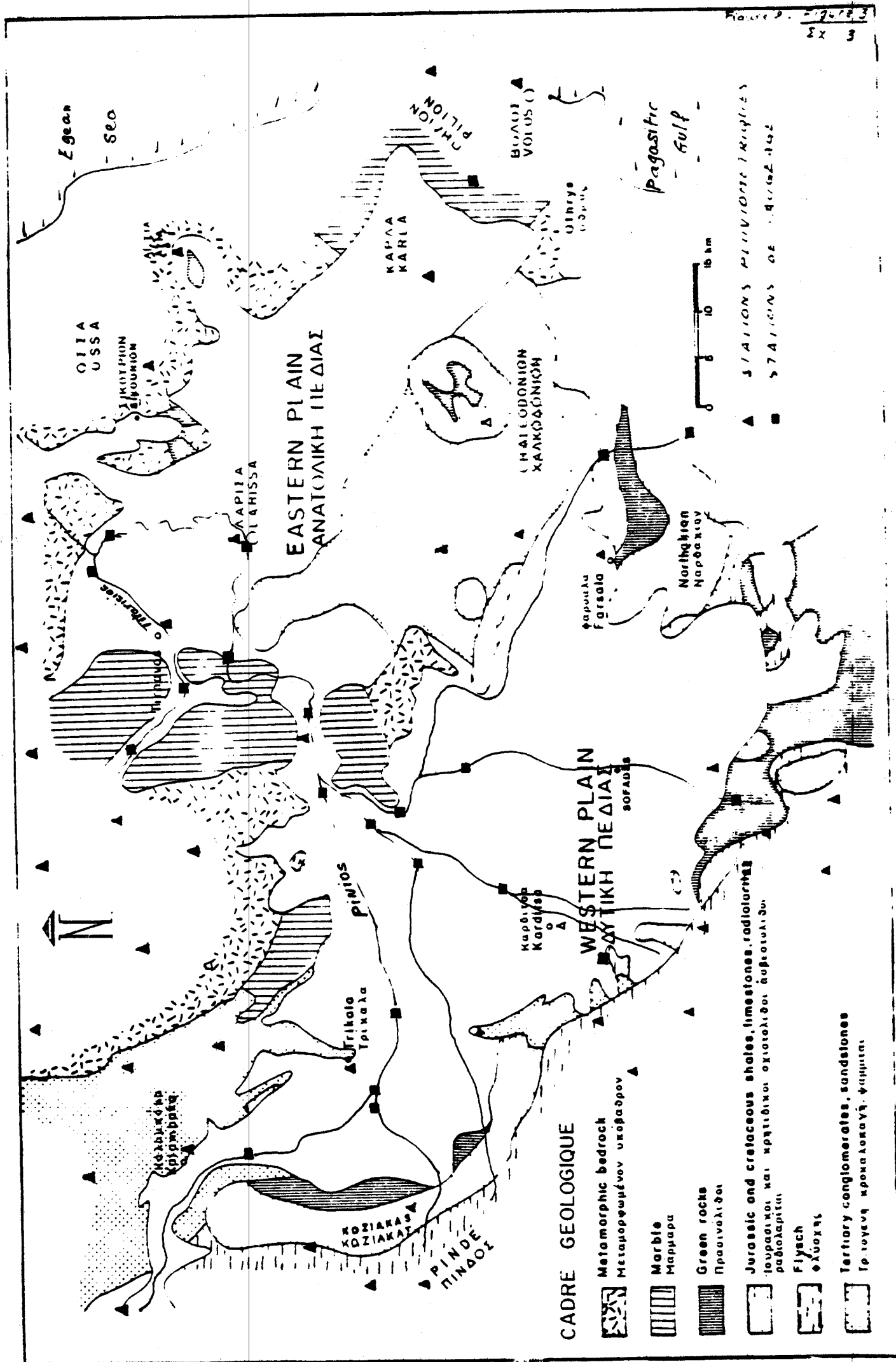
- a) Pour les réseaux collectifs d'irrigation alimentés par forages interconnectés, la préférence donnée aux réseaux maillés, bien que plus onéreux que les réseaux ramifiés, mais assurant une meilleure sécurité d'alimentation en eau en cas de panne d'une pompe.
- b) Pour ces mêmes réseaux, le choix d'une régulation locale des pompes de forages en fonction de la pression dans des réservoirs de régulation sous pression d'air placés à proximité de chaque forage.

- c) Le choix pour la régulation locale du volume de régulation, qui a pu être réduit de moitié par rapport aux normes habituellement retenues, tout en assurant une stabilité de fonctionnement satisfaisante.
- d) Le choix des vannes à fermeture lente pour l'équipement des bornes qui apporte une plus grande sécurité d'utilisation que des vannes à fermeture rapide.

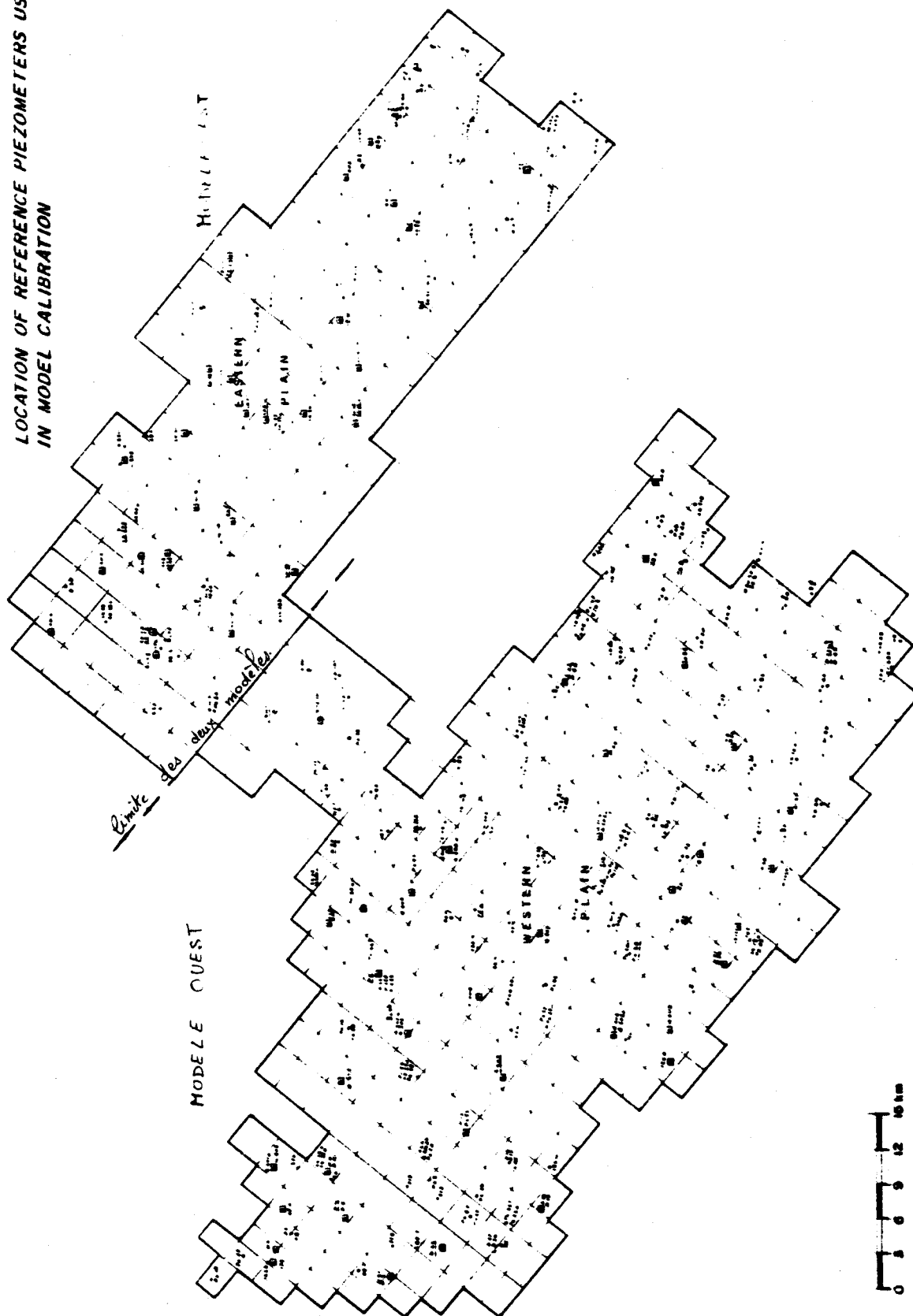
La figure 18 donne un schéma simplifié de l'un des réseaux d'irrigation par forages interconnectés étudiés.

oOo





REPARTITION DES PIEZOMETRES DE REFERENCE  
POUR LE REGLAGE DES MODELES  
LOCATION OF REFERENCE PIEZOMETERS USED  
IN MODEL CALIBRATION

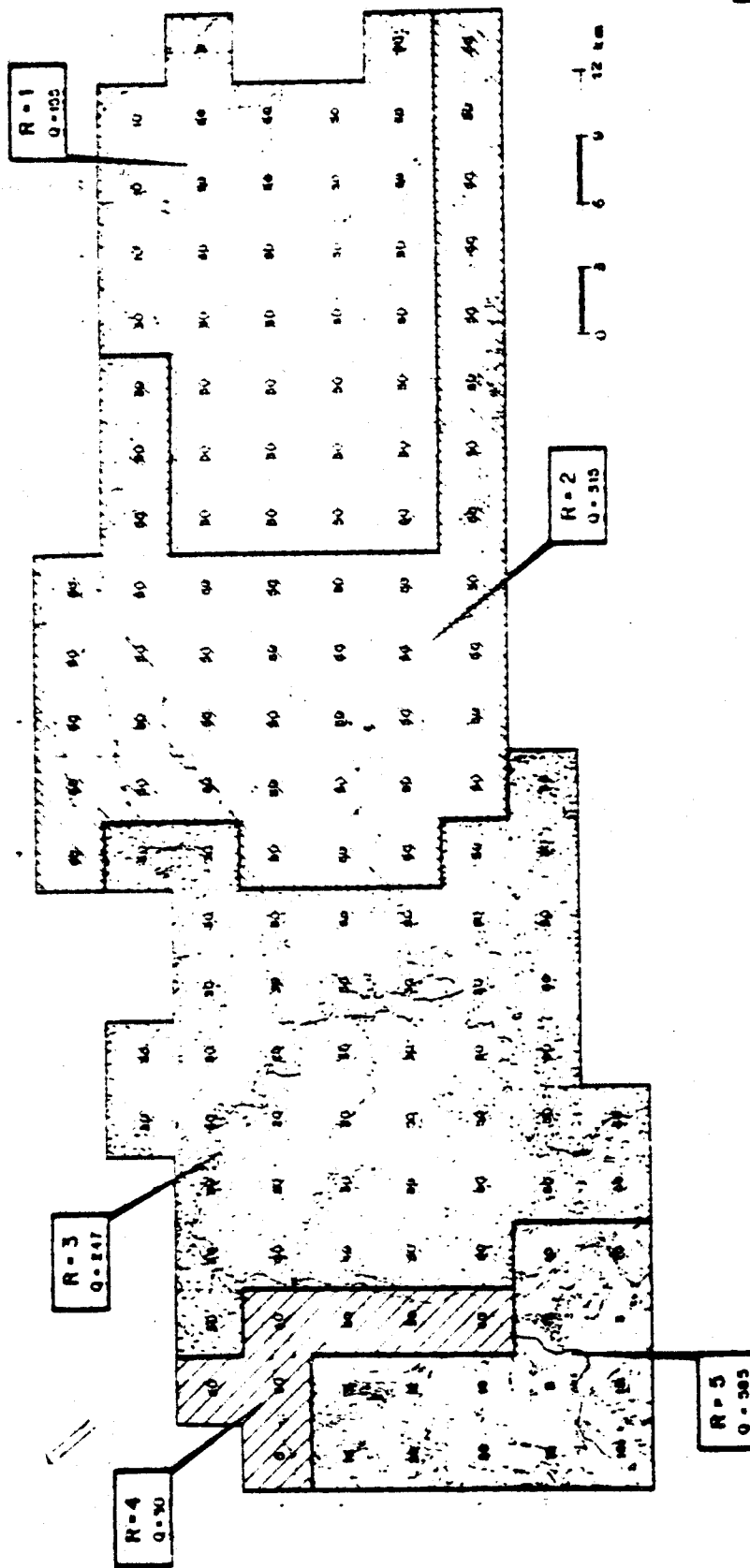


# ΥΠΟΜΝΗΜΑ - ΛΕΓΕΝΔΑ

- • Ορίσιμη
- • Μέση ετήσια ροή
- • Μέση ετήσια διήθηση σε %
- • Μέση ετήσια διήθηση - 1981/82
- • Διήθηση ποσοστό σε %

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΔΙΑΔΑ ΟΕΙΛΙΑΙΑΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΑΒΑΤΙΑ ΠΛΑΤΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΔΡΟΦΩΡΟ Mathematical model of aquifers

### INFILTRATION MOYENNE ANNUELLE DES PLUIES DANS LA PLAINE ORIENTALE POTENTIAL DIRECT INFILTRATION OF RAINWATER



ΑΥΤΙΚΗ ΠΕΔΙΑΔΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΩΡΕΩΝ  
 WESTERN PLAIN OF THESSALY  
 MATHEMATICAL MODEL OF THE AQUIFERS

INFILTRATION MOYENNE ANNUELLE DES EAUX DE SURFACE  
 DANS LA PLAINÉ OCCIDENTALE  
 INFILTRATION OF RUNOFF WATER

ΥΠΟΜΝΗΜΑ - LEGEND

ΤΥΠΙΚΕ ΧΑΡΕΤΙΣΤΙΚΕ ΖΟΝΕΣ  
 PRINCIPAL KARSTIC ZONES

R - Region

Q - average yearly infiltration rate in l/s

Total - average yearly infiltration - 24 060 l/s

20 - infiltration rate in %

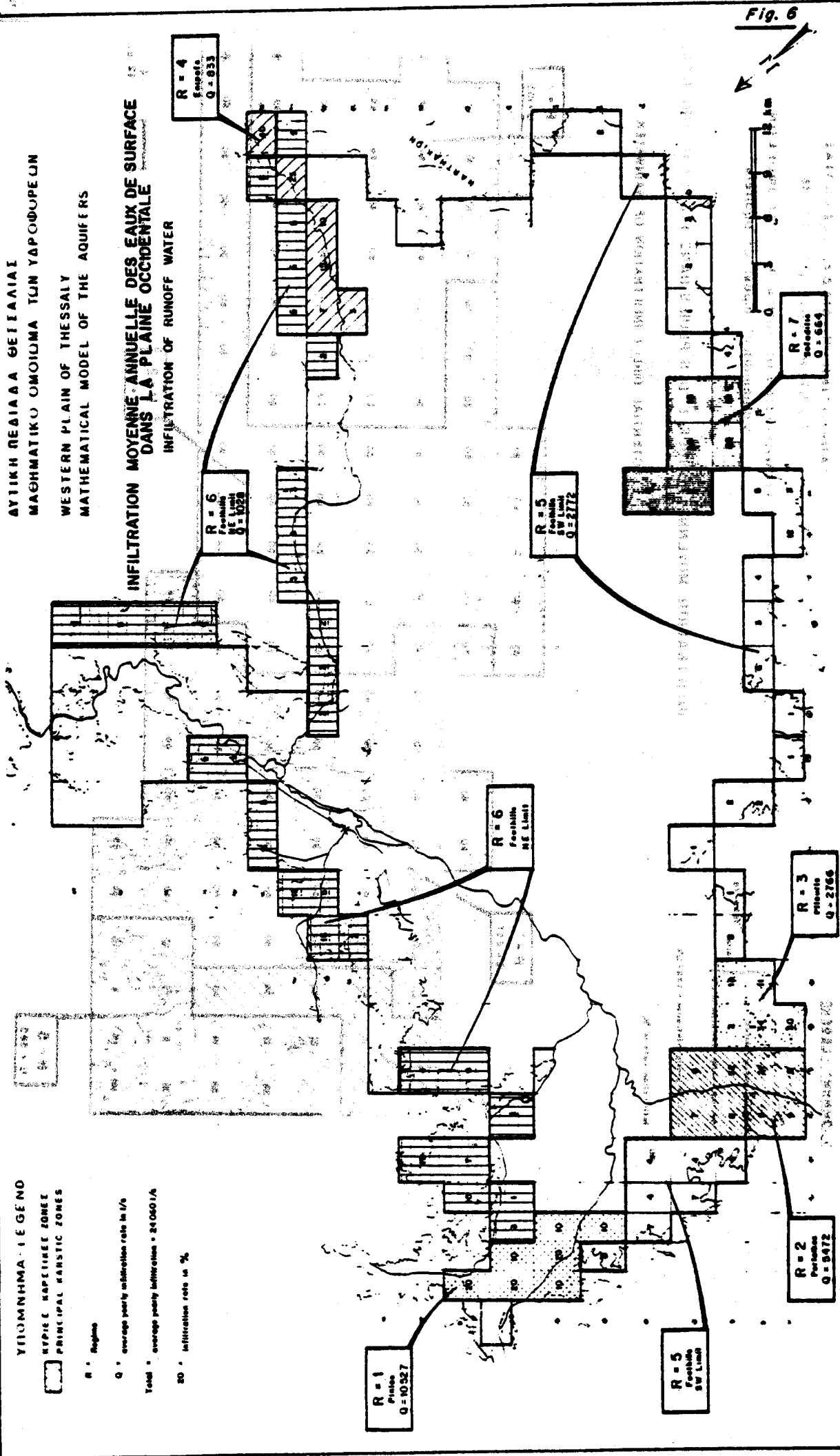


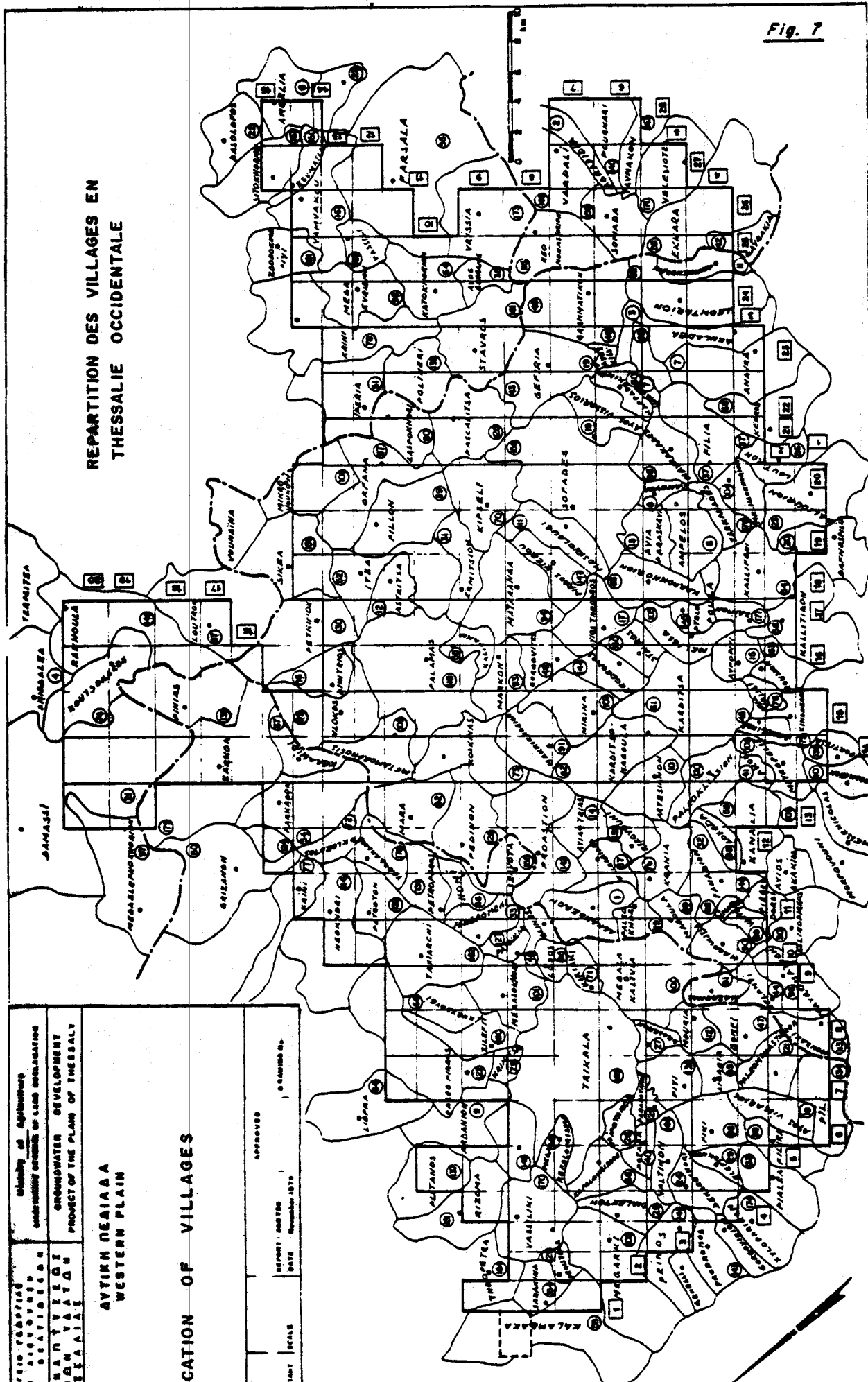
Fig. 6

## REPARTITION DES VILLAGES EN THESSALIE OCCIDENTALE

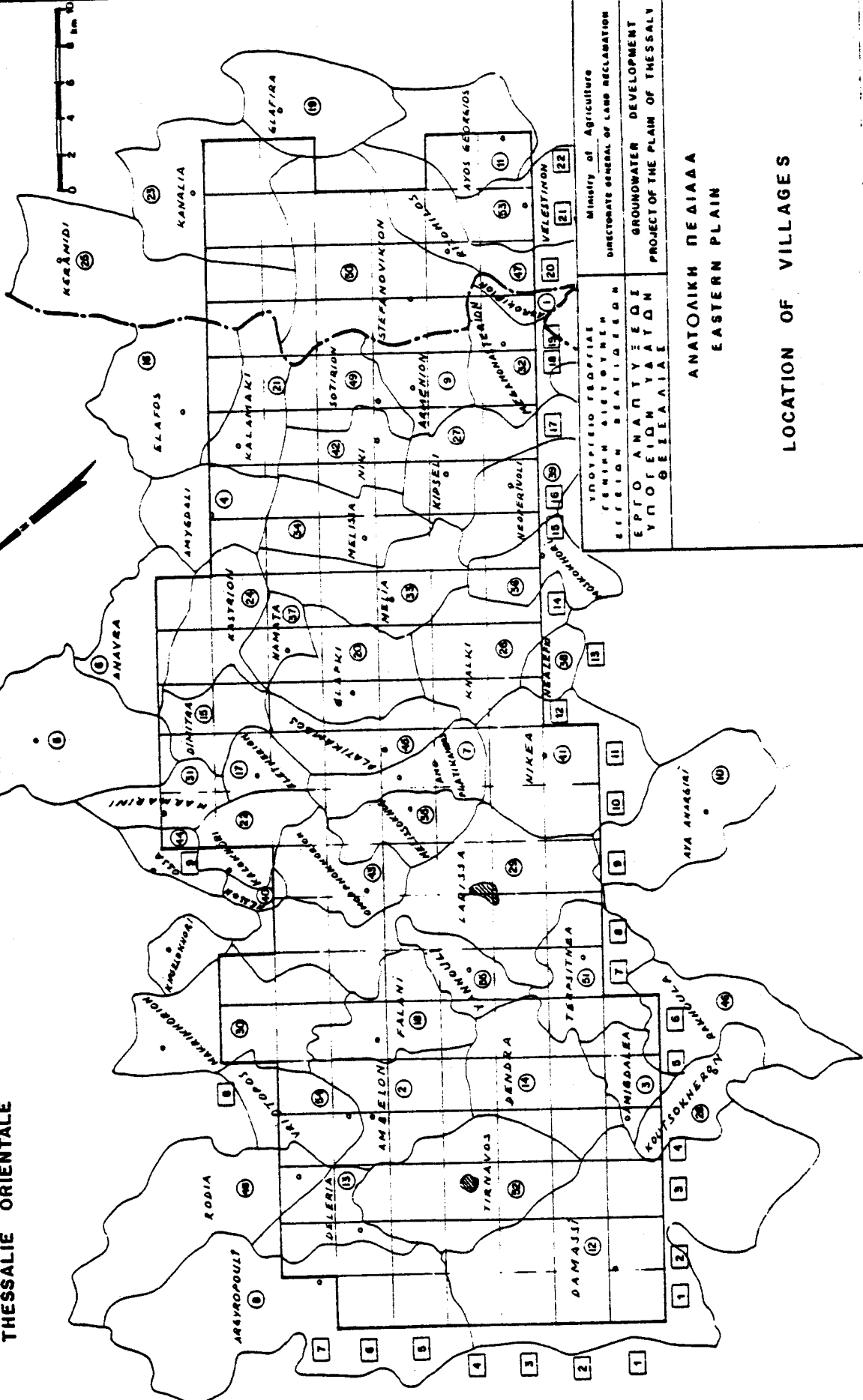
## LOCATION OF VILLAGES

WESTERN PLAIN

|                                                                                                                 |                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROPOSED REMAPPING<br>REGIONAL DEVELOPMENT<br>PROJECTS<br>PROPOSED ANNUAL<br>PROPOSED ANNUAL<br>PROPOSED ANNUAL | Ministry of Agriculture<br>MINISTRY OF AGRICULTURE<br>MINISTRY OF AGRICULTURE<br>MINISTRY OF AGRICULTURE<br>MINISTRY OF AGRICULTURE |
| REPORT: 000706<br>DATE: November 1979                                                                           | APPROVED<br>02 JAN 1980 No.                                                                                                         |
| SOONG AN - COUNTRY MAP<br>SCALE                                                                                 | LOCATION OF VILLAGES<br>AVIATION NEBIAAA<br>WESTERN PLAIN                                                                           |



REPARTITION DES VILLAGES EN  
THESSALIE ORIENTALE



|                                                                                                     |  |                                                                                                                                   |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ<br>ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ<br>ΕΓΚΛΗΜΑΤΩΝ<br>ΕΡΓΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ<br>ΥΠΟΓΕΙΝΥΑΤΟΝ<br>ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ |  | Ministry of Agriculture<br>Directorate General of Land Reclamation<br>GROUNDWATER DEVELOPMENT<br>PROJECT OF THE PLAIN OF THESSALY |  |
| ANATOLIKH ΠΕΔΙΑΔΑ<br>EASTERN PLAIN<br>LOCATION OF VILLAGES                                          |  |                                                                                                                                   |  |
| ΣΧΗΜΑ 1<br>SCALE 1:500,000<br>DATE 1975                                                             |  | APPROVED<br>REPORT 100756<br>DRAWING No.                                                                                          |  |

# MODELES MATHÉMATIQUES DES AQUIFERES DE THIESSALIE ORGANIGRAMME GENERAL

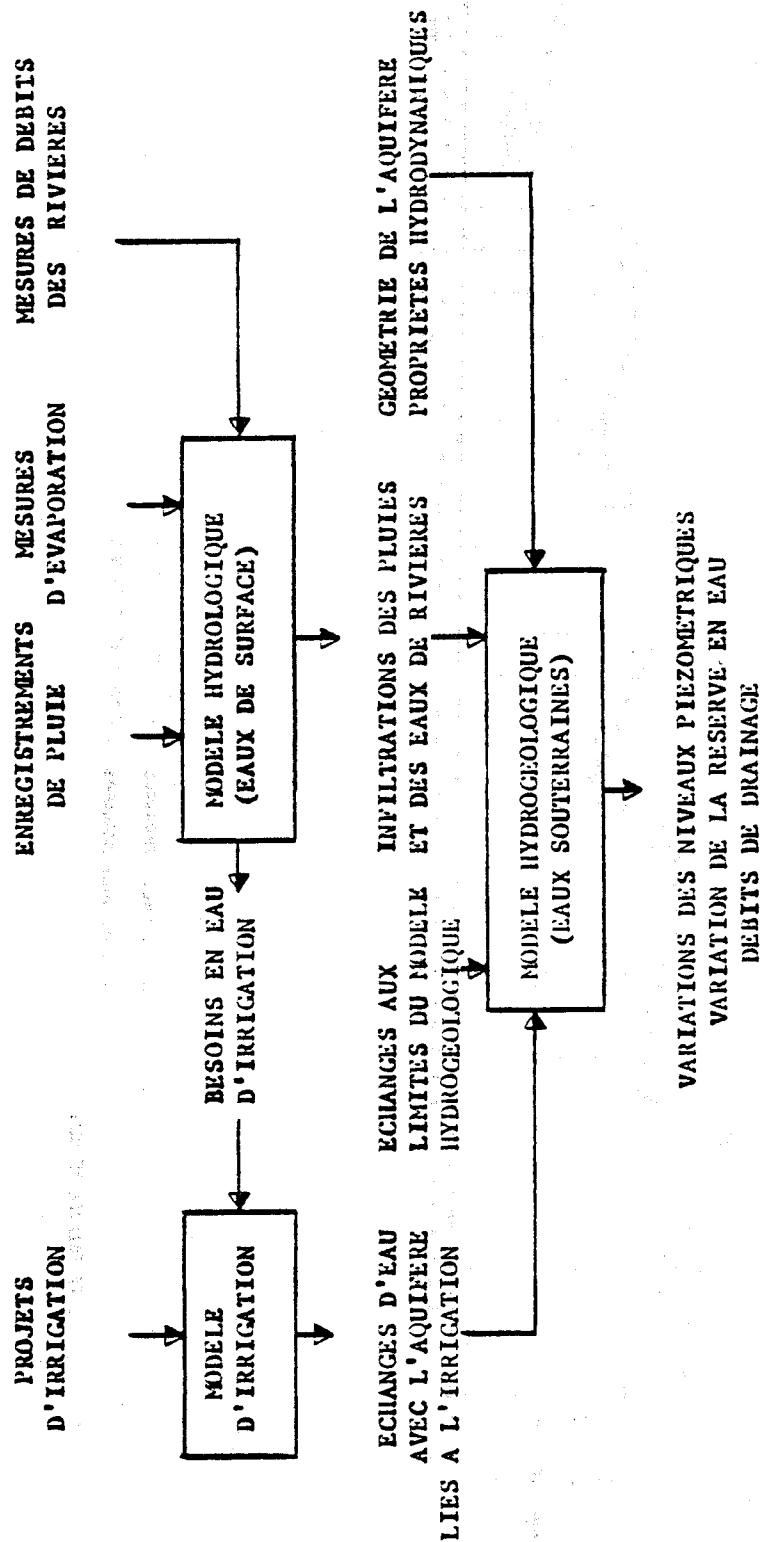
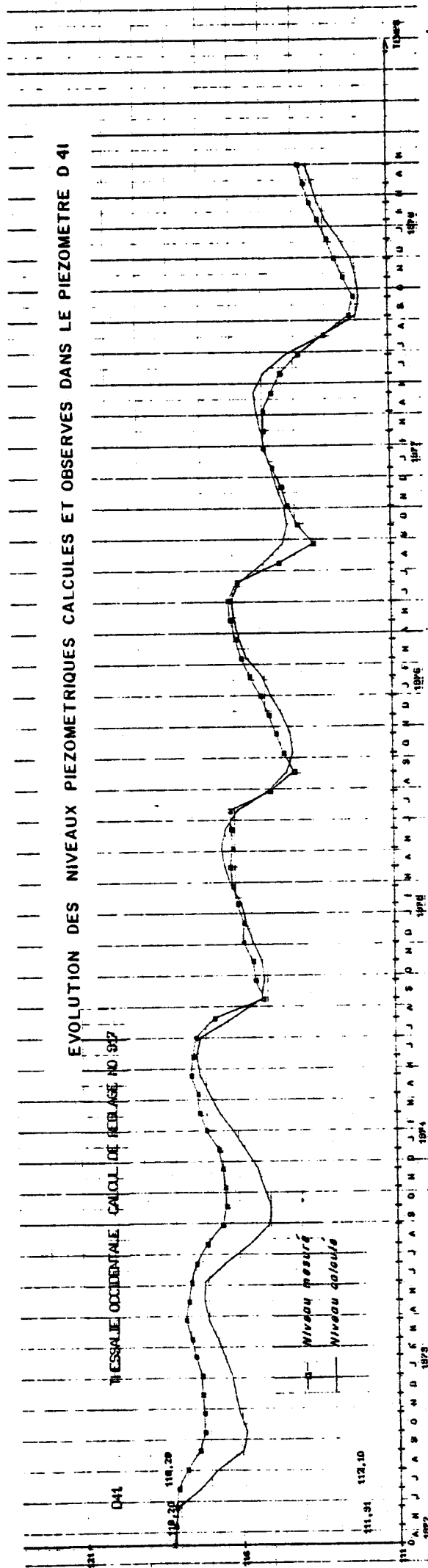
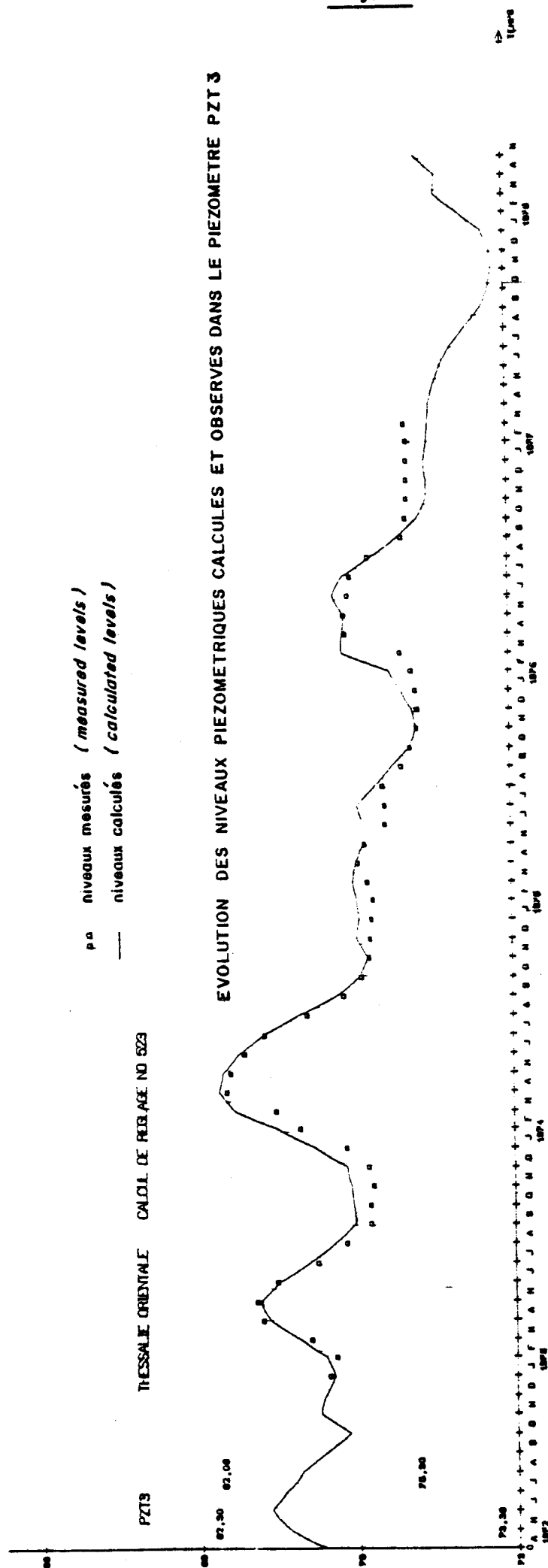


Fig. 9

**Fig. 11**

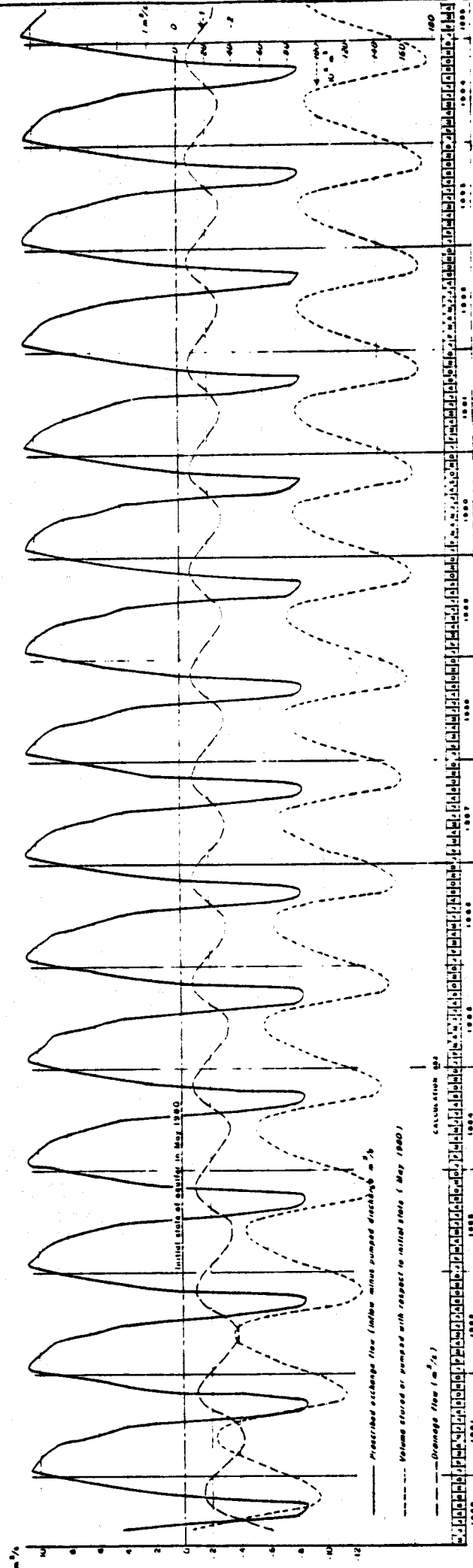


**Fig. 12**





EASTERN THESSALY - 2<sup>nd</sup> HYPOTHESIS - PREDICTION SIMULATION BETWEEN May 1980 and April 1995 ( MONTHLY BALANCE )  
 VARIATION IN MONTHLY EXCHANGES BETWEEN THE AQUIFERS AND THE OUTSIDE ENVIRONMENT

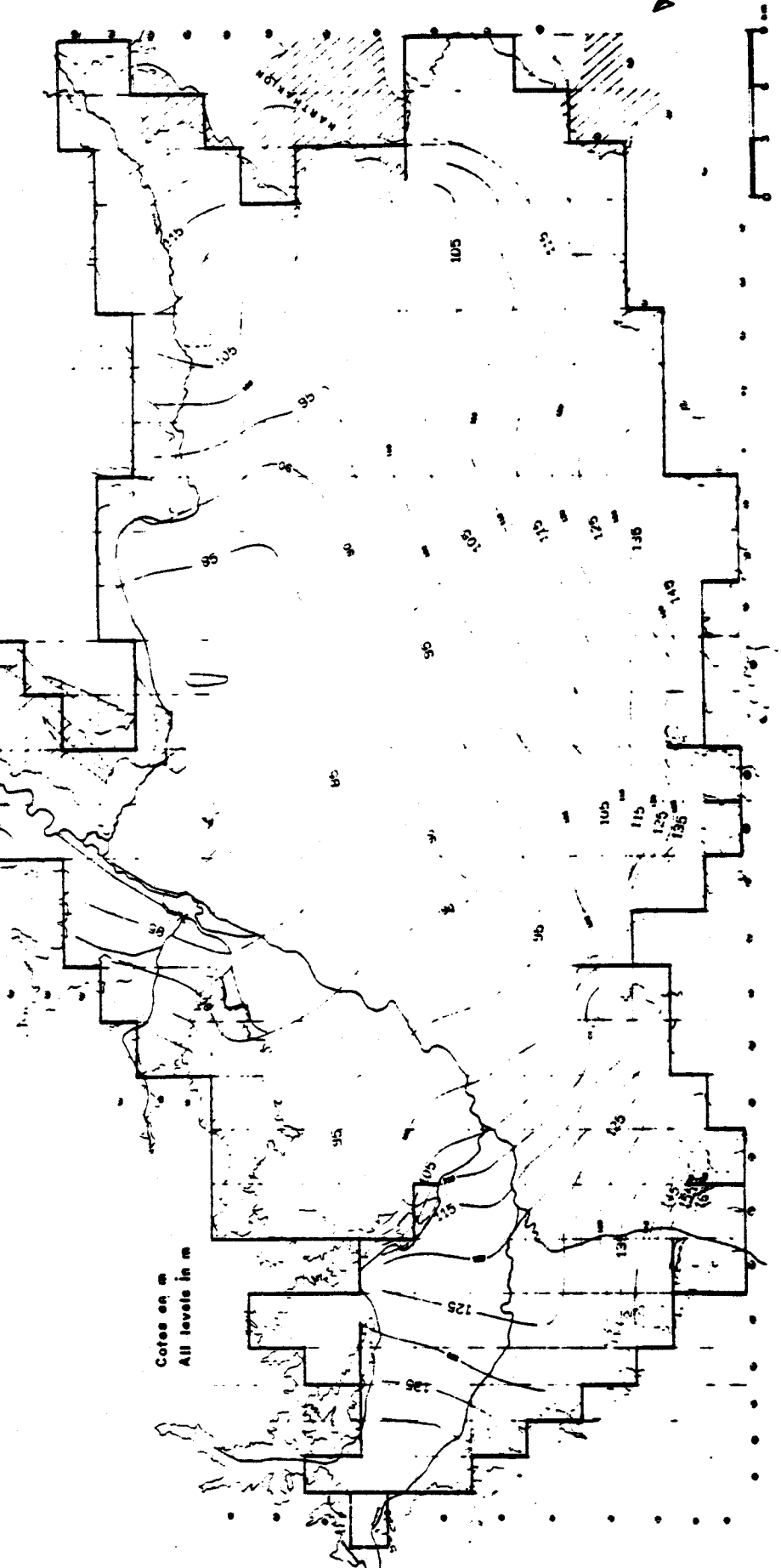


EVOLUTION DU BILAN MENSUEL DES ECHANGES ENTRE LES AQUIFERES ET LE MILIEU EXTERIEUR EN THESSALIE ORIENTALE

ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΔΙΑΔΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΟΤΥΠΟ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ  
WESTERN PLAIN OF THESSALY  
MATHEMATICAL MODEL OF THE AQUIFERS

ΥΠΟΜΝΗΜΑ - LEGEND  
ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΖΟΝΕΣ  
PRINCIPAL KARSTIC ZONES

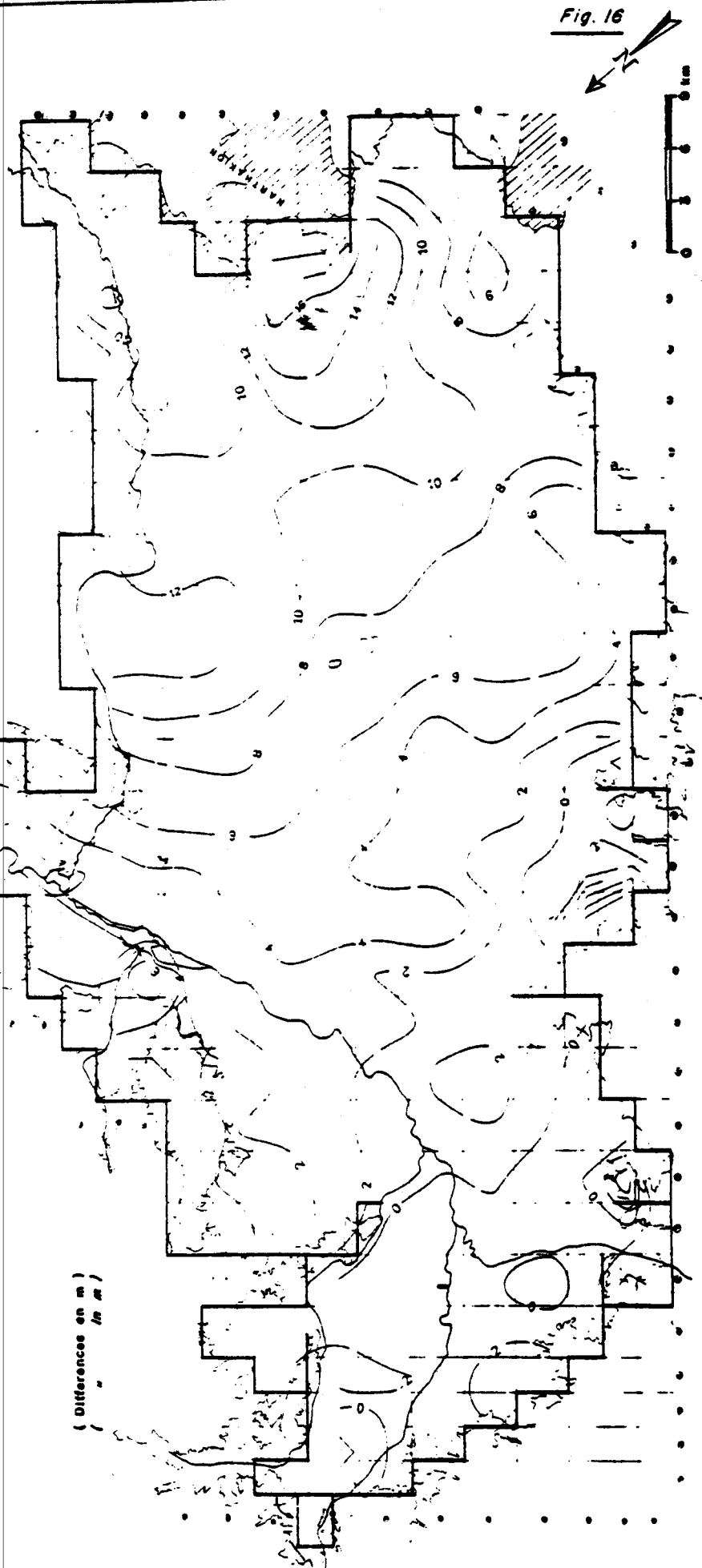
PIEZOMETRIE CALCULEE AU 1/4/1995 dans la plaine Occidentale.  
CALCULATED PIEZOMETRIC SITUATION on 1/4/1995

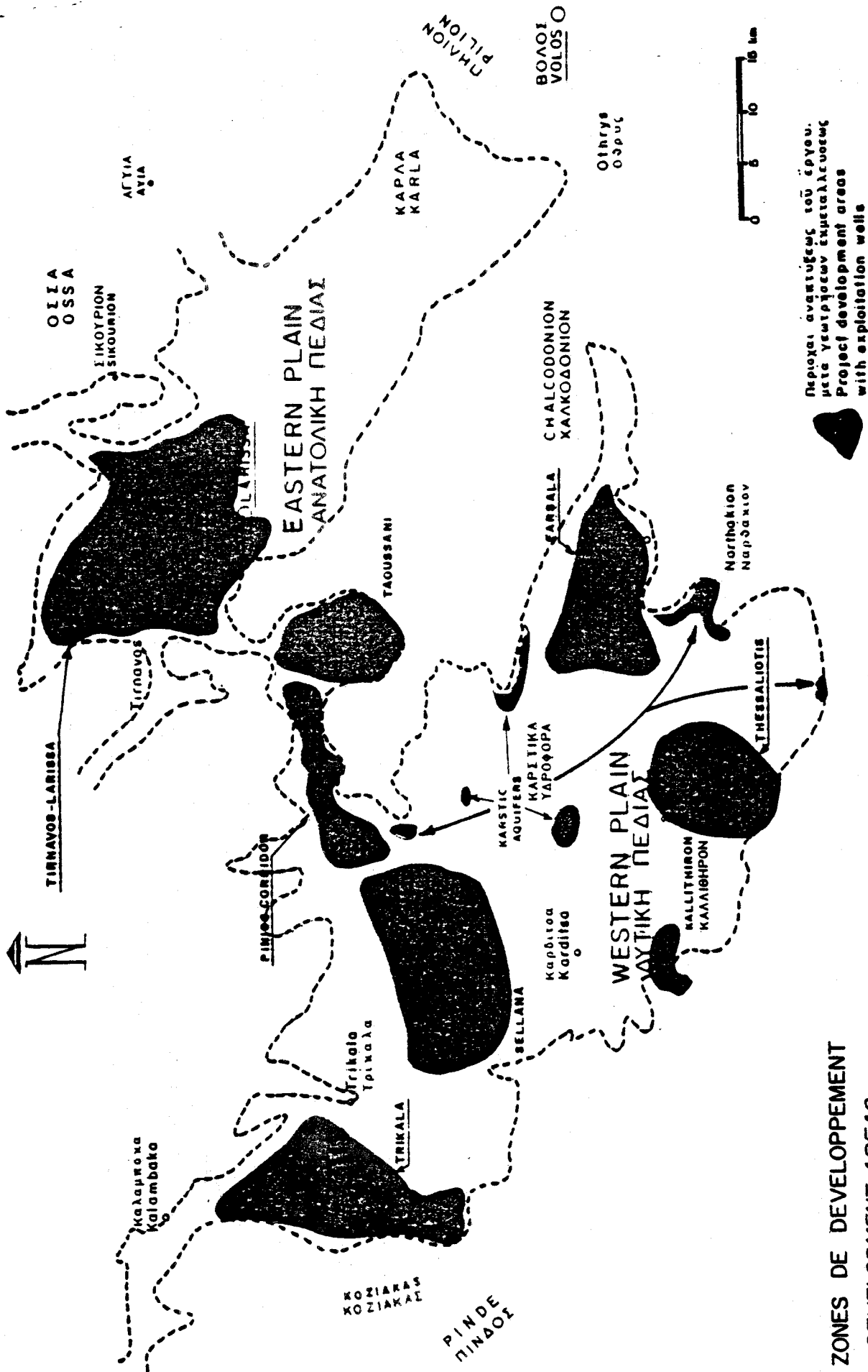


ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΔΙΑΔΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ  
WESTERN PLAIN OF THESSALY  
MATHEMATICAL MODEL OF THE AQUIFERS

ΥΠΟΜΝΗΜΑ - L E G E N D  
ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΖΟΝΕΣ  
PRINCIPAL KARSTIC ZONES

CARTE DES ABAISSSEMENTS PIEZOMETRIQUES ENTRE LA SITUATION  
DE REFERENCE (Avril 1980) ET CELLE CALCULEE au 1/4/1995 dans  
LA PLAINE OCCIDENTALE  
MAP SHOWING THE DIFFERENCE (DRAWDOWN) BETWEEN THE REFERENCE  
PIEZOMETRIC SITUATION (April 1980) and that CALCULATED for 1/4/1995





Προβλεπόμενες του έργου.  
μετα γεωπληθυσμ επιμεταλλευόμενες  
Project development areas  
with exploitation wells

ZONES DE DEVELOPPEMENT  
DEVELOPMENT AREAS

**PERIMETRE D'IRRIGATION EN  
THESSALIE OCCIDENTALE**

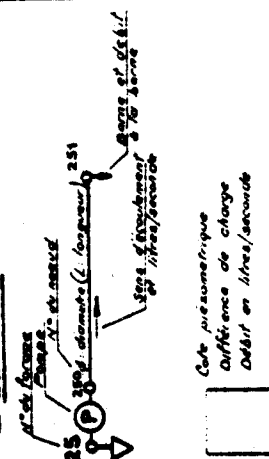
**Fig. 18**

**A 4-2**

— THESSALIE —  
VASSILIKI  
RESEAU MAILLE  
SCHEMA 3  
CALCUL N° 5  
(Pompe à 3 sections)

8 320497

## — LEGENDE —



## RESUME DES DEBATS ET CONCLUSIONS

### SUR LE THEME 1 :

#### IRRIGATION A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES.

La tendance actuelle du développement de l'agriculture irriguée est très nette en Afrique. Son évolution à long terme a constitué l'un des thèmes de travail du Club des Amis du Sahel réuni à Ottawa en juin 1977.

Lorsque les conditions hydrogéologiques sont économiquement favorables, les eaux souterraines peuvent pallier l'insuffisance des ressources en eau de surface.

L'utilisation combinée des eaux de surface et des eaux souterraines devrait permettre d'atteindre les objectifs fixés par la politique alimentaire de tous les Etats Membres du CIEH, et conformément au Plan Mondial Agricole fixé par la FAO, soit 800.000 ha irrigués à l'horizon 1985 (autosuffisance alimentaire).

#### . SYNTHESE DES COMMUNICATIONS ET DES DEBATS.

1) Les différentes communications et les débats qui ont suivi ont fait ressortir des réflexions et préoccupations qu'il est possible de regrouper en trois rubriques :

- les choix fondamentaux préliminaires à l'aménagement ;
- les aspects techniques et d'encadrement ;
- les contraintes économiques et sociales.

#### A) Les choix fondamentaux préliminaires à l'aménagement.

Les participants ont fait ressortir qu'il était important que de tels choix qui entrent dans le cadre de stratégies nationales ou régionales d'aménagement et qui relèvent donc du pouvoir politique, puissent s'appuyer sur :

- des études préliminaires relativement complètes et bien conçues.
- une bonne connaissance préalable de la qualité des eaux et sols: les participants ont particulièrement insisté sur l'importance de cet aspect en faisant ressortir certains échecs, ou déboires dus notamment à une relative négligence de cet aspect (qualité des eaux et du sol) au niveau des études préliminaires.
- une volonté d'élaborer un schéma préliminaire visant à l'utilisation conjuguée des eaux superficielles et souterraines.

Au stade des choix préliminaires les participants ont par ailleurs insisté sur l'importance dans les pays représentés aux Journées Techniques :

- d'encourager et de multiplier les microréalisations (petits aménagements).
- d'approfondir le plus loin qu'il est techniquement, économiquement et socialement possible l'intégration du projet (structures agricoles, équipements sociaux, etc...).

.../...

**B) Les aspects techniques et d'encadrement.**

A partir de différentes expériences exposées (ALGERIE - MAROC - SENEGAL - SOGREAH - SATEC - Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris) les participants ont distingué au cours de leurs débats :

- . les aspects spécifiques de chacune des expériences exposées et utiles à prendre en compte au titre de l'information et de l'échange ;
- . les aspects, démarches et techniques pouvant être rapprochées au niveau d'un essai d'élaboration d'une méthodologie commune aux Etats représentés.

Compte-tenu du thème (Irrigation à partir des eaux souterraines) et s'agissant de difficultés ou préoccupations communes, les débats des participants ont surtout mis l'accent sur :

- les problèmes de salinité et l'importance à accorder au drainage dans la conception des projets.
- l'importance des problèmes d'encadrement et de maintenance.
- l'établissement de normes et d'outils technico-administratifs.
- l'importance de la qualité des eaux analysées à la fois en fonction de l'objectif (irrigation) et également au regard de l'usage des équipements.
- le choix du matériel d'exhaure approprié.

**C) Les aspects économiques et sociaux.**

Les débats ont essentiellement été centrés sur le problème concernant le coût des équipements et les éléments d'appréciation d'une rentabilité des investissements à consentir au niveau des projets.

D'autres aspects que l'on peut considérer comme n'étant pas liés spécifiquement à l'irrigation à partir des eaux souterraines ont été abordés et discutés :

- l'importance des structures d'exploitation et de gestion des projets hydro-agricoles ;
- la prise en charge du projet par les intéressés (agriculteurs, producteurs).