

AMENAGEMENT DU BARRAGE AL WAHDA Direction Générale de l'Hydraulique¹

I- INTRODUCTION

Le développement du bassin de Sebou a, dès l'indépendance, été au centre des préoccupations gouvernementales en raison de ses richesses hydriques, du potentiel important en terres irrigables dans la plaine du Gharb et de la nécessité de protéger cette dernière contre les effets dévastateurs des crues, particulièrement celle de l'Ouergha, principal affluent de l'Oued Sebou.

En effet, l'Oued Ouergha, par l'importance de ses apports représentant près de la moitié des apports du Sebou et 13 % de l'ensemble des ressources en eau de surface du pays, offre des potentialités exceptionnelles pour la mobilisation de l'eau.

Suite aux graves inondations de 1960 et 1963 ayant concerné respectivement 100.000 ha et 160.000 ha, les pouvoirs publics avaient entrepris l'établissement d'un plan d'aménagement de la plaine. Le programme d'équipement a prévu l'édification, sur 25 à 30 ans, de 13 barrages au niveau du bassin du Sebou dans le but de protéger la plaine contre les inondations et d'irriguer une superficie d'environ 250.000 ha.

Le Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat qui a examiné dans sa session de mai 1988, le plan d'aménagement des eaux de l'Ouergha, a recommandé la réalisation du Barrage Al Wahda. De part sa situation privilégiée à l'aval du bassin et sa grande capacité de stockage, ce barrage permettra un contrôle quasi total des apports de l'Ouergha.

Les caractéristiques remarquables du site permettent d'y édifier un barrage à buts multiples :

- Sur le plan de l'irrigation, cet ouvrage permettra de couvrir les besoins en eau des 100.000 ha de la Troisième Tranche d'Irrigation du Gharb (T.T.I) en plus de 15 000 ha dans la vallée du Bas Ouergha qui s'étend depuis le barrage Al Wahda jusqu'à la ville de Khénichet et de contribuer ainsi de manière significative à la réalisation de l'objectif de l'irrigation du million d'hectares en l'an 2000.
- Sur le plan de la protection contre les inondations, une tranche d'un volume de plus d'un milliard de m³ assurera le laminage des crues et le contrôle des volumes déversés.
- Sur le plan énergétique, l'usine hydro-électrique associée au barrage assurera avec une puissance installée de 247,5 Mégawatts, la production de 400 millions de kwh en moyenne par an.

- En raison de l'important déficit en eau attendu à terme dans la région située au Sud de Rabat ; un transfert massif d'eau sera effectué sur une distance de plus de 200 km. Ce transfert constitue à long terme la seule alternative susceptible de répondre aux besoins en eau croissants de la grande agglomération urbaine de Casablanca.

II- BASSIN DU SEBOU

II-1- Le contexte physique

Situé au Nord du Royaume, entre le Rif et l'Atlantique, le bassin du Sebou couvre une superficie de 40.000 km². Il draine des apports dont le volume annuel est estimé à 5.600 millions de m³.

Caractérisé par un climat de type méditerranéen à influence océanique, le bassin reçoit en moyenne 700 mm de pluie par an. La presque totalité de ces précipitations est concentrée sur 6 mois de l'année, d'Octobre à Avril en général.

Le Bas Sebou est le collecteur terminal des eaux du bassin versant dont l'amont est caractérisé par des massifs montagneux bien arrosés par les précipitations dont la hauteur atteint parfois 2.000 mm par an. Ce collecteur est également un goulot d'étranglement incapable, lors des années humides, d'évacuer les énormes quantités d'eau qui déferlent de l'amont après les épisodes pluvieux prolongés, entraînant ainsi l'inondation de très grandes superficies dans la plaine du Gharb.

II-2- Les infrastructures existantes et projetées

L'aménagement des vallées et de la plaine du Gharb n'est possible qu'avec la maîtrise et la régularisation des eaux du Sebou et de ses principaux affluents le Beht, l'Inaouène et l'Ouergha.

Les études de planification du développement des ressources en eau du bassin du Sebou ont permis d'aboutir à un vaste programme d'aménagements hydrauliques destiné à assurer l'irrigation de la plaine du Gharb, l'alimentation en eau potable des centres urbains et des unités industrielles et la production de près de 1.460 millions de Kwh par an, en plus de la possibilité du transfert, désormais possible, de 600 à 700 millions de m³ d'eau vers les régions situées plus au Sud.

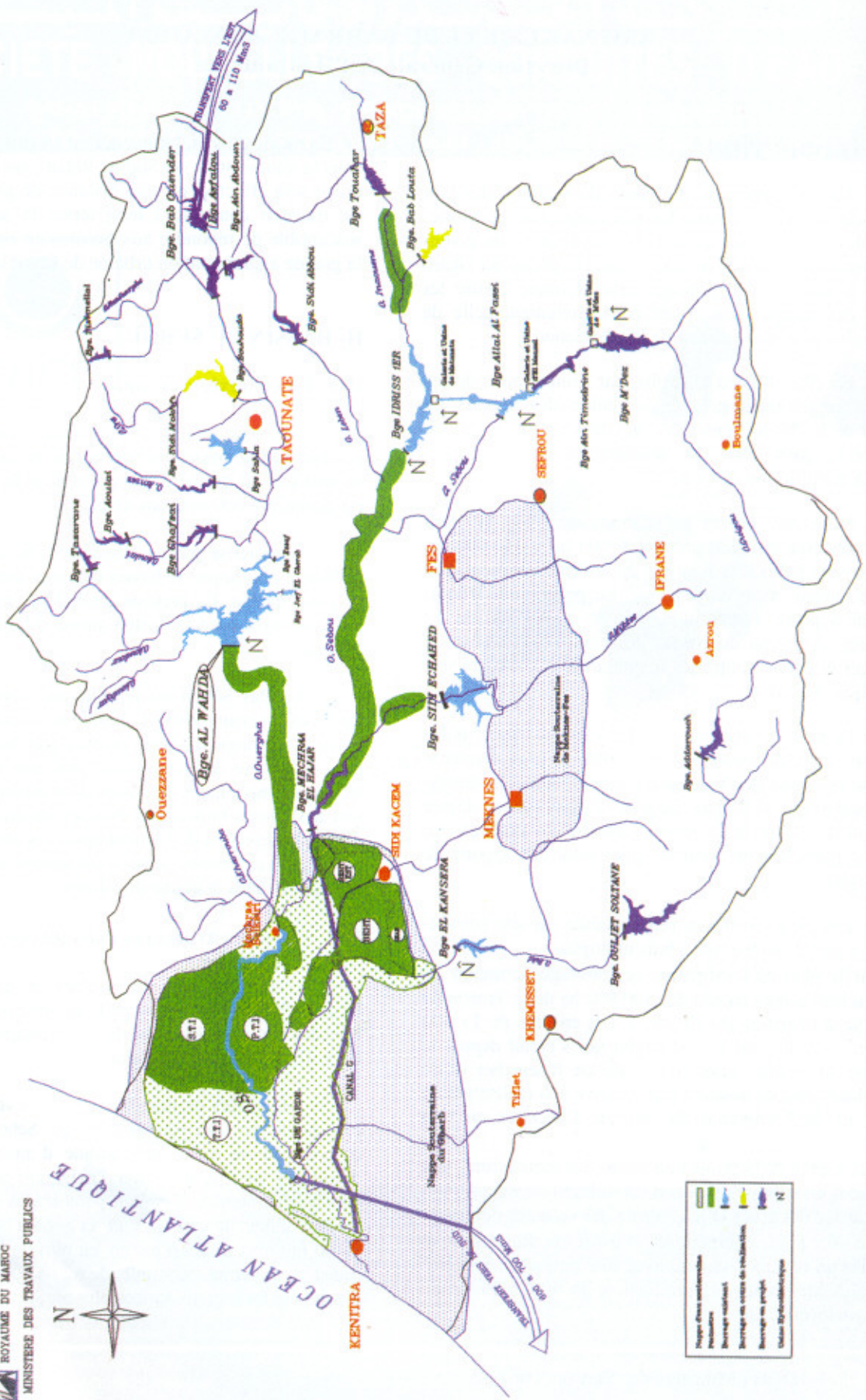
¹ Mai 1997 – DGH / Ministère des Travaux Publics

AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DU SEBOU

ROYAUME DU MAROC
 MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS



OCEAN ATLANTIQUE



	Dam	N
	Canal	
	Zone d'irrigation	
	Barrage en cours de réalisation	
	Barrage en projet	
	Urbanisation	

L'aménagement de l'Oued Sebou et ses affluents est une œuvre de longue haleine qui se poursuit depuis près de quatre décennies d'une manière régulière. Le barrage Al Wahda, pièce maîtresse de l'aménagement du bassin du Sebou, complétera les infrastructures de mobilisation de l'eau déjà réalisées sur l'Oued Sebou et ses affluents, à savoir :

- Le Barrage El Kansera construit sur l'Oued Beht en 1935 et surélevé de 6 mètres en 1968 ;
- Le Barrage Idriss 1^{er} en 1973 ;
- le Barrage de Garde sur l'Oued Sebou en 1990 ;
- le Complexe Allal El Fassi en 1991 ;
- les barrages Sahla et Sidi Chahed mis en eau respectivement en 1994 et 1997 ;

II-3- Les barrages moyens en cours de réalisation

Il s'agit :

- du Barrage Bouhouda sur l'Oued Sra de 56 millions de m³ de capacité de retenue. Il est destiné à l'irrigation d'un périmètre de 3.000 ha de petite et moyenne hydraulique dans le haut bassin de l'Ouergha, et à l'approvisionnement en eau des centres ruraux avoisinants.
- du Barrage Bab Louta situé sur l'Oued Bouhlou, affluent rive gauche de l'Oued Inaouène. C'est un barrage de 37 millions de m³ de capacité. Il est destiné à l'alimentation en eau potable de la ville de Taza.

II-4- Les barrages en projet

La maîtrise des eaux de l'Oued Sebou sera presque totale avec la réalisation des barrages projetés, présentés ci-après (Tableau n°1). L'ensemble de ces aménagements permettra de porter le volume d'eau de surface mobilisé à 4.500 millions de m³ par an, soit près de 80 % des apports en eau de surface.

III- DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION

III-1- La plaine du Gharb

Présentation de la plaine

• Situation géographique

Le périmètre du Gharb est situé au Nord-Ouest du Maroc et couvre une superficie géographique de l'ordre de 616.000 ha. La superficie agricole utile est de 388.000 ha. La superficie non cultivée (infrastructure, parcours, superficies impropres à l'agriculture) est de 228.000 ha avec 122.600 ha de forêt.

• Climatologie

Le climat est du type méditerranéen avec une influence océanique favorable pour le développement d'une large gamme de cultures. Les températures moyennes oscillent entre 13°C pendant l'hiver et 27°C pendant l'été. La pluviométrie annuelle est de 600 mm dans la zone côtière et décroît à 470 mm à Sidi Kacem.

• Population et entité administrative

La population est de 1.243.787 habitants (recensement 1994), dont 691.706 habitants ruraux, soit 56 % de la population.

Sur le plan administratif, le périmètre du Gharb, relève du commandement de deux Provinces à savoir, la province de Kénitra et la Province de Sidi Kacem. L'ensemble du périmètre constitue la zone d'action de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (ORMVAG).

Tableau n°1 : Barrages projetés

Barrage	Hauteur (m)	Volume stocké (Mm ³)	Barrage	Hauteur	Volume stocké (Mm ³)
ASFALOU	112	320	Complexe M'Dez Aïn Timedrine	104 34	600 3
TAFRANT	70	290	Touahar	57	370
SIDI ABBOU	60	70	Ghafsai	70	290
BAB OUENDER	70	390	Ouljet Soltane	90	208
ADAROUCHE	51	48	Machra El Hajar	22	18
TAZARANE	63	9	Tizmellal	80	21

• L'aménagement de la plaine du Gharb

A la veille du projet Sebou, la région du Gharb était caractérisée par une faible occupation des sols, par de vastes étendues de merjas et de marécages, et par un élevage extensif sur les terres de parcours. Certaines opérations d'aménagement de la plaine du Gharb ont été entreprises au cours de la première moitié du siècle, telles que les travaux d'assèchement à partir de 1925 et la mise en eau du périmètre du Beht à partir de 1933.

L'aménagement du périmètre du Gharb prévoit la généralisation de l'irrigation sur 250.000 ha environ, soit 16 % du potentiel national en terres irrigables, en plus de l'aménagement des zones bour sur une superficie de l'ordre de 130.000 ha. L'aménagement du périmètre du Gharb nécessite la réalisation de plusieurs opérations complexes concernant les travaux de nivellement, les réseaux de drainage, d'assainissement et d'irrigation, les adducteurs principaux, les stations de pompage et le recalibrage des émissaires d'assainissement.

Sur le potentiel irrigable de 250.000 ha dans la plaine du Gharb, 104.000 ha répartis en 12.000 ha de petite et moyenne hydraulique et 92.000 ha de grande hydraulique sont équipés : les périmètres de cette grande hydraulique se composent des tranches suivantes :

- * Périmètre du Beht : 29.000 ha
- * Première Tranche d'Irrigation (PTI) : 36.000 ha
- * Deuxième Tranche d'Irrigation (STI) : 25.000 ha
- * Périmètre de Moghrane : 2.000 ha

Par ailleurs, sur les 250.000 ha à équiper dans le cadre du Programme National d'Irrigation au niveau de tout le pays à l'horizon 2000, la part du périmètre du Gharb au niveau de ce programme est de 35 %. Cette importante part se compose de 82.200 ha d'équipements nouveaux et de 7.500 ha de réhabilitation. Actuellement, le programme est déjà entamé sur 15.000 ha.

La mise en valeur du périmètre du Gharb

L'aménagement du périmètre et l'encadrement technique des agriculteurs ont permis une mise en valeur intensive des terres agricoles. En effet, d'un système antérieur de cultures en extensif, basé essentiellement sur la céréaliculture et l'élevage, le périmètre du Gharb connaît actuellement une diversification assez large de cultures et une amélioration substantielle des productivités végétale et animale.

• L'agriculture

En matière de production agricole, le Gharb se caractérise essentiellement par les productions sucrières, laitières et rizicoles. D'autres cultures non moins importantes, telles que les céréales, les oléagineux, les agrumes,

le coton et le maraîchage sont également pratiqués au niveau du périmètre.

Concernant l'élevage, le cheptel compte environ 254.000 bovins, 444.500 ovins, 17.300 caprins et 72.000 équidés.

• L'agro-industrie

Compte tenu de sa vocation agricole, la plaine du Gharb dispose de l'infrastructure agro-alimentaire nécessaire lui permettant de jouer un rôle important, aussi bien dans l'économie régionale que nationale. Les principales unités industrielles de la région se composent de 5 sucreries, 4 rizeries, 7 minoteries, 2 laiteries, 2 huileries, une unité d'alcool à partir des mélasses et 15 unités de stockage ou de conditionnement des produits agricoles. La capacité de production des 5 sucreries suscitées est de 212.600 tonnes. Le potentiel sucrier de la plaine du Gharb représente la moitié de celui de l'ensemble du territoire national.

• Les objectifs de la mise en valeur

Dans le cadre de la mise en valeur de la plaine du Gharb, cinq principaux objectifs sont retenus, à savoir :

- * l'amélioration des revenus des agriculteurs par l'augmentation de la productivité, au niveau de l'intensification culturale, l'optimisation de l'emploi des facteurs de production, l'amélioration des circuits de commercialisation, notamment par la création d'une place commerciale agricole dans la région de Mnasra ;
- * l'organisation des filières et de l'interprofessionnel, la dynamisation et la création de nouvelles organisations professionnelles ;
- * la sauvegarde du milieu naturel ;
- * l'instauration d'un système de suivi-évaluation du développement agricole ;
- * l'intensification rapide de la mise en valeur agricole dans les nouveaux secteurs de 15.000 ha en cours d'équipement.

• L'aménagement de la Troisième Tranche d'Irrigation (T.T.I)

D'une superficie d'environ 105.400 ha, la Troisième Tranche d'Irrigation (TTI) sera principalement irriguée à partir du Barrage Al Wahda.

Sur le plan de l'aménagement, la TTI est subdivisée en deux parties. La première partie, d'une superficie de 67.000 ha, sera irriguée directement à partir de l'Oued Sebou ; elle sera réalisée dans le cadre du Programme National d'Irrigation (PNI). La deuxième partie, d'une superficie de 38.500 ha, ne sera aménagée qu'au-delà de l'an 2000. Son irrigation sera assurée à partir du Barrage Mechraâ El Hajer et du canal G.

• Les composantes d'aménagement de la TTI

La TTI du Gharb comportera les infrastructures hydrauliques suivantes :

* Le barrage de prise de Mechraa El Hajer situé au débouché du Sebou dans la plaine du Gharb. Cet ouvrage d'eau dérivera annuellement au canal adducteur G un volume de 520 millions de m³ destiné à l'irrigation de 42.000 ha de la TTI, 13.000 ha de la PTI et 9.000 ha du Beht Est. Ce canal est dimensionné pour un débit de 68 m³/s :

* Les ossatures de l'irrigation sont constituées par six canaux principaux revêtus en béton (100 km) ; ces canaux permettront de transporter l'eau depuis les stations de prise installées le long de l'Oued Sebou jusqu'aux réseaux d'irrigation des sept casiers hydrauliques de la TTI.

* Les stations de pompage sont au nombre de 20 stations de relevage et de 8 stations de mise en pression ;

* Les réseaux d'irrigation proprement dits et les équipements de la parcelle diffèrent selon les modes d'irrigation prévus :

- Gravitaire : environ 80 % de la superficie de la TTI

- Submersion destinée exclusivement à la riziculture (3000 ha)

- Ruissellement pour les autres cultures (78.000 ha)

- Aspersions : environ 20 % de la superficie de la TTI, plus éventuellement 10.000 ha qui pourraient être irrigués par centres-pivots.

* Le réseau de drainage superficiel et enterré est composé respectivement de 4000 km de canaux en terre et 12.500 km de tuyauterie.

• Développement de l'agriculture au niveau de la TTI

La production agricole escomptée après l'aménagement de la TTI se présente comme indiqué dans le tableau n°2 ci-après.

Par ailleurs, pour la valorisation de cette production, une étude est actuellement en cours pour l'organisation et la commercialisation de la production. L'objectif visé est de créer dans une étape ultime une place commerciale dotée de toutes les infrastructures nécessaires.

Tableau n°2 : Production agricole escomptée après l'aménagement de la TTI

	Production (en t)	Superficies (en ha)	Rendement (t/ha)
Canne à sucre	1.955.000	23.000	85,0
Betterave à sucre	715.000	13.000	55,0
Riz	25.000	5.000	5,0
Blé tendre	65.000	13.000	5,0
Maïs grain	105.000	17.500	6,0
Tournesol	22.050	6.300	3,5
Arachide	20.500	8.200	2,5
Soja	18.250	7.300	2,5
Maraîchage d'hiver	330.000	16.500	20,0
Maraîchage d'été	217.500	8.700	25,0
Fourrage	1.800.000	45.000	40,0
Agrumes	22.000	550	40,0
Coton	1.650	550	3,0
Viandes rouges	6.300		
Laines	110		
Miel	280		
Lait	200 millions de litres		

III-2- La vallée du Bas Ouergha

D'un potentiel irrigable de 15.000 ha, le périmètre du Bas Ouergha s'étend sur les basses terrasses de l'Oued Ouergha, depuis le barrage Al Wahda jusqu'à la ville Khénichet. Le développement de cette vallée entre dans le cadre de l'aménagement global des périmètres dominés par le barrage.

Le projet du développement de la vallée du Bas Ouergha prévoit la mise en valeur intensive par l'irrigation qui permettra d'escompter une production végétale et animale résumée dans le tableau n°3 ci-après.

IV- L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

La zone atlantique allant de Kénitra à Jorf Lasfar se caractérise par un développement rapide autour de l'axe Kénitra-El-Jadida, nécessitant la mise en place d'équipements importants pour son alimentation en eau potable et industrielle. Cette zone, la plus peuplée et la plus industrialisée du Royaume, a reçu de ce fait une attention particulière de la part des pouvoirs publics, en vue d'assurer la satisfaction, d'une manière continue et sans déficit, ses besoins en eau.

Les schémas directeurs qui tiennent compte des besoins à l'horizon 2020, régulièrement actualisés, ont conduit à définir un programme de réalisation à moyen et long termes. Conformément aux grandes lignes de ces schémas, plusieurs unités de production ont été réalisées pour le traitement des eaux provenant des retenues des barrages des bassins du Bou Regreg et de l'Oum Er Rbia.

L'éloignement des sites de prélèvement par rapport aux centres principaux de consommation a nécessité des transferts d'eau sur de longues distances et a requis la réalisation d'un réseau d'adductions régionales totalisant près de 500 km de conduites de 1000 à 1600 mm de diamètre.

Face à l'accroissement continu des besoins de la zone considérée et devant la saturation des ressources déjà mobilisées, le recours au transfert vers cette zone des eaux de surface en provenance du bassin du Sebou s'avère nécessaire.

Dans le souci d'assurer, au moindre coût pour la collectivité, le transfert d'un volume de 470 millions de m³ réservé à l'alimentation en eau potable et industrielle des mesures d'accompagnement sont déjà prises, dont principalement :

- la mise en place d'un réseau de contrôle de la pollution du bassin du Sebou permettant de suivre l'évolution des rejets urbains et industriels ;
- le lancement d'un important programme de réhabilitation des installations d'alimentation en eau potable existantes et de sensibilisation à l'économie de l'eau afin de différer, autant que faire se peut, la réalisation du transfert et partant, alléger son poids financier.

Par ailleurs, le démarrage effectif des projets d'assainissement a été lancé par les pouvoirs publics pour les grandes villes situées dans le bassin versant du Sebou et ce, dans le but de ramener le taux de pollution à un niveau permettant la préservation de la qualité des eaux de surface d'une part, et la réutilisation des eaux épurées d'autre part.

Tableau n°3 : Production agricole escomptée après l'aménagement du Bas Ouergha

Productions	Production escomptée qx	Production additionnelle qx
• Productions Végétales		
Agrumes	531.700	241.700
Oliviers	20.760	13.910
Blé-Orge	112.850	20.600
Maïs grain	52.300	52.300
Betterave	380.500	333.700
Coton	7.150	7.150
Tournesol	12.140	12.140
Maraîchage	179.360	174.000
Légumineuses maraîchers	55.700	55.700
• Productions animales		
Lait	17 millions de litres	16 millions de litres
Viande	1.260 tonnes	1.080 tonnes

V- IMPACTS ECONOMIQUE, SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

De part sa grande capacité, le barrage Al Wahda permettra un contrôle quasi total des apports de l'Ouergha et assurera des services très importants aussi bien au niveau régional qu'à l'échelle nationale :

En ce qui concerne le développement de l'agriculture, le Barrage Al Wahda va irriguer à lui seul plus de 100 000 ha dans la plaine du Gharb et dans la vallée du Bas Ouergha.

- dans l'ensemble, l'extension des superficies irriguées générera des bénéfices directs importants, évalués aux conditions économiques de 1985 à près de 1150 millions de dirhams/an auxquels il faut ajouter les bénéfices indirects induits ;

- le projet Al Wahda engendrera une augmentation importante des productions agricoles. Ainsi à titre d'exemple, les productions des cultures industrielles et des maraichages connaîtront des augmentations respectivement de près de 1.130.000 tonnes et de 465.000 tonnes. Les cultures rizicoles connaîtront également une augmentation de l'ordre de 27.000 tonnes. De même, le secteur laitier enregistrera un accroissement de production de plus de 173 millions de litres ;

- l'irrigation entraînera également une amélioration sensible des revenus des agriculteurs. En effet, la marge nette de production sera multipliée par quatre.

- sur le plan social, le projet permettra de créer, en plus des emplois associés à la réalisation du barrage, l'équivalent de 30.000 à 40.000 emplois dans le secteur agricole et l'équivalent de 10.000 emplois dans les autres secteurs de l'économie.

Le Barrage Al Wahda permettra d'assurer un laminage des crues de l'Oued Ouergha, grâce à une gestion appropriée de la retenue dont une tranche d'un milliard de m³ a été réservée à l'écrêtement des crues en hiver. Associé à l'endiguement du bas Sebou, le barrage réduira d'une manière sensible la fréquence et le volume des débordements dans la plaine du Gharb. Ces dispositions se traduiront par une réduction des dégâts causés à l'infrastructure et à la production agricole de l'ordre de 200 millions de dirhams par an en moyenne. C'est ainsi

que la protection de la plaine du Gharb contre les inondations sera assurée grâce au barrage Al Wahda avec une efficacité hydraulique¹ de plus de 90 %. En effet, déjà cette année, grâce à la mise en eau du Barrage Al Wahda

en Novembre 1996, toutes les crues du mois de Décembre 1996 enregistrées au niveau du Sebou à l'aval du barrage, ont été de faible importance ; le débit maximal n'ayant pas dépassé 1000 m³/s, alors que le débit de la crue affluente à l'entrée du barrage a atteint 5.000 m³/s le 25 décembre 1996.

La puissance installée de l'usine Al Wahda (247,5 Mw)représente 22 % de la puissance installée totale du parc hydro-électrique national (y compris Al Wahda). Elle permettra de produire près de 400 millions de kilowatts-heures par an en moyenne, représentant 16 % de l'ensemble de la production hydro-électrique, soit l'équivalent de la consommation en électricité d'une ville de l'importance de Fès ou de Tanger. L'usine Al Wahda permettra d'économiser un équipement de pointe sous forme de turbine à gaz de 210 Mw à 130 Mw de puissance installée entre les stades initial et final de développement des irrigations.

Le Barrage Al Wahda avec le reste des équipements hydrauliques du Bassin du Sebou permettra de dégager un surplus d'eau mobilisée, de 600 à 700 millions de mètres cubes transférables vers les régions déficitaires du Sud. Ce transfert massif d'eau accroîtra la disponibilité en eau au profit de l'alimentation en eau potable et industrielle de la région de Casablanca et de l'irrigation des zones agricoles au Sud de Rabat. Il contribuera ainsi à la consolidation de la solidarité entre régions excédentaires et régions déficitaires en eau.

Le Barrage Al Wahda aura par ailleurs un impact positif sur l'amélioration de la qualité de l'eau dans le bas Sebou. En effet, le barrage introduit une modification du régime hydrologique naturel de l'Ouergha à son aval, cependant, son exploitation permettra une nette amélioration de la débitance et une pérennité de l'écoulement qui se traduiront, au niveau du cours inférieur du Sebou, par une meilleure qualité de l'eau notamment en période d'étiage.

¹ Efficacité hydraulique =
$$\frac{\text{Volume d'eau empêché de déborder par la protection}}{\text{Volume d'eau qui déborderait en l'absence de cette dernière}}$$

VI- DESCRIPTION DU BARRAGE AL WAHDA

Le Barrage Al Wahda, dont la fiche synoptique est donnée en annexe, est situé sur l'Oued Ouergha, à 5 km du village de M'Jara, et à 54 Km au Sud-Est de la ville d'Ouezzane.

Par le volume des matériaux mis en œuvre le Barrage Al Wahda est le plus grand ouvrage du Royaume. En effet, sa construction a nécessité l'exécution de plus de 14 millions de m³ d'excavations, la mise en œuvre de 28 millions de m³ de remblais et 640.000 m³ de béton. Des cadences de mise en place des remblais records à l'échelle nationale ont été réalisés, plus de un million de m³ par mois ont été mis en place, ceci témoigne de l'importance des moyens humains et matériels mobilisés pour la réalisation de ce barrage dont les travaux ont duré 7 ans.

Pendant la phase de construction du barrage, la dérivation des eaux de l'Ouergha a été assurée par un Canal de dérivation dimensionné pour une crue centennale d'un débit de 10.000 m³/s.

Avec 3.800 Millions de mètres cube de capacité, le Barrage Al Wahda constitue le plus grand réservoir du Royaume. Représentant 27% de la capacité totale de l'ensemble des barrages, le Barrage Al Wahda garantira la fourniture de 1.740 millions de m³ par an. Cet ouvrage est constitué d'un barrage principal et d'une digue de col séparés par un bloc composé des ouvrages annexes.

• L'évacuateur de crues

Il est du type chenal, situé sur la rive droite, il permet de faire passer la crue de projet de 20.000 m³/s

avec un débit écrêté à 13.300 m³/s sous la cote des plus hautes eaux par 6 pertuis aménagés dans l'ouvrage d'entrée, équipés de 6 vannes segment mesurant chacune 17 m de haut et 14,7 m de large.

• La vidange de fond

Comporte 2 pertuis identiques ayant une capacité d'évacuation de 2 × 925 m³/s. Chaque pertuis est contrôlé par une vanne wagon de garde et une vanne secteur de réglage. L'eau transite par une galerie et un chenal de section rectangulaire de 6,25 m x 10,00 m et d'une longueur totale de 750 m.

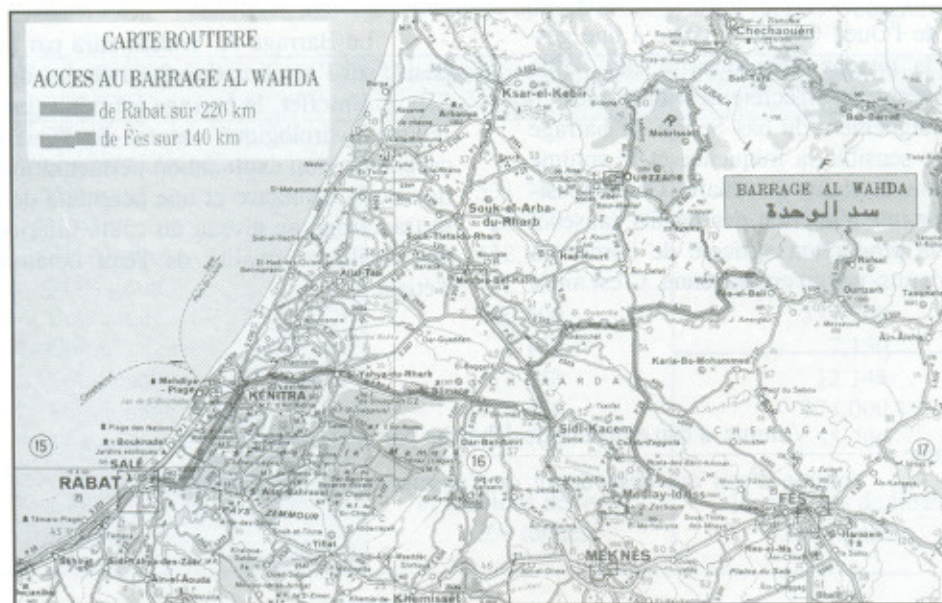
VII- USINE HYDROELECTRIQUE DU BARRAGE AL WAHDA

L'usine hydroélectrique associée au barrage Al Wahda est constituée :

- d'une galerie d'amenée de 380 m de long et de 10,80 m de diamètre ;
- d'une usine équipée de 3 turbines à axe vertical totalisant une puissance de 247,5 MW pour un débit de 450 m³/s.

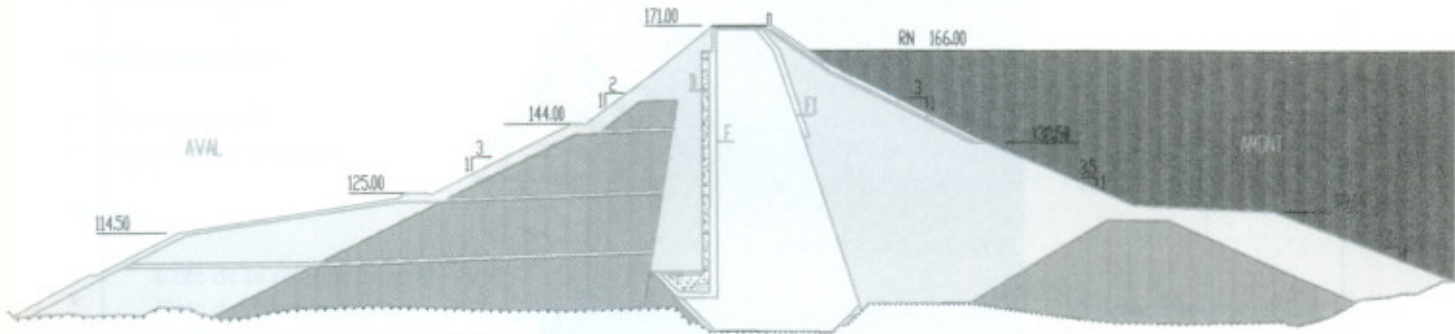
VIII- REALISATION DES TRAVAUX

Les travaux de construction du barrage Al Wahda ont été lancés le 30 Juin 1991 par SA MAJESTE LE ROI HASSAN II que Dieu le glorifie. Ils se sont déroulés conformément au programme. La mise en eau de l'ouvrage a débuté le 12 novembre 1996 et l'ensemble des travaux s'est achevé début Mars 1997. Le 20 Mars 1997, SA MAJESTE LE ROI HASSAN II procéda à l'inauguration du barrage Al Wahda.



BARRAGE AL WAHDA

COUPE TYPE



CARACTERISTIQUES DU BARRAGE

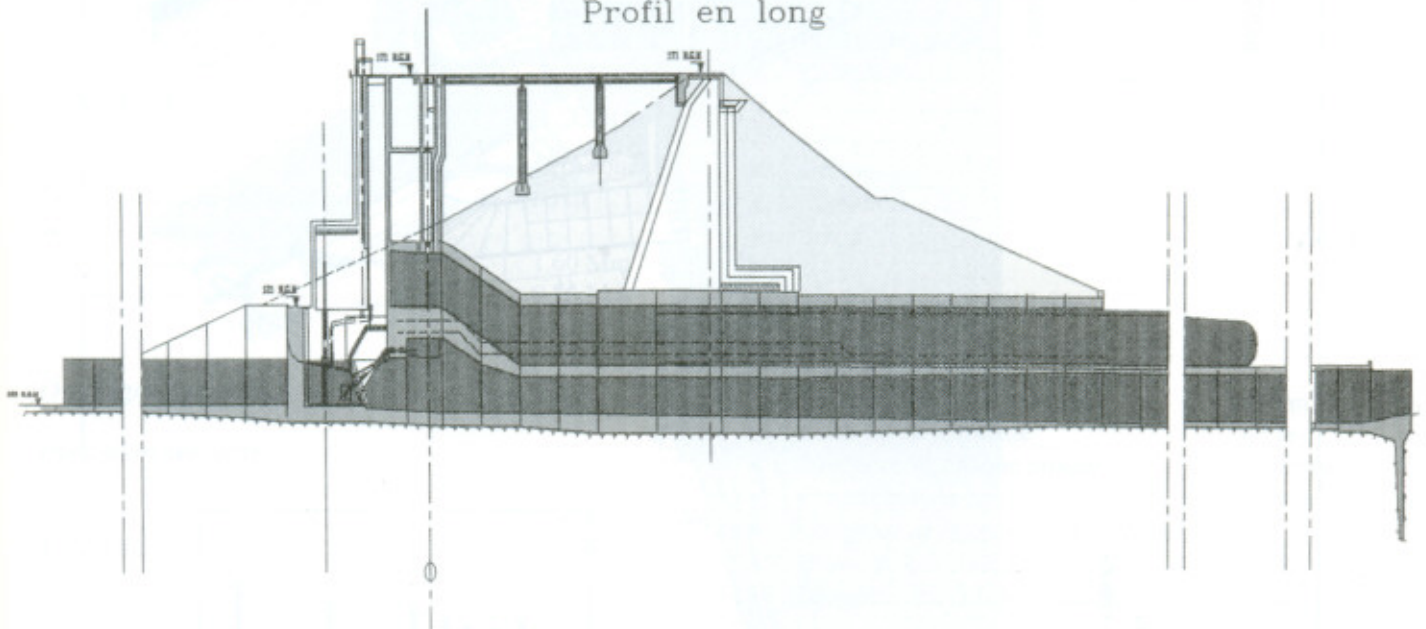
TYPE DU BARRAGE	: DIGUE ZONEE
HAUTEUR DU BARRAGE	: 88 m
VOLUME DE LA RETENUE NORMALE	: 3.800 Mm ³
SURFACE DE LA RETENUE NORMALE	: 12.300 ha
CAPACITE DE L'EVACUATEUR DE CRUE	: 13.300 m ³ /s
CAPACITE DE LA VIDANGE DE FOND	: 1.840 m ³ /s
VOLUME DES REMBLAIS	: 28 Mm ³
VOLUME DES BETONS	: 650.000 m ³

LEGENDE

- ALLUVIONS SILTO- ARGILEUSES
- ALLUVIONS GROSSIERES
- ALLUVIONS FINES
- D DRAIN
- F FILTRE
- E RIP RAP

OUVRAGE UNIQUE

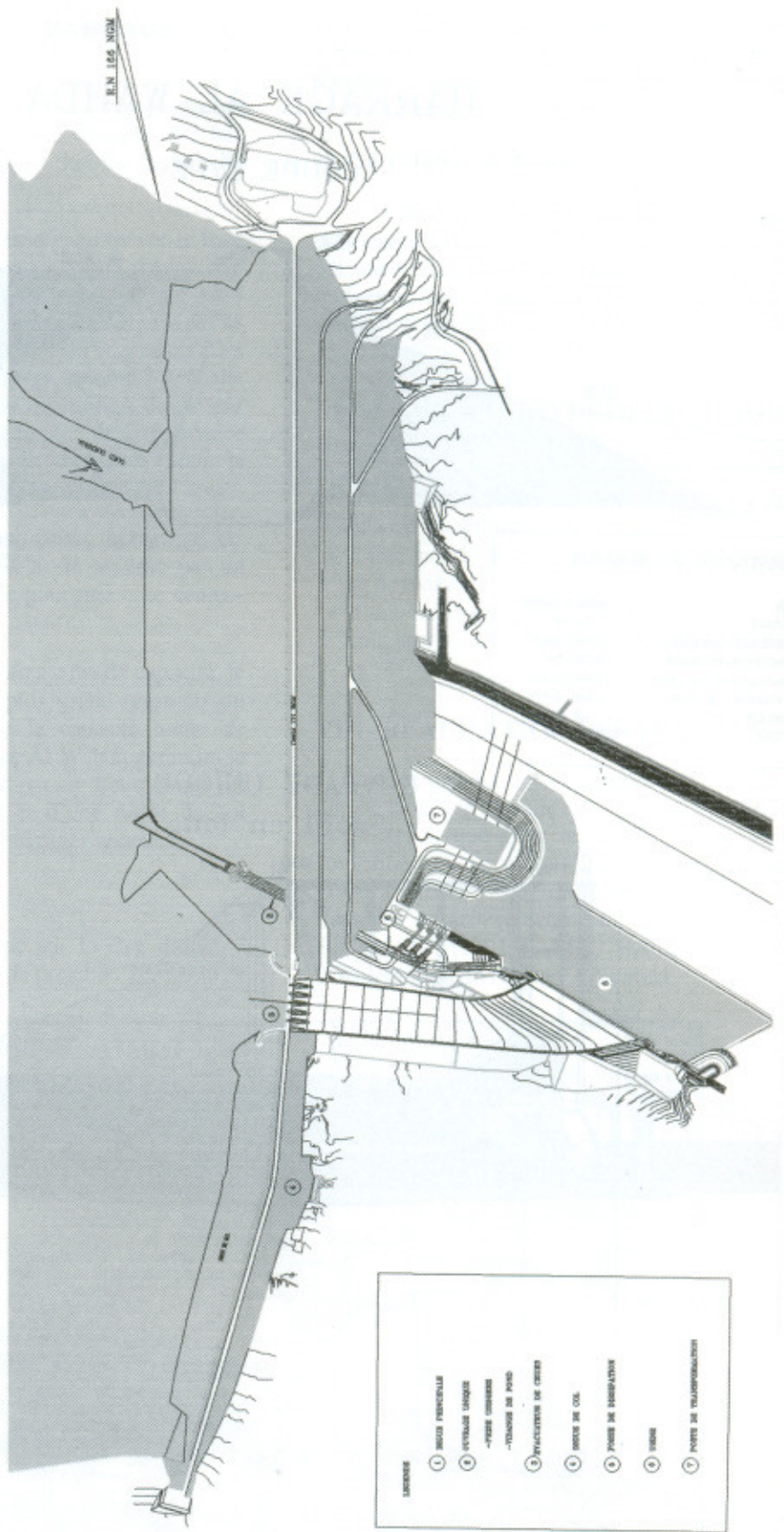
Profil en long



BARRAGE AL WAHDA

ROYAUME DU MAROC
MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

VUE EN PLAN



- LEGENDE
- ① BARRAGE PRINCIPAL
 - ② ÉVÉNEMENT UNIQUE
- PÉRIODE CRITIQUE
- TOLÉRANCE DE POND
 - ③ RECALCULATION DE CROISÉ
 - ④ BRÈCHE DE COÛT
 - ⑤ POURSUITE DE RECALCULATION
 - ⑥ TRONC
 - ⑦ PARTIE DE TRANSFORMATION

FICHE SYNOPTIQUE

Caractéristiques

Données naturelles

- Bassin versant : 6 200 km²
- Apport moyen annuel : 3 300 hm²

Retenue

- Cote de la retenue normale (RN) : 166 NGM
- Cote des plus hautes eaux (PHE) : 168 NGM
- Surface de la retenue normale : 12 300 ha
- Volume de la retenue normale : 3.800 Mm³
- Volume régularisé : 1.740 Mm³

Barrage principal

- Type : terre zonée
- Longueur en crête : 1.600 m
- Hauteur maximale sur fondations : 88 m
- Volume de l'ouvrage :
 - ❖ remblais : 26,4 Mm³
 - ❖ déblais : 13,8 Mm³

Digue de col

- Type : terre zonée
- Hauteur sur fondations : 30 m
- Volume de l'ouvrage :
 - ❖ remblais : 1,60 Mm³
 - ❖ déblais : 0,20 Mm³

Ouvrages annexes

Dérivation provisoire

- Type : Chenal
- Débit : 10.000 m³/s

Evacuateur de crues

- Type : Evacuateur à seuil vanné
- Vannes segment :
 - ❖ Nombre : 6
 - ❖ Dimensions : 17,00 x 14,70 m
- Débit maximal : 13.300 m³/s

Ouvrages de vidange

- Type : 2 pertuis sous remblais
- Débit maximal : 2 x 920 m³/s

Conduite d'aménée pour l'usine

- Diamètre de la conduite : 10,80 m
- Nombre des conduites forcées : 3
- Capacité (maximale) : 450 m³/s
- Diamètre des conduites forcées : 5,70 m

Caractéristiques globales du barrage

- Longueur totale en crête : 2.600 m
- Largeur maximale de l'emprise : 600 m
- Hauteur maximale sur fondations : 88 m
- Terrassement : 42 Mm³
- Déblais : 14 Mm³
- Remblais : 28 Mm³
- Béton : 640.000 m³

Caractéristiques de l'usine

- Nombre de groupes : 3
- Débit nominal des groupes : 450 m³/s
- Chute brute nominale : 63 m
- Puissance de chaque groupe : 82,5 Mw
- Diamètre de la conduite d'aménée : 10,8 m
- Longueur de la conduite d'aménée : 247 m
- Diamètre des conduites forcées : 5,7 m
- Longueur des conduites forcées : 60 m

LA PREVOYANCE... C'EST BON A SEMER



MAMDA, la bonne graine d'assurance

NOS BUREAUX REGIONAUX

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

AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DES OULJAS DU MOYEN SEBOU ET INAOUEN AVAL

Abderrazak¹ M. IKAMA

I- DESCRIPTION DU PROJET

I-1- Zone du projet

Le Périmètre du Moyen Sebou et Inaouen Aval d'une superficie de 15.000 hectares est situé dans les piedmonts du Rif à 60 Kilomètres de Fès. Administrativement, ce périmètre relève de la Wilaya de Fès (Préfecture Zouagha Moulay Yacoub), et des Provinces de Taounate et de Sidi Kacem. Selon des considérations techniques et socio-économiques le dit périmètre est divisé en cinq secteurs et les aménagements hydro-agricoles sont programmés en deux tranches :

- Une première tranche qui englobe les secteurs II et III couvre une superficie de 6.500 hectares et dont les aménagements hydro-agricoles ont démarré en 1994 et seront achevés en 1998, avec une mise en eau du secteur II (3.500 ha) en octobre 1997 et celle du secteur III d'une manière progressive durant la campagne agricole 1997/1998.

- Une deuxième tranche qui intègre les secteurs I, IV et V, intéresse une surface de 8.500 hectares et dont les études de base et d'exécution sont en cours d'élaboration avec un démarrage effectif des travaux vers l'an 2000.

L'alimentation en eau du Périmètre sera assurée par des stations de pompage implantées le long de l'oued Sebou dont les eaux sont régularisées par le complexe hydraulique Idriss Premier - Matmata. La dotation allouée à ce périmètre est de l'ordre de 130 Millions de mètres cubes par an.



I-2- Composantes du projet

I-2-1- Aménagements hydro-agricole

La zone du projet, en vertu du Décret N°2-84-230 du 22 Chaâbane 1404 (24 mai 1984), est décrétée périmètre d'irrigation. Les principales opérations d'aménagements hydro-agricoles intégrant aussi bien l'équipement externe qu'interne intéressent :

- La réalisation et l'équipement de 42 stations de pompes (principales et de reprises),
- La fourniture, le transport et la pose de canaux et des conduites d'irrigation,
- La Réalisation de ligne électrique sur 90 Km,
- La Conduite de l'opération d'aménagement foncier (Défrichement - défoncement et nivellement) sur 15.000 hectares,
- La réalisation des réseaux d'assainissement interne et externe,
- La réalisation de réseau de circulation.

I-2-2- Mise en Valeur Agricole

L'assolement préconisé dans le périmètre est de type quadriennal, avec une intensification de l'ordre de 150 %. Les principales orientations en matière de mise en valeur agricole consistent en :

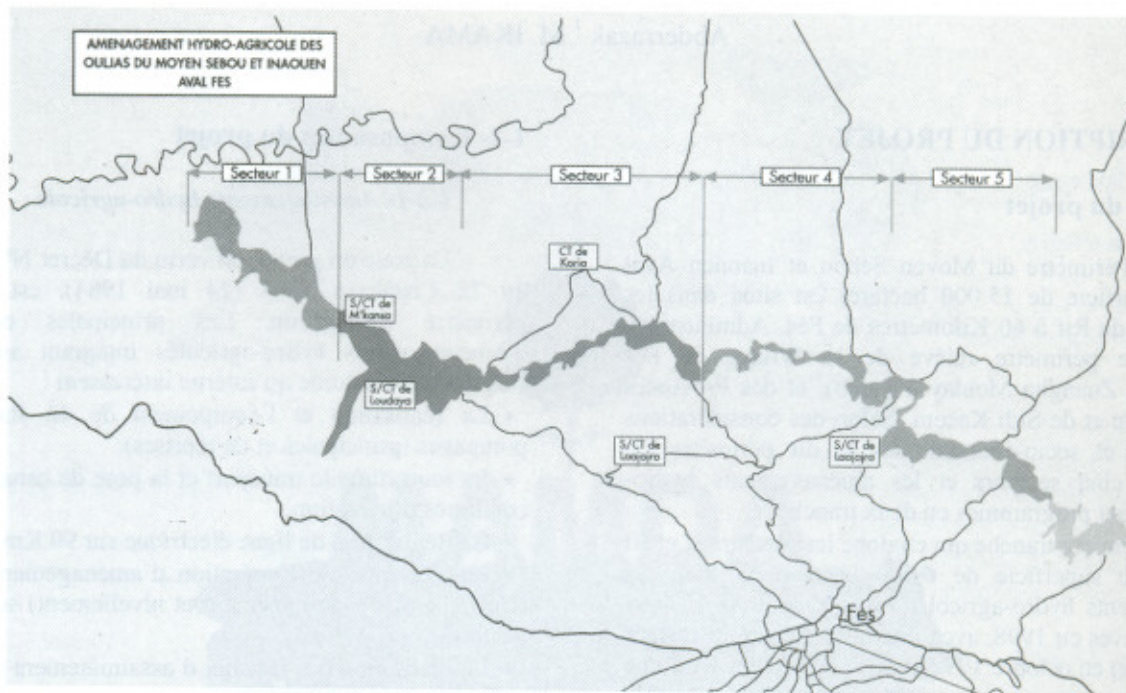
- L'introduction de nouvelles cultures à haute productivité telles que la betterave sucrière, le tabac et les cultures maraîchères,
- Le développement des cultures fourragères dans la perspective du développement de la production laitière,
- L'intensification des productions céréalières et arboricoles par l'utilisation de techniques appropriées de production.

I-3- Objectifs du projet

Les principaux objectifs assignés au projet consistent en :

- L'amélioration et l'intensification des productions végétales (maraîchage betterave à sucre, arboriculture fruitière, ...) et animale (lait, viande, ...).
- L'accroissement du revenu des agriculteurs concernés (de 1300 dh/ha comme marge nette par an avant projet, vers 12000 dh/ha avec projet).

¹ Ingénieur du Génie Rural à la D.P.A. de Fès – Directeur du Projet.



- L'amélioration des conditions de vie dans la zone du projet grâce aux aménagements connexes, tels que l'électrification et l'ouverture de réseau de circulation.
- La circulation et généralisation d'emplois (de 25 NJT/ha/an avant projet à 150 NJT/ha/an avec projet).
- La mise en place et le développement du secteur associatif dans la perspective de permettre aux usagers d'eau d'assumer la gestion, l'exploitation et la maintenance des infrastructures hydro-agricoles.

I-4- Coût de rentabilité du projet et sources de financement

Le coût du Projet s'élève à 1.330 Millions de dirhams. Le Taux de rentabilité économique du projet en situation de base a été évalué à 11,7 % (évaluation de juin 1994). L'analyse de la sensibilité de Taux de Rentabilité Economique «TRE» sur quelques paramètres majeurs a donné les résultats suivants :

Paramètres		TRE
Désignation	Augmentation	
Valeurs ajoutées	20 %	13,8 %
Coûts d'énergie	20 %	11,4 %
Investissements	20%	9,8 %

Le coût de la première tranche d'irrigation, évalué à 540 Millions de dirhams est financé à concurrence de 50 % (l'équivalent de 157 Millions de Francs Français) par la Caisse Française de Développement, le reste est assuré par le budget propre de l'Etat Marocain.

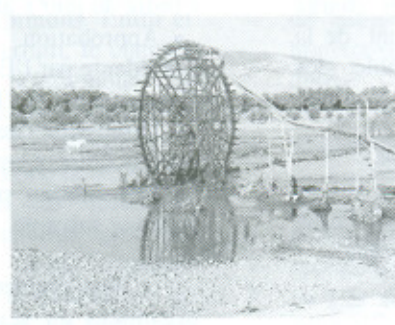
II- OPTIONS INSTITUTIONNELLES

La nouvelle stratégie de développement et de gestion de l'irrigation retenue pour le projet se base sur le partenariat entre l'état et les usagers. L'objectif visé se base sur le partage des rôles et des responsabilités, ainsi qu'une implication effective des usagers d'eau dans la gestion des systèmes d'irrigation.

II-1- Maîtrise d'œuvre

Le projet d'aménagement hydro-agricole du Moyen Sebou et Inaouen Aval (15000 Ha) qui intègre aussi bien l'élaboration des études de base, d'exécution que la réalisation des opérations d'aménagement foncier ainsi que les travaux d'équipements (externes et internes) et dont le champ d'action chevauche sur les territoires de la Wilaya de Fès, des Provinces de Taounate et Sidi Kacem, a nécessité pour sa conduite la création d'une organisation spécifique (Direction du Projet).

WATER MANAGEMENT HYDRO-ARABIE ET MEXIQUE



Ladite structure qui est sous tutelle administrative de la Direction des Aménagements Hydro-Agricoles (DAHA), a pour mission la réalisation du Programme d'Aménagement Hydro-Agricole des Ouljas du Moyen Sebou et Inaouen Aval, conformément à ce qui a été retenu en termes d'objectifs, de délais et de coûts, ainsi que la mise en place et le développement d'Associations d'Usagers d'Eaux Agricoles pour la prise en charge d'une manière progressive, enfin d'aménagement, de la gestion et de la maintenance de l'ensemble des investissements hydro-agricoles.

II-1-1- Missions de la Direction du Projet

Les missions allouées à la Direction du Projet peuvent être regroupées en deux principales activités :

a- Maîtrise d'œuvre du Projet, à savoir :

- Contrôle de la qualité technique d'aménagement, c'est à dire le respect des normes, règlement et règles de l'art ainsi que la conformité aux projets d'exécutions.
- Le respect des délais d'exécution convenus et traduits dans les marchés avec les entreprises
- Le respect des coûts de réalisation.
- L'organisation et l'animation des réunions de chantier et de coordination.
- Transmission des rapports d'avancement aux Instances Supérieures (Ministère et Bailleur de fond).

b- Organisation des Usagers d'Eaux en AUEA et ce conformément aux textes et lois en vigueur (Loi N° 2.84, Dahir N° 1-87-12 du 21 Décembre 1990 et son Décret d'application N° 2-84-106 du 13 Mai 1992).

II-1-2- Organisation

L'organisation de la Direction du Projet est articulée et structurée autour des principales activités, à savoir :

- Direction.
- Taches administratives et gestion des marchés,
- Conduite de la composante associations d'irriguants,
- Supervision des travaux d'équipement.

La structure de la Direction du Projet est caractérisée par une certaine mobilité. En effet certaines entités sont réorganisées en fonction de l'avancement ou l'évolution des travaux, et ce en vue de rationaliser l'utilisation du Personnel et d'optimiser la conduite des travaux.

Pour l'exécution des différentes opérations assignées à la Direction du Projet, cette dernière est structurée par taches spécifiques dont la supervision est confiée à un binôme constitué d'un Ingénieur et d'un Technicien qui disposent d'une formation et d'une

qualification compatibles avec la nature de l'opération à contrôler.

La supervision des travaux est conduite sur sites avec établissement de fiches de suivie et d'évaluation, ainsi que l'organisation de réunions de chantier (hebdomadaire) au siège de la Direction du Projet, dont l'ordre du jour s'articule principalement sur :

- Approbation du Procès-Verbal de la réunion précédente par l'Entreprise, Présentation et discussion de l'avancement des travaux,
- Discussion des problèmes posés et qui peuvent éventuellement entraver la bonne conduite des travaux,
- Présentation par l'Entreprise du programme de la semaine suivante.

Des réunions à cadence hebdomadaire sont aussi organisées au sein de la Direction du Projet, avec la participation de l'ensemble de l'Equipe dirigeante du Projet, en vue d'analyser l'état d'avancement global des chantiers et surtout ordonnancer les interventions des différents partenaires au Projet.

Des réunions de coordination à cadence mensuelle sont tenues au siège de la Direction du Projet, en présence des Directeurs des travaux des différentes Entreprises et Bureaux d'Etudes engagés dans le Projet et d'un représentant de la Direction Centrale (DAHA) avec un ordre du jour qui s'articule principalement autour d'une harmonisation des interventions et une révision, actualisation et un ordonnancement des Plannings d'exécutions.

Pour l'expertise d'un certain nombre de variantes d'Aménagement, la Direction du Projet fait appel d'une part à sa tutelle technique et d'autre part au concours d'un Ingénieur Conseil. Le contrôle de la qualité d'exécution est assuré étroitement de concert avec le Laboratoire Public d'Essais et Etudes.

II-2- Gestion des systèmes d'irrigation

II-2-1- Stratégie

La nouvelle stratégie de développement et de la gestion de l'irrigation a été basée sur le partenariat entre l'état et les usagers. L'objectif visé comporte la partage des rôles et des responsabilités ainsi qu'une implication effective des usagers dans la gestion des systèmes d'irrigation qui les concernent.

II-2-2- Approche

Pour la création des associations d'irriguants dans la zone, la Direction du Projet a adopté la stratégie de communication basée sur l'information verticale

ascendante et descendante entre les différents acteurs. En résumé la méthodologie se base sur une attitude d'écoute, de compréhension et de prise en compte des attitudes et des connaissances de tous les impliqués et particulièrement ceux qui détiennent les reines du fonctionnement des sociétés et des groupes locaux. Ensuite, un programme de réunions de sensibilisation a été établi avec les différents informateurs privilégiés de la population locale et des leaders d'opinions. Enfin et après cette préparation minutieuse de terrain, le champs d'action a été élargi en touchant l'ensemble des concernés qui a permis de mettre en œuvre la définition exacte du territoire de chaque AUEA. L'aboutissement à la constitution d'une AUEA, et le fruit donc de plusieurs consultations et négociations entre les différents partenaires. Lors des différentes rencontres avec les différents partenaires, la recherche d'un dialogue transparent et le souci de veiller à la promotion de l'esprit de connivence et de convivialité afin d'éviter tout mal entendu, étaient quasi permanents.

II-2-3- Contractualisation des relations entre les différents opérateurs

Les AUEA d'un secteur hydraulique regroupées en une Fédération se voient confier par l'Etat l'exploitation et la maintenance des ouvrages hydro-

liques. Les relations entre les différents partenaires seront régies par :

- La convention Administration/Fédération-AUEA avec le cahier des charges générales, qui précise les ouvrages hydrauliques et les équipements qui seront mis à la disposition des Associations et de leur Fédération, la dotation d'eau allouée au secteur, les dispositions techniques, financières et organisationnelles, les mécanismes de contrôle des engagements pris, ainsi que l'appui humain et logistique transitoire de l'Administration et sa durée.
- La convention Fédération/AUEA qui définit les responsabilités et les obligations de chaque organisation en matière de gestion, d'exploitation et de maintenance des ouvrages hydrauliques, ainsi que leur niveau d'intervention dans le processus de facturation et de recouvrement des redevances d'eau d'irrigation.
- Les règlements Intérieurs de la Fédération et des AUEA qui fixent les montants des cotisations, les procédures de facturation et de recouvrement des redevances d'eau d'irrigation, les procédures internes de gestion financière et administrative, ainsi que les dispositions disciplinaires liées à la gestion du service de l'eau.
- Le contrat de vente d'eau (usager/AUEA-Fédération) qui définit les modalités d'allocation de distribution de l'eau ainsi que les procédures de facturation et de recouvrement des redevances et des cotisations.



S E H I
Société pour l'Équipement Hydraulique et Industriel

Groupes Electrogènes Pompes de surpression



Circulateurs et pompes pour climatisation Circulateurs et pompes de chauffage central

Siège : 47, Rue Planquette Belvédère Code Postal 20.300 - Tél. : 24.46.59 / 24.52.59 / 24.29.81 / 24.29.82
Fax : 40.90.54 - Casa 05 - Téléx : 25028 M - R.C : 33567

ETAT ACTUEL DE LA RECOLTE TRADITIONNELLE DES OLIVES AU MAROC ET PERSPECTIVES DE LA RECOLTE MECANISEE

Abdallah KASMI ALAOU¹
Jesus Gil RIBES²

ABSTRACT

At the present time, more of 80% of the labor used for growing olives is used for harvesting. The stick harvesting is widely used and yield many poor results.

In this study, we report the socio-economical conditions prevailing during the harvesting operation in the main olive regions of morrocan. Also natural aspects related to the picholine morrocan variety and it direct influence on any futur improvement of the harvesting operation are discussed.

1- INTRODUCTION

Dans la plupart des pays producteurs d'olives, la récolte des olives est qualifiée comme le problème numéro un de la production oléicole. En effet la cueillette occupe une place centrale par son incidence sur le coût de la production et sur la qualité des produits transformés. Actuellement au Maroc le problème n'est pas encore crucialement posé cependant il incite l'intérêt de la recherche pour des objectifs économiques de production, de voir dans quelle mesure une solution alternative pourrait être entamée afin d'éviter les crises sérieuses, qu'ont connu nos prédécesseurs dans ce domaine. La main d'oeuvre réservée à la récolte représente plus de 80% de la main d'oeuvre totale nécessaire à la culture de l'olivier. Le gaulage reste encore une méthode de récolte assez répandue ce qui ne manque pas d'effets néfastes. En effet le gaulage favorise l'alternance biologique de l'olivier et contribue à l'endommagement des olives, ce qui se répercute sur la qualité des huiles d'olives et des olives de table : l'introduction d'une récolte mécanique adaptable aux conditions socio-économiques marocaines serait donc compatible avec une oléiculture moderne et rentable. Dans certains pays d'Europe et d'Amérique producteurs d'olives on parle toutefois de la mécanisation intégrale

(récolte et ramassage mécanisés), cette dernière n'est pas considérée comme l'unique alternative au problème de la récolte. Le choix de l'une ou de l'autre alternative doit passer impérativement par une évaluation économique de chaque alternative de récolte. Il existe dans ce cas une série de conditions nécessaires à la prise de décisions quant au choix du mode de récolte. Ces conditions ou facteurs peuvent se classer en facteurs structureaux liés au verger d'une part et en facteurs conjonctureaux liés à l'olivier et à l'olive d'autre part.

1-1- Les facteurs structureaux

- a. structure du verger
- b. situation du verger
- c. type de plantations

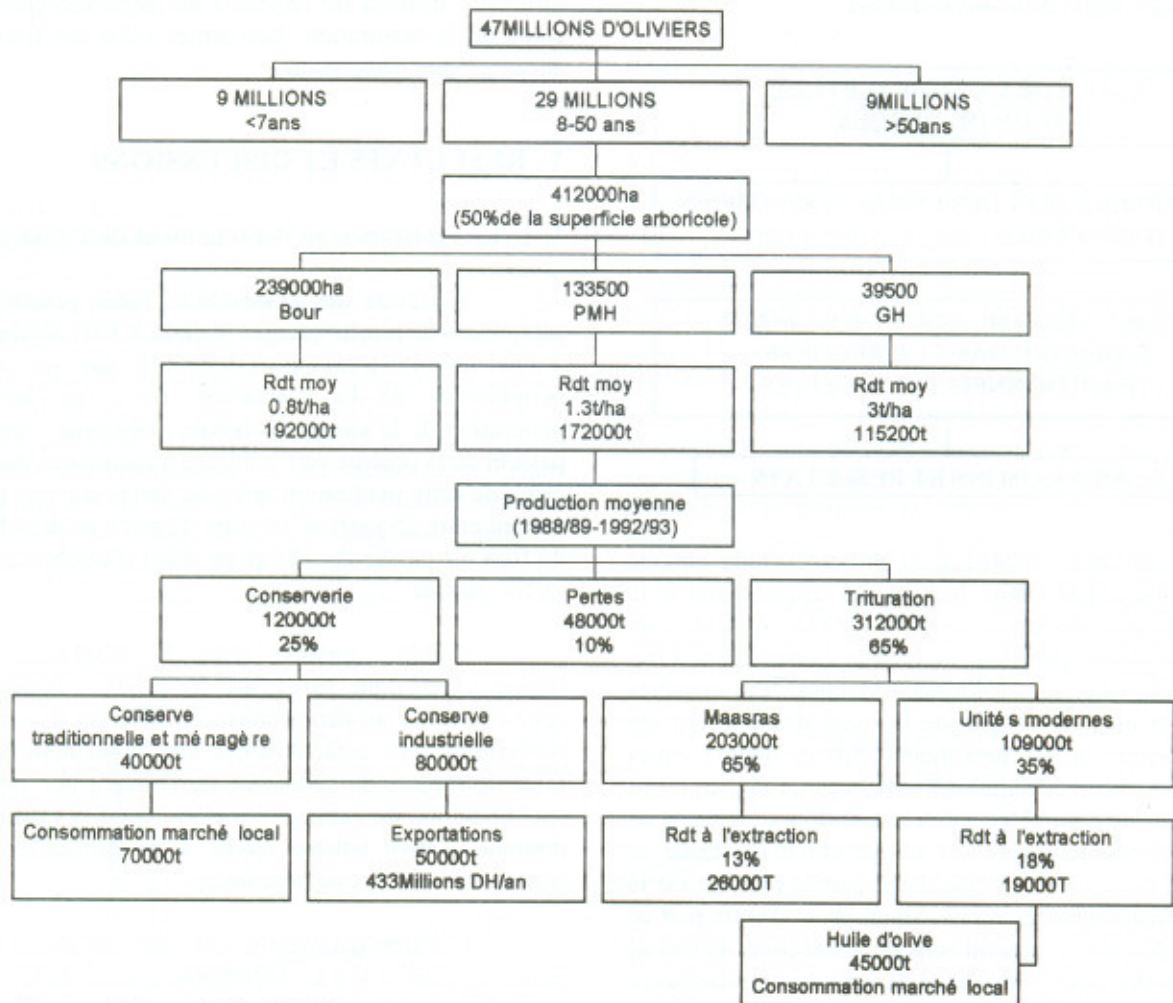
1-2- Les facteurs conjonctureaux.

- a) Maturation de l'olive
- b) Résistance de l'olive au détachement
- c) Conditions climatiques (pluie et vent)
- d) Chute naturelle de l'olive
- e) Epoque de récolte
- f) Disponibilité et coût de la main d'oeuvre.

¹ Département de machinisme Agricole, I.A.V HASSAN II RABAT.

² Departamento de Ingenieria Rural, E.T.S.I.A.M CORDOBA, ESPAGNE

II- SITUATION ACTUELLE DE L'OLEICULTURE MAROCAINE



(Source Olivae 58/oct.95)

III- OBJECTIFS

- Amélioration des techniques de récolte.
- Réduction des coûts de production oléicole.
- Amélioration de la qualité des huiles et des olives de table.

IV- MATERIEL ET METHODE

IV-1- Matériel

L'oliveraie : d'une trentaine d'années fait partie de la zone oléicole centre, la pluviométrie varie entre 450 et 500 mm, le sol est généralement riche, et profond.

L'arbre conduit sous un régime bour, rarement irrigué, présente une grande vigueur, de productivité moyenne à

bonne. Sa frondaison est composée d'une ramification à feuillage dense.

Plantation : de densité variable entre 100 et 180 arbres par hectare, ce qui correspond à des écartements respectifs de (10 × 10 m) et (8 × 7 m).

Le fruit : la variété nommée picholine marocaine possède les caractéristiques suivantes :

Forme : ovale assez uniforme, extrémité arrondie, cavité pédonculaire peu profonde.

Epiderme : coloré en noir intense à maturité.

Pulpe : consistante, peu adhérente au noyau.

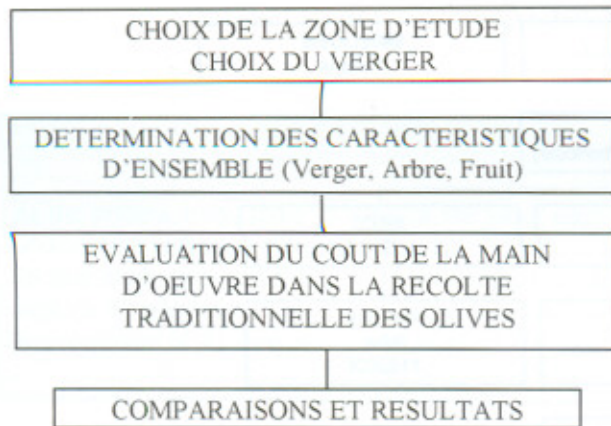
Noyau : de forme elliptique allongé à mucron terminal pointu. Surface pratiquement lisse.

Poids moyen du fruit : 2,5 à 3g.

Résistance au détachement : variant en moyenne de 670 g à 360 g en période de maturation.

IV-2- Méthode

Schéma descriptif de la méthodologie



Les essais relatifs à la présente étude ont été réalisés d'une part dans les vergers appartenant à la société de développement agricole (SO.DE.A.5011 zone de Fès), et d'autre part dans des vergers appartenant à des particuliers (Maarouf - Dkhissa - Meknès). Les enquêtes liées à l'évaluation du coût de la main d'oeuvre ont été menées auprès de 90 agriculteurs répartis dans 3 zones oléicoles du Maroc (Marrakech - Meknès - Taounate). Les résultats qu'on a pu obtenir de ces enquêtes se réfèrent au mode de récolte rémunéré à la journée et non à la tâche, la raison de notre choix est que d'une part le premier est le plus dominant dans les zones enquêtées, et d'autre part ce mode se déroule en général sous des conditions de travail et matérielles assez valables. Les opérations principales composant la récolte traditionnelle des olives ont fait l'objet d'un chronométrage des temps investis dans leur

exécution, et pour différentes productions de l'arbre. La force de détachement de 50 olives choisies au hasard sur différents arbres a été répétée à des périodes réparties au cours de la maturation. Les arbres n'ont été traités par aucun produit d'abscission.

V- RESULTATS ET DISCUSSIONS

V-1- La résistance au détachement de l'olive (R_d)

A travers des observations faites pendant deux campagnes de récolte [verger SO.DE.A-5011, située à Ain Taoujdate (1994/95) et (1995/96)] sur un rameau périphérique de la frondaison, on a pu suivre la maturation de la variété picholine marocaine ; les olives passent de la couleur vert- violacée à totalement noire. Au cours de cette maturation qui s'est étalée sur une période variant entre 25 jours et 38 jours, la force de détachement du fruit est passée de 670 gr en début d'octobre à 370 gr en fin janvier.

Comme apparaît dans le graphique de la (figure 1), la ligne supérieure R_d montre l'évolution de cette résistance au détachement en fonction du temps de maturation, cette caractéristique mécanique définissant la force de rupture du pédoncule de l'olive a une influence sur l'opération du gaulage. En effet quand la valeur de R_d diminue, l'olive adhère moins à sa ramicelle et par conséquent sa chute devient facile.

D'autres paramètres ont une influence sur R_d parmi lesquels il y a la distinction clonale de la variété, les dimensions du pédoncule, les conditions climatiques et d'irrigation.

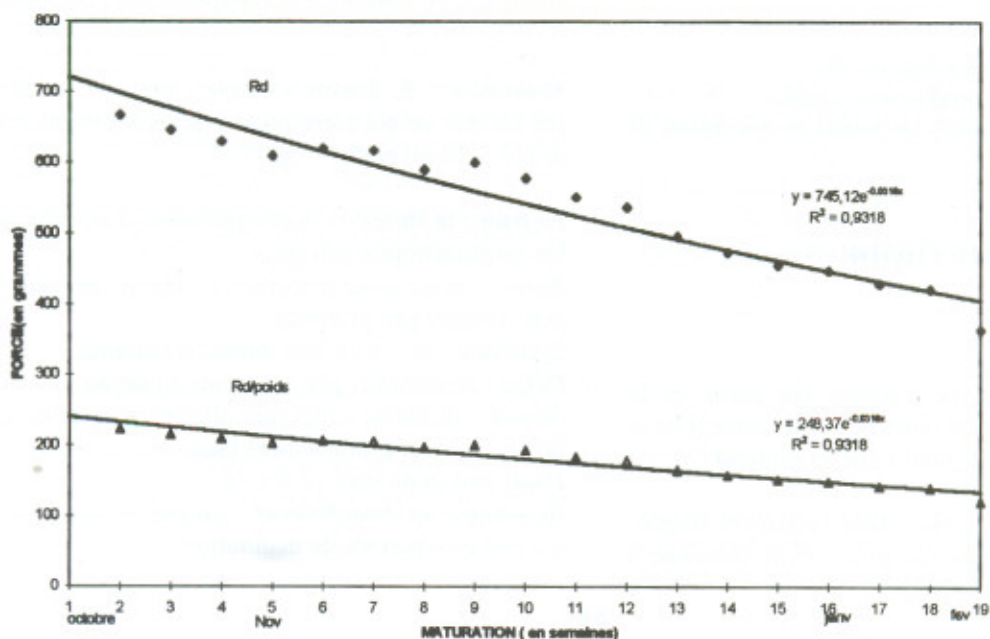


Figure 1 : Evolution des caractéristiques dynamométriques de l'olive picholine marocaine

Cette ligne de tendance exponentielle est représentée par une équation de la forme :

$$R_d = \alpha e^{-\beta t}$$

Ou

R_d est la force de détachement de l'olive en grammes α et β sont deux paramètres obtenues de la régression, t est le temps compté en semaines. Dans le cas de la variété d'olive étudiée (Picholine marocaine). Les valeurs des paramètres α et β sont respectivement égales à 745,12 et 0,031 avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,93$

Le rapport R_d / poids de l'olive correspond à la ligne inférieure du graphique, cette caractéristique n'ayant pas une incidence directe sur l'opération traditionnelle du gaulage, mais sa connaissance est plutôt utile lorsqu'on fera appel à un mode de récolte faisant intervenir l'inertie du fruit (par mécanisme produisant des vibrations du fruit).

V-2- Les opérations principales de la récolte traditionnelle

Les opérations essentielles intervenant dans la récolte traditionnelle des olives sont les suivantes :

- Le ramassage des olives [chutées naturellement (figure 2) ou à la suite du gaulage]
- Le gaulage (seul).
- La cueillette directe de l'arbre.

L'analyse du graphique (figure 3) donne une comparaison exhaustive des rendements de ces différentes opérations. En effet la ligne supérieure du graphique correspond dans ce cas précis à un ramassage d'olives par une ouvrière âgée d'une trentaine d'années et à partir d'un sol non préparé. Le rendement du gaulage variera aussi, et dépendra de la force de détachement de l'olive (variété et maturation), de la manière dont se réalise le gaulage et enfin de la quantité d'olives portées par les rameaux production). Selon les conditions prises comme références pour l'évaluation de ces rendements, les résultats peuvent varier tout en conservant l'ordre de rentabilité de chacune de ces opérations.

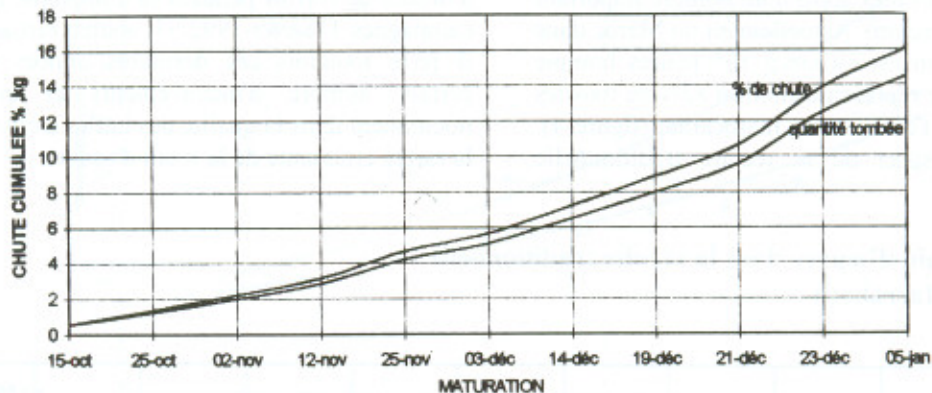


Figure 2 : Evolution de la chute naturelle de la picholine marocaine (campagne 1996-97 oliveraie Maarouf/Dkhisaa/Meknes)

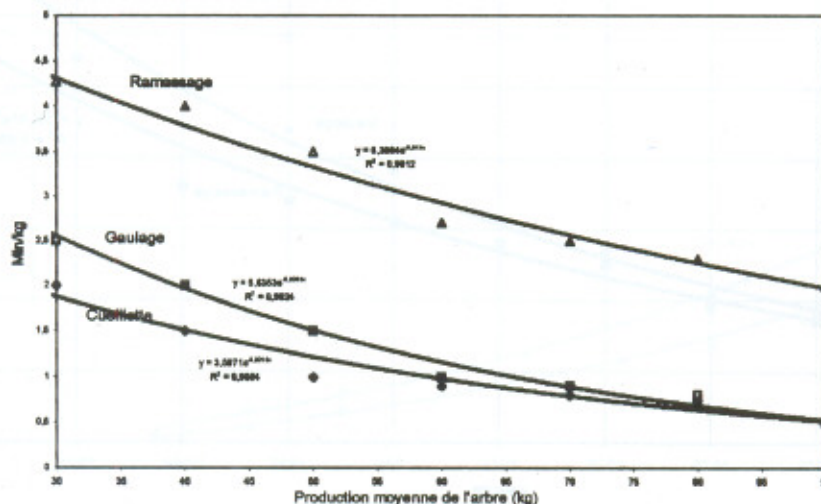


Figure 3 : Rendements des opérations de récolte traditionnelle

V-3- Importance des temps de récolte dans l'oliviculture marocaine

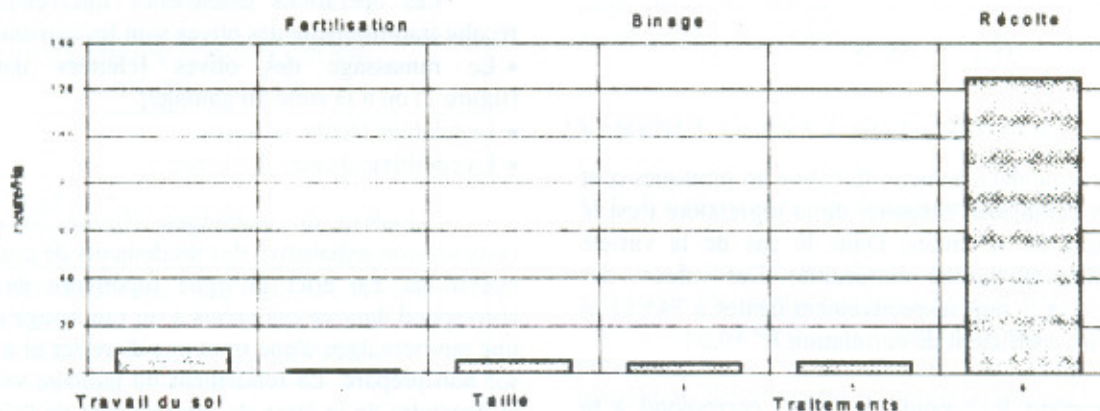


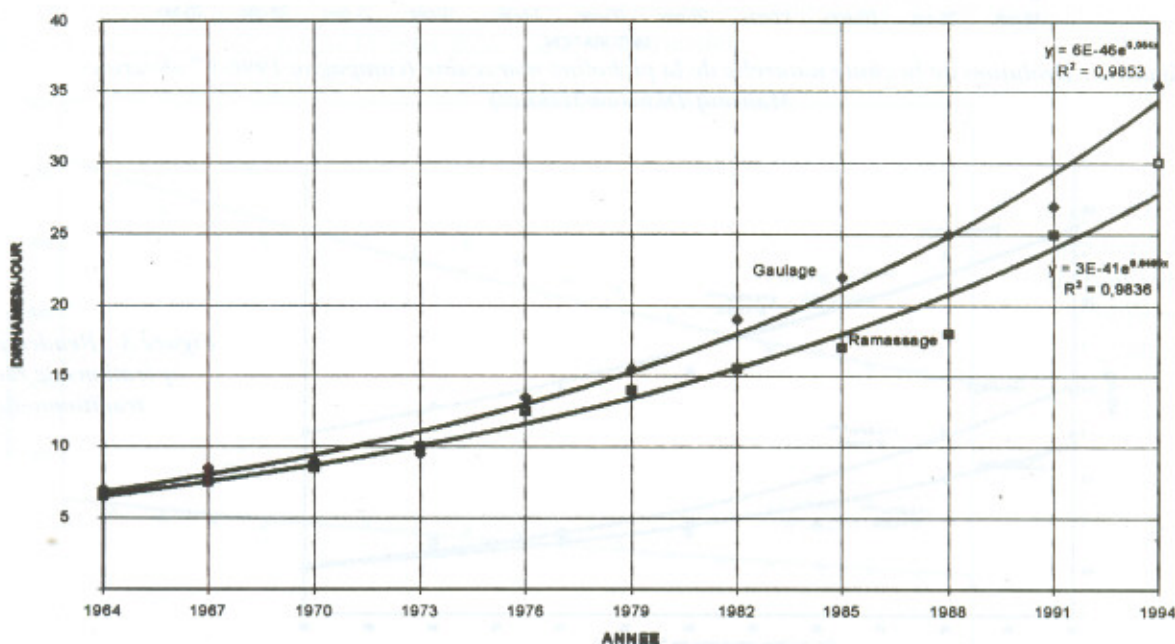
Figure 4 : Distribution annuelle de la main d'œuvre dans l'oliviculture marocaine

Comme pour tous les produits agricoles fruitiers, les récoltes non mécanisées font appel à un nombre important d'heures homme par hectare. Actuellement au Maroc dans l'oliviculture, ce besoin est estimé à 125 heures homme par hectare. Ce chiffre représente environ 82% de tous les travaux investis dans l'oliviculture marocaine, (figure 4). Cependant, si cet aspect de la récolte traditionnelle semble

être positif par le fait qu'il offre environ 11 millions de journées de travail pendant la campagne de récolte. (ref. campagnes 1988/89-1992/93, source olivae P 5B-oct 95), il reste toutefois ces dernières années tributaire d'un certain nombre d'inconvénients et qui se sentent notamment dans la qualité des huiles d'olive et aussi dans, la rareté croissante de la main d'oeuvre.

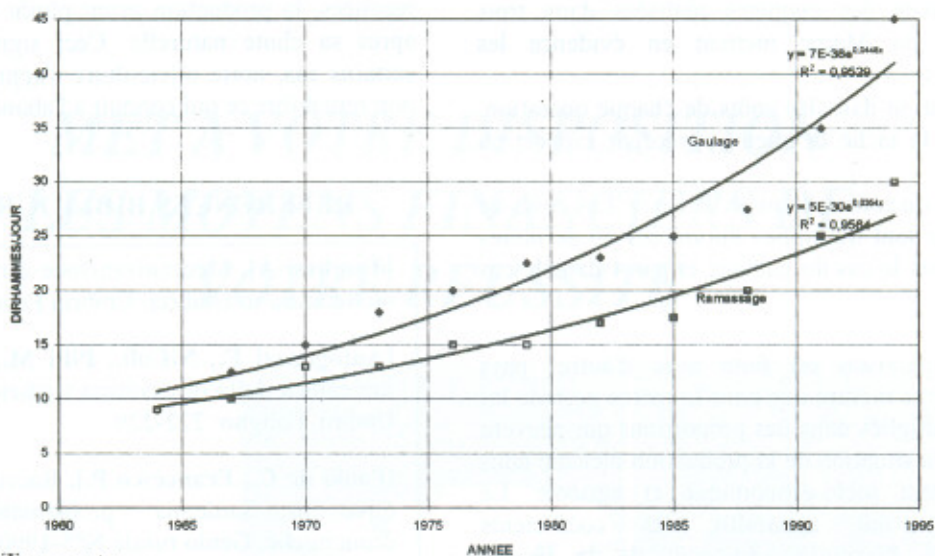
V-4- Coûts de la main d'œuvre dans la récolte traditionnelle

Cas de la zone de Marrakech

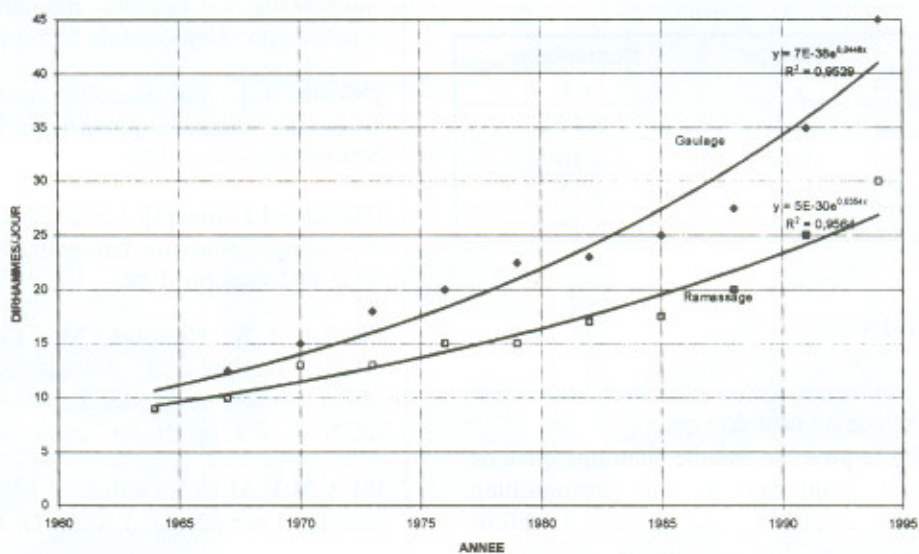


MECANISATION AGRICOLE - OLIVES

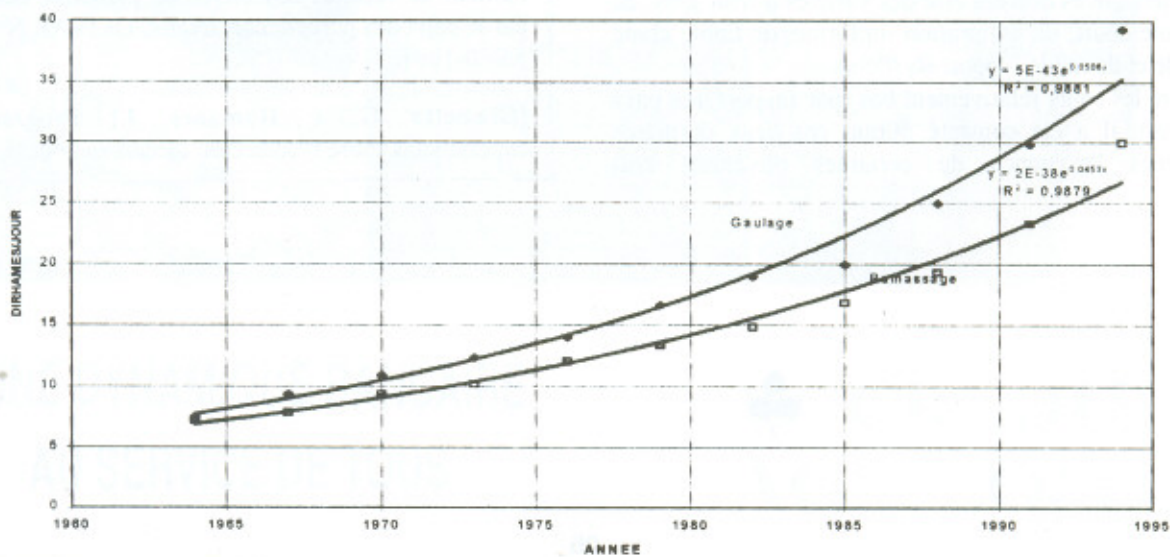
Cas de la zone de Meknès



Cas de la zone de Taounate



Coût moyen de la récolte traditionnelle des olives au Maroc



Les résultats des enquêtes réalisées dans trois zones oléicoles du Maroc mettent en évidence les éléments suivants :

- une différenciation dans les coûts de chaque opération, le gaulage reste la tâche la mieux payée par rapport au ramassage.
- une croissance du coût de la main d'œuvre. Les coûts de main d'œuvre se sont multipliés durant ces 30 dernières années, par 5 dans le cas du gaulage et par 4 dans le cas du ramassage.

Une comparaison est faite avec d'autres pays producteurs d'olives montre que pour la même période les coûts se sont multipliés dans des proportions qui peuvent refléter en gros, la situation de la production oléicole dans son environnement socio-économique et agricole. Le tableau suivant fait apparaître les coefficients multiplicatifs de, l'évolution du coût de la récolte traditionnelle des olives.

Pays	Gaulage	Ramassage
Maroc	x 5	x 4
Tunisie	x 4	x 3,5
Portugal	x 12	x 10
Espagne	x 17	x 15
Italie	x19	x 15

VI- CONCLUSION

Parmi les conclusions qu'on peut tirer brièvement de cette partie de l'étude on peut dire que :

- La variété étudiée se présente comme étant une olive de poids moyen peut s'apprêter à une mécanisation adaptative sous des conditions qui restent à définir ultérieurement. Des essais effectués ailleurs, ont montré que les variétés les plus aptes pour la mécanisation de la récolte des olives doivent être des variétés à fruit gros, de pédoncule court, de maturation uniforme, de faible chute naturelle et de faible rapport R_d /Poids.
- Malgré les coûts relativement bas (par rapport aux pays comparés), il a été constaté durant ces deux dernières campagnes l'existence de certaines oliveraies non

récoltées, la production ayant plutôt été ramassée du sol après sa chute naturelle. Ceci signifie déjà que dans certains cas, notre oliviculture s'approche du seuil de la non rentabilité ce qui conduit à l'abandon.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[Tombesi A]. Meccanizzazione e ristrutturazione della olivicoltura in Umbria. Umbria Economica, 4, 27-47.

[Antognozzi E., NiColi., Pili M., -(1984)]. Raccolta meccanica della olivicoltura tradizionale. Giornate olio Umbro, Foligno: 222-229.

[Paolo de C., Francesco P.]. Raccolta meccanica delle olive in Sardegna: problematiche tecniche ed economiche. Genio rurale N°5-1990.

[Gennazo G., Gxampaoio S.]. Parametri che influenzano la raccolta meccanica delle olive per scuotimento. Genio rurale N°5-1990.

[Nicola L.]. La raccolta meccanica delle olive: situazione attuale e prospettive future. Terra e sole. N°448-Dicembre 1979.

[Raymond Loussert]. Les aires écologiques de l'olivier au Maroc. Séminaire national d'éleiotecnie, E.N.A - 10 et 11 Décembre 1986.

[Walali L.D, Chmitah M., Loussert R., Mahhou A. et Boulouha B., Caractères morphologiques et physiologiques des clones d'olivier Picholine Marocaine OLIVAE N°3, pp. 26-30 - 1984.

[M.A.M.V.A].L'oléiculture Marocaine: Situation actuelle et perspective d'avenir OLIVAE N° 55 - 1995.

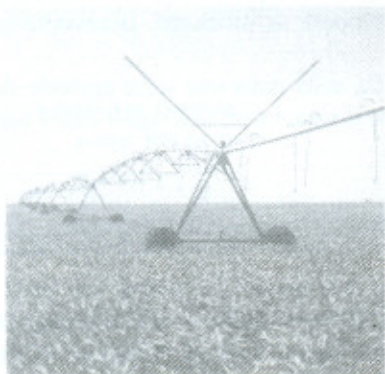
[Chimi H., Atouani Y.] Détermination du stade optimal de récoltes des olives de picholine Marocaine par le suivi des polyphenols totaux, OLIVAE N° 54, pp. 56-60-1994.

[Giametta G. e Humanes J.] Pzogzama de experiencias sobre recoleccion mecanizada de aceituna.



CREDIT AGRICOLE

***MET A VOTRE DISPOSITION
LES MOYENS FINANCIERS DE
VOTRE REUSSITE***



**UNE DYNAMIQUE BANCAIRE
AU SERVICE DE TOUS**



**CREDIT
AGRICOLE**

DIMENSIONNEMENT ENERGETIQUE D'UN SYSTEME SOLAIRE POUR LE CHAUFFAGE D'UNE SERRE AGRICOLE

R.TADILI¹, J.KADDOURI²

RESUME

Cet article décrit une méthode de dimensionnement énergétique d'un système solaire conçu pour le chauffage d'une serre agricole. ce système est basé sur l'absorption sélective du rayonnement solaire par un capteur à circulation d'un fluide caloporteur : il s'agit de dimensionner la capacité du fluide, constituant le support de stockage, nécessaire pour le chauffage nocturne de la serre par circulation dans le capteur.

Après avoir optimisé les différents paramètres de fonctionnement, ce système a été testé dans une serre agricole de taille réduite, les résultats aussi bien climatiques qu'agronomiques réalisés à l'aide de ce système sont très significatifs comparés à une serre sans aucun système de chauffage.

Mots clés : chauffage solaire, capteur sélectif, fluide caloporteur, serre agricole, système de stockage.

I- INTRODUCTION

En Europe, les cultures sous serres excèdent 60000 hectares et consomment, pour leur chauffage et climatisation, environ 1.5% du budget total de l'énergie européenne [1]. Dans le sud européen, les serres équipées de systèmes de chauffage consomment en moyenne 7.5 litres de fuel par mètre carré et par année [2]. Au Maroc, on compte 70 hectares de serres équipées de systèmes de chauffage (surtout les serres de floriculture) qui ne représentent que 1% de la surface totale des serres et nécessitent l'équivalent de \$450 US par hectare et par jour durant toute la période d'hiver [3]. Ainsi par tout dans le monde, les charges relatives au chauffage des serres agricoles représentent environ 30% à 35% des charges totales d'exploitation [3]. Ce coût prohibitif du poste énergie a incité plusieurs pays à développer de nouvelles techniques de chauffage utilisant les énergies renouvelables.

II- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE CHAUFFAGE

Dans le but d'optimiser le bilan thermique des serres agricoles, plusieurs travaux ont été réalisés dont le

principe est de limiter les échanges thermiques entre le climat interne de la serre et le milieu extérieur. La plupart des solutions propose d'intercaler un écran entre la paroi de la serre et la culture. On distingue deux types d'écrans : les écrans statiques qu'on place généralement la nuit pour limiter les pertes par rayonnement infrarouge émis par le sol et, les écrans dynamiques à base d'un fluide circulant entre deux parois (double couverture) ou à l'intérieur d'un capteur placé dans la serre. Ce deuxième type d'écrans a une double ambition : refroidir la serre pendant le jour en véhiculant l'excès d'énergie à la plante et la chauffer pendant la nuit en restituant l'énergie emmagasinée pendant le jour.

Dans cet objectif, un système de chauffage et de climatisation d'une serre agricole a été mis au point au Département de Machinisme Agricole de l'I.A.V (Maroc) (Fig.1). Ce système est centré sur un capteur solaire en polyéthylène et à circulation d'un fluide sélectif : introduit dans la serre, il transmet la part du spectre solaire utile à la photosynthèse et absorbe le reste. Pendant le jour le fluide joue le rôle d'écran thermique puisque il modère le climat de la serre en absorbant l'excès d'énergie à la plante. Cette énergie est ensuite véhiculée jusqu'aux réservoirs de stockage pour qu'elle soit restituée la nuit pour chauffer la serre en inversant le sens de circulation du fluide.

¹ Laboratoire d'Energie Solaire, Faculté des Sciences de Rabat, B.P 1014 Rabat

² Laboratoire de Thermodynamique, Faculté des Sciences de Rabat, B.P 1014 Rabat

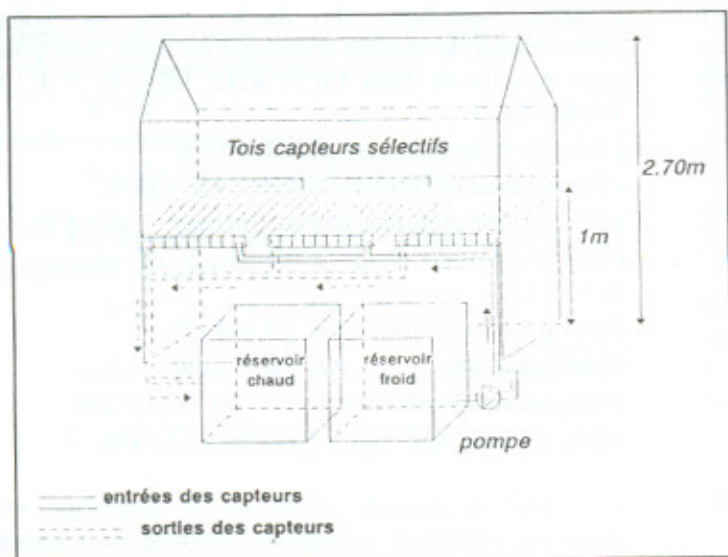


Fig. 1 La serre expérimentale équipée du système de chauffage

Dans cet article on va décrire une méthode de dimensionnement de la capacité de stockage et de l'isolation du stock. D'autres travaux antérieurs ont fait l'objet d'optimisation des paramètres de fonctionnement de ce système [4 - 9].

III- PRINCIPE DE LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT

En fonction des besoins énergétiques de la serre, nous allons estimer le volume du fluide caloporteur qu'il faut stocker pour maintenir la température de consigne désirée. Il existe de nombreux modèles qui permettent de calculer la consommation énergétique d'une serre agricole. Bien que tous ces modèles soient basés sur la conservation de l'énergie, l'approche du problème est différente selon les objectifs recherchés par les auteurs. Les modèles statiques ne donnent qu'une approximation de la consommation énergétique, cependant ils ont l'avantage d'être simples et d'utilisation rapide. Les modèles dynamiques complexes quant à eux permettent de prédire non seulement les besoins énergétiques mais aussi les variables climatiques à l'intérieur de la serre. Dans notre cas, pour effectuer le dimensionnement préalable du volume de stockage, nous allons utiliser un modèle statique [11].

III-1 Calcul de la puissance utile

La puissance utile Q_u représente les besoins en énergie de la serre pour compenser l'ensemble des pertes de chaleur de la serre. Celles-ci ont trois origines possibles :

- les pertes de chaleur par la couverture : Q_c
- les pertes de chaleur par le sol : Q_s
- les pertes par renouvellement d'air (fuites) : Q_a

La puissance utile sera la somme de ces pertes :

$$Q_u = Q_c + Q_s + Q_a \quad (1)$$

Plusieurs données relatives à la serre sont nécessaires pour effectuer ce calcul :

- la surface de la couverture S_c (m^2),
- la surface au sol de la serre S_s (m^2),
- le volume de la serre V (m^3),
- la température d'air intérieure désirée T_{ai} ($^{\circ}C$),
- la température extérieure de base T_{ae} ($^{\circ}C$) : on prendra en général comme température extérieure de base la température minimale dont la fréquence est de 5 jours pendant une saison d'hiver.

Il sera également nécessaire de connaître :

- la nature du matériau de couverture,
- l'état d'étanchéité de la serre

III-2- Pertes de chaleur par la couverture Q_c

Les pertes de chaleur par la couverture Q_c dépendent tout d'abord de la nature du matériau de couverture. Chaque matériau est caractérisé par un coefficient de déperditions thermiques global K_c ($Watts/m^2-^{\circ}C$) déterminé expérimentalement dans les conditions climatiques les plus défavorables (ciel clair) (Tableau n°1) [11].

Tableau n°1 : Coefficients de déperditions thermiques globaux mesurés par ciel clair pour les couvertures habituellement utilisées en serres agricoles [11].

Types de couverture	Coefficient de déperditions thermiques global k_c ($W/m^2-^{\circ}C$) par ciel clair
Verres	
horticole	6.1
faible émissivité	5.4
double paroi	3.1
Plastiques rigides	
polyester	4.5
PVC	6.5
Plastiques souples	
polyéthylène basse densité	9.5
polyéthylène infrarouge	7.8
PVC	8.1

La taille de la surface de la couverture S_c (m^2) influe également sur les pertes. Enfin ces dernières dépendent aussi de l'écart de température entre l'air intérieur et l'air extérieur.

$$Q_c = K_e \cdot S_c \cdot (T_{ai} - T_{ae}) \quad (2)$$

III-3- Pertes de chaleur par le sol Q_s

Les pertes de chaleur par le sol Q_s (Watts) se calculent comme les pertes par les parois :

$$Q_s = K_s \cdot S_s \cdot (T_{s1} - T_{s2}) \quad (3)$$

$(T_{s1} - T_{s2})$ est l'écart de température entre la surface du sol et les couches profondes. En général cet écart est pris égal à $10^\circ C$.

III-4- Pertes de chaleur par renouvellement d'air

Les pertes de chaleur par renouvellement d'air Q_a (Watts) dépendent de l'étanchéité de la serre, du type de couverture et de la vitesse du vent.

$$Q_a = 0,34 \cdot R \cdot V \cdot (T_{ai} - T_{ae}) \quad (4)$$

0,34 est la chaleur spécifique de l'air ($Wh/m^3 / C$),

R : taux de renouvellement d'air horaire, c'est le nombre de volumes de serre renouvelés pendant une heure,

V : est le volume de la serre

La technique la plus utilisée pour quantifier l'échange d'air entre une serre et son environnement est celle du gaz traceur. Elle consiste en la mesure de la décroissance logarithmique de la concentration du gaz (en général le dioxyde de carbone CO_2 ou le protoxyde d'azote N_2O) après une injection initiale donnée. Pour une serre en verre, le taux de renouvellement de l'air ainsi mesuré est de $0,28 h^{-1}$ lorsque les ouvrants sont fermés, à $1,5 h^{-1}$ lorsqu'il sont ouverts. Ce taux peut passer au double voir au triple pour les vieilles serres en polyéthylène selon la vitesse du vent [12].

D'une manière générale, les serres à couverture souple sont plus étanches que les serres à couverture rigide.

III-5- Application à la serre expérimentale

Données utilisées :

- Coefficient de déperditions thermiques global de la couverture $K_c = 6,1 W/m^2 / ^\circ C$
- Coefficient de déperditions thermiques global du sol $K_s = 1,5 W/m^2 / ^\circ C$
- Surface de la couverture $S_c = 31,12 m^2$,
- Surface du sol de la serre : $S_s = 9 m^2$,
- Volume de la serre $V = 20,5 m^3$,

• Chaleur spécifique du fluide : vu sa faible concentration, la chaleur spécifique du fluide sera prise égale à celle de l'eau $C_p = 4182 J/Kg / C = 1,16 Wh/Kg / ^\circ C$,

• Taux de renouvellement d'air $R = 0,3 h^{-1}$

• Température de consigne désirée : $T_{ai} = 18^\circ C$,

• Température minimale de l'air extérieur : $T_{ae} = 5^\circ C$,

• Température du fluide à l'intérieur du réservoir : $T_f = 35^\circ C$,

Pertes par la couverture : $Q_c = 2,468 kW$,

Pertes par le sol : $Q_s = 0,135 kW$,

Pertes par renouvellement d'air : $Q_a = 0,027 kW$,

Puissance utile : $Q_u = Q_c + Q_s + Q_a = 2,63 kW$

Sachant que la durée où le chauffage est nécessaire pendant la nuit est en moyenne de 5 heures (de 00h à 5h du matin), l'énergie utile sera :

$$E_u = P \cdot t = 13,15 kWh$$

Par ailleurs la quantité de chaleur cédée à l'ambiance de la serre, par le fluide de masse M ayant la température T_f (à l'intérieur du réservoir) est donnée par :

$$Q = M \cdot C_p (T_f - T_{ai}) \quad (5)$$

Cette énergie cédée par le système doit représenter l'énergie utile à la serre. En tenant compte de l'émissivité ϵ_c du capteur, ($\epsilon_c = 0,9$) on a :

$$\epsilon_c \cdot M \cdot C_p (T_f - T_{ai}) = E_u, \text{ soit } M = E_u / [\epsilon_c \cdot C_p \cdot (T_f - T_{ai})] \quad (6)$$

On trouve $M = 740 kg$,

C'est ainsi que le stockage a été réalisé dans quatre réservoirs en plastique de volume total 800 litres.

IV- DIMENSIONNEMENT DE L'ISOLATION DU STOCK

Les réservoirs de stockage ont été placés dans une boîte métallique. Il s'agit alors de déterminer l'épaisseur de la couche de liège qu'il faut intercaler entre le réservoir et la face interne de la boîte et par suite déduire les dimensions de cette boîte métallique.

Pour estimer la quantité de l'isolant (morceaux de liège) nécessaire à une bonne isolation des réservoirs de stockage, nous avons évalué le flux de chaleur échangé entre le fluide et l'ambiance extérieure.

Considérons un mur de liège d'épaisseur L , limité de part et d'autre par deux parois l'une de la face interne de la boîte métallique et l'autre de la face externe du réservoir (Fig.2). Ces deux parois sont maintenues à des températures T_{p1} et T_{p2} . L'équation de la chaleur

donnant la température à l'intérieur du mur s'écrit dans le régime permanent unidimensionnel :

$$d^2T/dx^2 = 0 \quad (7)$$

avec les conditions aux limites :

$$T = T_{p1} \text{ en } x = 0 \text{ et } T = T_{p2} \text{ en } x = L.$$

En intégrant on obtient l'expression de la température en un point d'abscisse x :

$$T(x) = T_{p1} + [(T_{p1} - T_{p2})/L].x \quad (8)$$

Le flux conductif par unité de surface sera alors :

$$q = -\lambda \overrightarrow{\text{grad } T} = \lambda [(T_{p1} - T_{p2})/L] \vec{i} \quad (9)$$

Si l'on considère la puissance thermique traversant une surface d'aire S du mur, l'équation précédente donnant le flux s'écrit :

$$\Phi = q.S = \lambda [(T_{p1} - T_{p2})/L].S \quad (10)$$

$$\text{et } T_{p1} - T_{p2} = [L/\lambda.S].\Phi \quad (11)$$

Par l'analogie électrique on obtient la résistance thermique conductive du mur :

$$R = L/\lambda.S \quad (12)$$

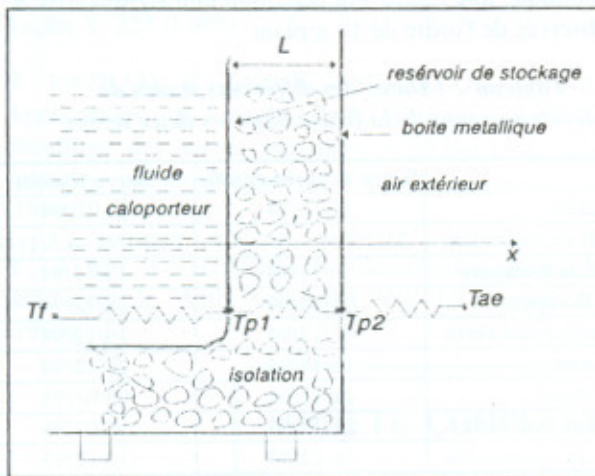


Figure 2 : Epaisseur de la couche d'isolation du stock

Par ailleurs entre les parois et le fluide caloporteur d'une part et l'air de l'ambiance extérieure d'autre part, respectivement aux températures Tf et Tpe, s'établit un échange convectif. Le problème étant unidimensionnel, la conservation du flux se traduit par l'égalité des flux : cédé par le fluide caloporteur chaud au mur, traversant le mur, et reçu par l'air extérieur :

$$\begin{aligned} \Phi &= (T_f - T_{p1}) / (1/h_1 S) = (T_{p1} - T_{p2}) / (L/\lambda.S) \\ &= (T_{p2} - T_{pe}) / (1/h_2 S) \end{aligned} \quad (13)$$

Cette équation permet d'exprimer le flux échangé entre le fluide caloporteur et l'air extérieur en fonction de leurs températures, du coefficient de conduction du liège et des coefficients d'échanges convectifs :

$$\Phi = (T_f - T_{pe}) / (R_{c1} + R_d + R_{c2}). \quad (14)$$

où $R_{c1} = 1/h_1 S$ et $R_{c2} = 1/h_2 S$ sont les résistances convectives et $R_d = L/\lambda.S$ est la résistance conductive.

Si les pertes tolérées au niveau du stockage représentent 5% de la puissance Q stockée dans les réservoirs, l'épaisseur de la couche d'isolation L sera donnée par :

$$Q.(5/100) = [(T_f - T_{pe}) / (1/h_1 + L/\lambda + 1/h_2)].S$$

$$L = \lambda.[(T_f - T_{pe}).(100/5.Q).S - 1/h_1 - 1/h_2] \quad (15)$$

$$\text{avec } Q = M.C_p.(T_f - T_{ai}) \quad (16)$$

où M est le débit du fluide caloporteur.

Application à la serre expérimentale :

Données utilisées:

- * $T_f = 35^\circ\text{C}$, température du fluide caloporteur
- * $T_{pe} = 5^\circ\text{C}$, température minimale de l'air extérieur
- * $T_{ai} = 18^\circ\text{C}$, température à l'intérieur de la serre
- * $\lambda = 0.045 \text{ W}/(\text{m}.\text{C})$, conductivité thermique du liège granulé
- * h_1 = coefficient de convection entre la paroi interne du réservoir et le fluide.

En tenant compte de la longueur caractéristique de la surface d'échange, la convection est du type turbulent naturel : $h_1 = 1.86 (\Delta T)^{1/3} . \Delta T$, pour $\Delta T = 3^\circ\text{C}$, on trouve $h_1 = 8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$.

* h_2 = coefficient de convection entre la paroi externe de la plaque métallique et l'air extérieur. Dans ce cas le régime de convection est du type turbulent forcé : $h_2 = 5.96 \{v^{0.8}/d^{0.2}\} . \Delta T$, avec v vitesse de la moyenne du vent et d la longueur caractéristique de la surface d'échange. Pour $v = 5 \text{ m/s}$, $d = 10 \text{ m}$ et $\Delta T = 4^\circ\text{C}$, On trouve $h_2 = 55 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$.

* $C_p = 4182 \text{ J}/(\text{kg}.\text{C})$ chaleur spécifique du fluide.

* S surface totale d'échange : c'est la somme des surfaces latérales et des surfaces de bases pour les quatre réservoirs cylindriques :

$$S = 4 [2.3,14.r^2 + 2.3,14.r.h] \text{ où } r \text{ et } h \text{ sont respectivement le rayon et la hauteur d'un réservoir, soit } S = 9.8 \text{ m}^2$$

finalement, on trouve $L = 0.16 \text{ m} = 16 \text{ cm}$,

Le stockage a été réalisé dans quatre réservoirs de plastique ayant chacun un diamètre de 60 cm et une hauteur de 90 cm. Pour respecter l'épaisseur L de la couche d'isolation ces réservoirs ont été placés

horizontalement dans un coffret métallique de largeur 120 cm, de hauteur 90 cm et de longueur 3 m (Fig.3). Par ailleurs en calculant la différence entre le volume de cette boîte métallique et celui des quatre réservoirs, on trouve environ 2 m^3 qu'il faut remplir par du liège granulé. Celui-ci a une masse volumique de 160 kg/m^3 . Ainsi, plusieurs empilements de liège soit environ 300 kg, ont été soigneusement étalés et compactés entre les interstices assurant ainsi l'isolation thermique des réservoirs.

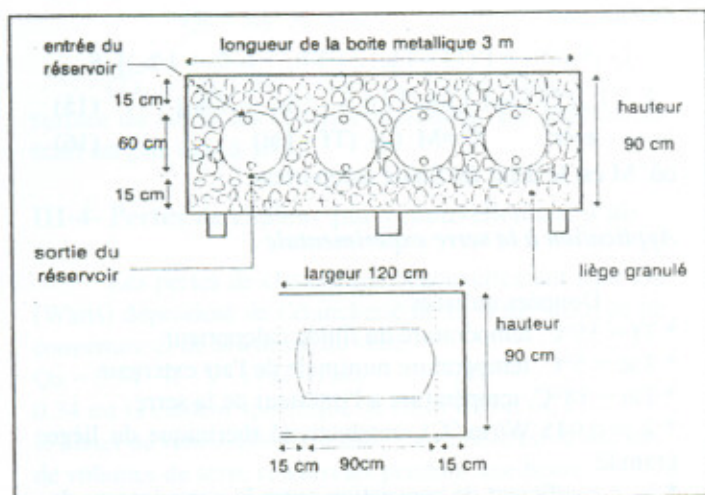


Fig.3 Schéma et dimensions du stockage

Il faut noter que l'emplacement horizontal des réservoirs réduit le gradient de température habituellement observé entre les couches supérieures du fluide et ses couches inférieures dans les réservoirs et par suite induit une homogénéité de la température du fluide.

V- PERFORMANCES REALISEES PAR LE SYSTEME.

Des études antérieures ont permis de déterminer les paramètres techniques optimums de fonctionnement de ce système [4 - 10].

- Fluide caloporteur : bleu de méthylène a une concentration de 0.025 g/l
- Fluide en circulation ouverte : du réservoir froid il est entraîné à travers le capteur, vers le réservoir de stockage à l'aide d'une pompe de refoulement.
- Débit optimum de circulation : 0.013 l/s .
- Surface du capteur : trois modules de surface 2.4 m^2 chacun
- Intervalles de circulation : phase de stockage de 9h à 17h, phase de restitution de 0h à 05h du matin.
- Capacité des réservoirs de stockage 800 litres.

V-1- Résultats thermiques

Ces résultats concernent l'expérimentation du système dans une petite serre en verre de 9 m^2 de surface et durant la campagne de mesure du 11/10/94 au 05/05/95. La surface totale des capteurs installés est de 7.2 m^2 .

• Pendant le jour le système a permis d'atténuer la température de 8°C dans la serre expérimentale par rapport à une serre témoin non chauffée, par contre pendant la nuit il a augmenté cette température de 6 C . Il a également réduit l'écart entre température maximale et minimale ce qui a évité les changements climatiques brutales à l'intérieur de la serre.

• L'énergie moyenne stockée par le système est de 13.9 Kwh/jour et représente 35% du rayonnement solaire extérieur. L'énergie dissipée dans la serre pendant la nuit est en moyenne de 8.2 kWh/jour permettant ainsi de maintenir une température dans la serre aux alentours de 20° C .

V-2- Résultats agronomiques

Ce système a permis une précocité de la culture installée (la fraise) de treize jours par rapport à la serre témoin (Tab.2). Cependant concernant le rendement agronomique une légère augmentation non significative a été observée de l'ordre de 10 g/plant .

Tableau 2 : Dates des différents stades de développement de la fraise dans les deux serres

	Serre expérimentale	Serre témoin
Plantation	21/10/94	21/10/94
Départ en végétation	21/10/94 → 5/11/94	21/10/94 → 5/11/94
Début de floraison	06/11/94	11/11/94
Plein floraison	06/12/94	18/12/94
Premiers fruits verts	07/12/94	19/12/94
Fruit rose	15/12/94	27/12/94
Fruit rouge	21/12/94	03/01/95
Première cueillette	21/12/94	03/01/95
Arrêt de la cueillette	28/12/94	10/01/95

VI- CONCLUSION

Les modifications microclimatiques induites par ce système sont notables : il a réalisé des températures comprises dans l'intervalle [18°C - 28°C] qui est favorable pour le développement de la fraise (contre [12°C - 39°C] dans la serre témoin). Les humidités enregistrées étaient comprises dans l'intervalle [70% - 80%] contre [55% - 90%] dans la serre témoin. Avec les paramètres optimums de fonctionnement, le rendement thermique du capteur est de 53% et celui au niveau du système est de 44% .

Quant à son effet sélectif il a permis d'atténuer le rayonnement solaire dans la serre pendant le jour et par suite, il a permis d'éviter les surchauffes excessifs ce qui favorise l'économie d'eau d'irrigation.

Signalons que durant toute la campagne de mesure, on n'a jamais enregistré, pour l'ambiance extérieure, une température en dessous de 5° C ce qui a permis à notre système de chauffage solaire, à lui seul sans système d'appoint, de réaliser dans la serre expérimentale des températures comprises dans l'intervalle de consigne. Le système a été donc bien dimensionné.

REFERENCES

- M. SANTAMOURIS, C.A. BALARAS, E. DASCALAKI and M. VALLINDRAS, Passive solar agricultural green houses: a world wide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes, *Solar Energy* 53, pp. 411-426 (1994)
- Y. CAOURIS, C. KITTAS, and M. SANTAMOURIS, Regional monthly estimation of greenhouse energy consumption-application to Greece, *Solar and Wind Techn.* 6, 225 (1989)
- R. LAZRAK, P. MOUKLISSE and B. TANOUTI, Applications du stockage de l'énergie solaire au chauffage des serres agricoles. « Séchoirs solaires et systèmes photovoltaïques », Edition Toubkal, Maroc (1990)
- R. TADILI, A.S. DAHMAN, Climatisation solaire d'une serre agricole. *Actes Inst. Agro. Vét.* 13 (3), pp. 29-36 (1993).
- A.S. DAHMAN, R. TADILI et A. EI KIRI, Serres : l'absorption sélective de l'énergie solaire *P.H.M Rev Horticole* (347), 23-26 (1994).
- R.TADILI, A.S.DAHMAN, Conception and study of a solar heating and climatisation system for a greenhouse. *World Renewable Energy Congress*, Vol 5, par ill. pp.1919-1921 (1994).
- R. TADILI, A.S. DAHMAN, and J. KADDOURI, Parameters optimization of a greenhouse solar heating and climatisation system, *Renewable Energy*, to be published (1996)
- R.TADILI, A.S. DAHMAN, Effects of a solar heating and climatisation system on agricultural greenhouse microclimate. *Renewable Energy*, to be published (1996).
- R. TADILI, A.S. DAHMAN, and J. KADDOURI, Performances of solar heating system for greenhouse. *World Renewable Energy Congress*, Denver, Colorado, USA (1996).
- R. TADILI, A.S. DAHMAN et J. KADDOURI, Fluide caloporteur pour les écrans thermiques et d'ombrage des cultures sous serres. *Revue Horticole*, Paris 1996, à paraître.
- G. ISSANCHOU, Chauffage des serres : dimensionnement des systèmes, CEMAGREF, BTMEA, 56, PP 21-33 (1991).
- O. JOLLIET, Modélisation du comportement thermique d'une serre agricole, Thèse de Doctorat es Sciences, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse (1988).

SOCIETE COOPERATIVE AGRICOLE MAROCAINE

" S.C.A.M. "

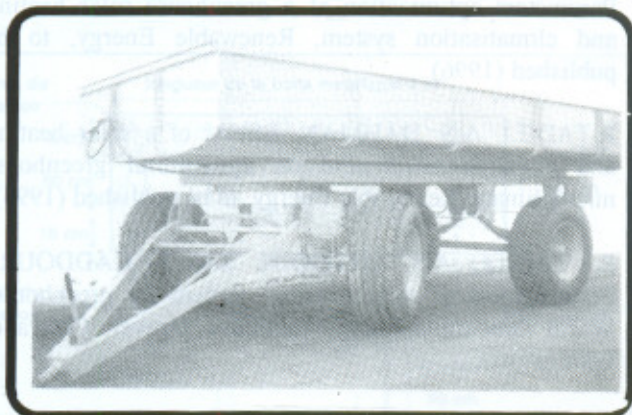
**STOCKAGE
DES
CEREALES**

ROUTE DE L'OASIS BP 8.116 - CASABLANCA
Tél. : 25.31.96 / 25.31.98 - Fax : 25.31.96- Télex : 23.072

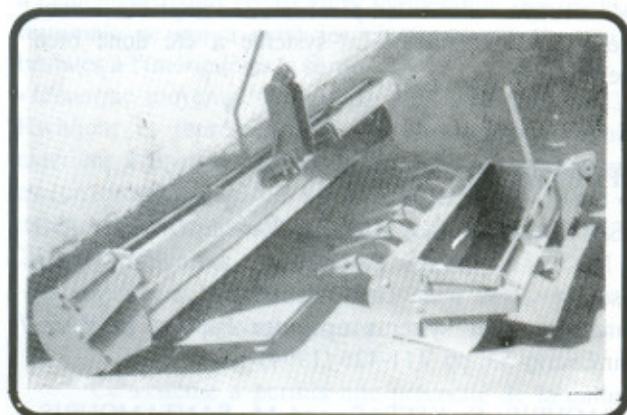


المصانع المغربية LES ATELIERS MAROCAINS

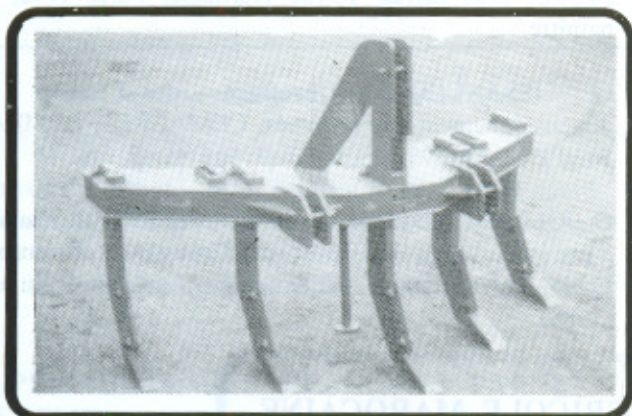
Produits nationaux, machines robustes, entretien rapide



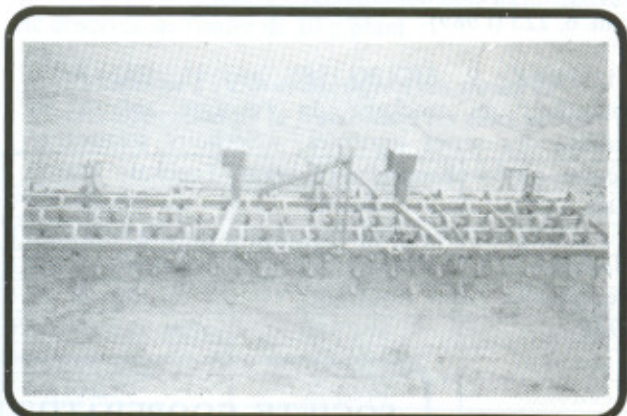
Remorque Hydraulique 8 tonnes



Pelle. Niveleuse Robuste 1,8 • 3,00 m



Sous soleur Porté 5 dents



Vibroculteur avec rouleau de 5 m de large

Autres produits Leaders

- Cover Crop trainé et porté (disque 610 m) paliers fonte ou à roulements de 12 à 36 disques
- Stubble Plow trainé disque 710 mm paliers à roulements de 10 à 20 disques
- Chisel porté 5 à 9 dents
- Cultivateurs Canadiens de 7 à 21 dents
- Sous soleur porté ou trainé à 1 à 5 dents
- Remorques simples ou hydrauliques 3 à 10 Tonnes
- Citernes galvanisées sur roues 1000 à 5000 Litres
- Vibroculteurs avec rouleau 2,5 à 5 m

20, CHRII EL FADILA • QUARTIER INDUSTRIEL • RABAT
TEL : 79 40 63 / 79 48 45 / 79 46 38 • TELEX : 31.627 M • FAX : 79 40 69 • BP : 31 RABAT

EVALUATION DES PERFORMANCES DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE CENTRALISEE DU VILLAGE DE CHRAGA (PROVINCE DE SAFI - MAROC)

D. KHALSS¹, N. MOUNCEF², A. KHTIRA¹, J. BURET¹ et M. BERDAI²

ABSTRACT

Many rural communities in Morocco have a very small probability to be connected to electric network in the near future. The Pilot Programme for Rural Electrification (PER), implemented recently by the government, aims to provide the electricity to 240 villages of which 30 are now operational, using alternatives solutions : centralised photovoltaic, stand-alone photovoltaic, small hydro and diesel generators. In this work, survey was carried out in the village of Chraga (region of Safi) to assess the performance of the centralised photovoltaic installation after 21 months of operation. The results showed that the users are satisfied of the photovoltaic technology. However, the main problem encountered is the failure of batteries (poor cycle life and heavy to carry). The photovoltaic panels are too largely designed because the energy consumption is lower than what was expected.

I- INTRODUCTION

L'électrification rurale permet l'amélioration du mode de vie des populations en leur donnant accès à l'éclairage et à l'audiovisuel et contribue au développement socio-économique. A la fin de 1994, seuls 21% des communautés rurales disposaient de l'électricité au Maroc. Ce faible taux montre bien que l'électrification rurale n'a pas connu un essor important au fil des années passées. L'objectif est de généraliser l'électrification rurale à l'horizon de l'an 2010, et pour l'atteindre, l'extension du réseau n'est pas la seule solution technique possible [1]. En effet, bien qu'elle soit un objectif escompté, l'extension du réseau n'est pas toujours économiquement rentable pour les localités d'accès difficile et à habitat dispersé. Le Programme Pilote de pré-Electrification Rurale (PPER), mis en oeuvre par la Direction Générale des Collectivités Locales (DGCL), tente de répondre aux besoins des usagers en éclairage et audiovisuel en adoptant des solutions décentralisées basées sur le photovoltaïque, les groupes électrogènes et les microcentrales hydrauliques [2]. Ce programme intéresse 240 villages des 3 provinces de Safi, Azilal et Errachidia. Une première phase test a consisté en l'équipement de 30 villages et a été achevée en 1994. L'extension aux autres villages est prévue pour l'année 1997. Parmi les 30 villages de la phase test, 22 sont équipés d'installations photovoltaïques centralisées.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à

l'étude du comportement et des performances des équipements de production et d'exploitation de l'installation photovoltaïque centralisée du village de Chraga après 21 mois de fonctionnement. Les résultats trouvés sont en conformité avec ceux de travaux antérieurs effectués pour un autre site [3,4].

II- DESCRIPTION DU VILLAGE

Le village de Chraga est situé dans l'Ouest du Maroc, à 20 km de la ville de Safi, dans une région côtière (5 km de la mer). Les principales activités des villageois sont l'agriculture et la pêche. Ce village est d'accès relativement facile, mais les foyers sont très dispersés. La distance au réseau le plus proche est de 6 km.

Le nombre total de foyers qui ont adhéré au PPER est de 51 :

- recharge de la batterie : 42 foyers,
- kit photovoltaïque individuel : 9 foyers.

Pour les équipements d'usage collectif :

- 4 lampadaires ont été installés en différents endroits du village,
- La mosquée a été équipée d'un kit individuel (6 lampes).

Ces installations sont opérationnelles depuis le 28 Juillet 1994.

¹ Laboratoire d'Energie Solaire, Faculté des Sciences, B.P 1014, Rabat, Maroc

² CDER, Ministère de l'Energie et des Mines, Agdal B.P 6208, Rabat, Maroc

III- DESCRIPTION DE LA MAISON DE L'ELECTRICITE

La Maison de l'électricité (figure 1) est un local situé au centre du village, équipé de plusieurs panneaux photovoltaïques destinés à la recharge des batteries et des lampes portables, utilisées par les villageois.

Le nombre total d'unités de charge disponibles est de 18 :

- 6 unités de charge pour batteries de 30 Ah,
- 5 unités de charge pour batteries de 75 Ah,
- 7 unités de charge pour lampes portables.

Les villageois se procurent les batteries et les lampes portables chargées à la Maison de l'électricité en échange de celles déchargées. Donc, il y a toujours un stock de ces équipements permettant l'approvisionnement continu des usagers.

Prix de la recharge :

- 5 Dh pour les batteries 30 Ah,
- 9 Dh pour les batteries 75 Ah,
- 3 Dh pour les lampes portables.

Le tableau 1 présente la répartition des usagers par niveau d'équipement et la capacité de la batterie correspondante.

Tableau 1 : Répartition des usagers par niveau d'équipement

Niveau	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2
Tube (8W,400 lumens)	1	1	2	2	2	2	2	2
Tube (13 W,600 lumens)	-	-	-	-	1	1	2	2
Prise (TV, Radio)	-	1	-	1	-	1	-	1
Batterie (Ah)	30	75	30	75	75	75	75	75
Nombres d'abonnés	7	-	18	7	1	7	-	-

IV- RESULTATS DU SUIVI

L'un des objectifs de la phase du PPER est de tester la faisabilité des équipements de production et d'exploitation afin de mettre en évidence leur degré d'aptitude à satisfaire les besoins des usagers dans les conditions réelles d'usage. C'est dans ce sens que nous avons orienté notre étude.

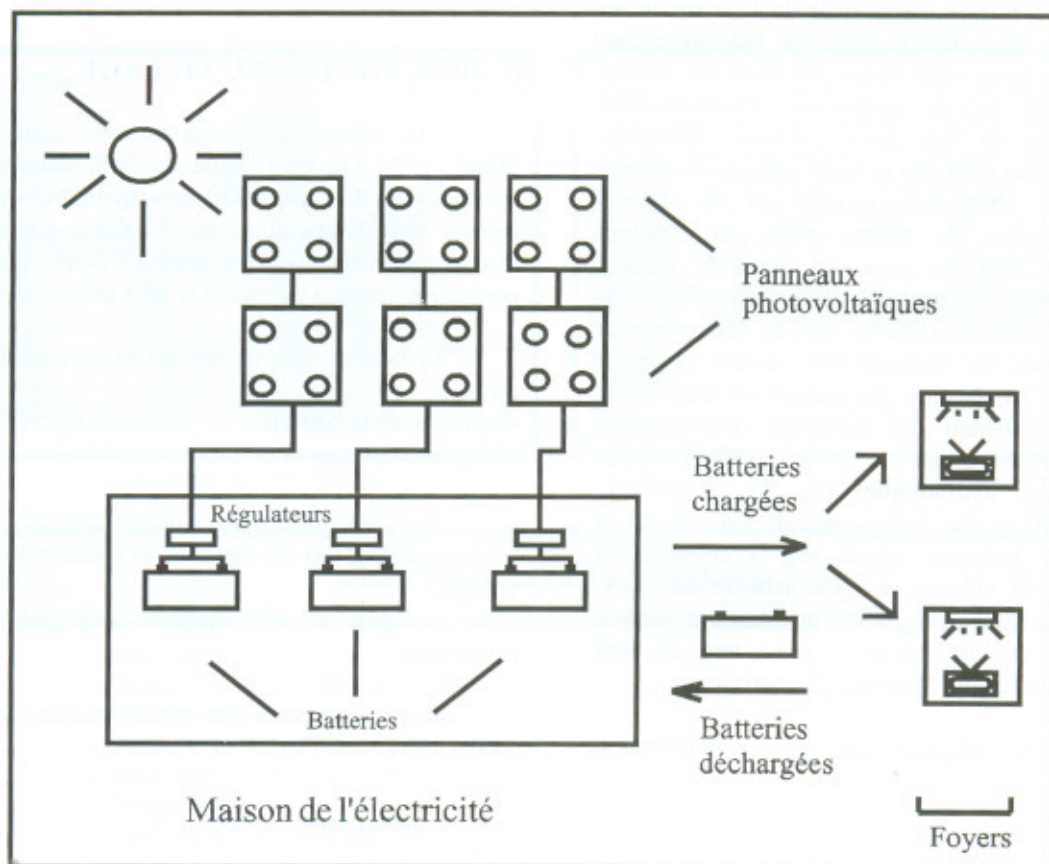


Figure 1 : Principe d'une installation photovoltaïque centralisée

IV-1- Etat des équipements

IV-1-1- Batteries

Leur mauvais fonctionnement constitue le problème majeur rencontré au cours de la phase test du PPER. Les causes en sont multiples, mais la qualité de fabrication et le mode d'exploitation sont les principaux facteurs qui ont contribué à leur détérioration rapide.

Le nombre total de batteries en panne trouvées à la Maison de l'électricité est de 12 (20% par rapport au nombre total de batteries qui alimentent le village), 9 de capacité 75 Ah et 3 de capacité 30 Ah. Les anomalies constatées sur ces batteries sont :

- cassure du bac,
- chute de tension rapide,
- tension basse.

Le tableau 2 présente les valeurs de la tension aux bornes de ces batteries. On constate qu'elles présentent toutes des tensions basses par rapport à la valeur normale qui est de l'ordre de 12 V.

Un échantillon de 15 batteries (9 de capacité 30 Ah et 6 de capacité 75 Ah) opérationnelles à la maison de l'électricité et dans les foyers a été inspecté afin de caractériser leur état. Les résultats obtenus ont montré que certaines batteries présentent des anomalies de fonctionnement qui sont de deux catégories :

- La **cassure du bac** a été constatée sur 20% des batteries inspectées, toutes de capacité 75 Ah. Il est à noter que le bac des batteries 75 Ah, en ébonite, est fragile, ce qui les expose plus aux risques de cassure et par suite à la fuite de l'électrolyte, alors que celui des batteries 30 Ah, en polypropylène, est plus résistant aux chocs.
- Les **décharges profondes** ont été constatées sur 33% des batteries et sont généralement causées par

l'exploitation excessive de la batterie. En effet, si le limiteur de décharge, installé dans le foyer, coupe le courant à la tension de décharge fixée à environ 11,3 V, les usagers procèdent au branchement direct des équipements d'usage (lampes et télévision) sur les bornes de la batterie sans passer à travers le limiteur de décharge. Ces décharges profondes sont aussi causées par le stockage de la batterie déchargée chez l'utilisateur pendant plusieurs jours, phénomène constaté au niveau de deux foyers. Les conséquences de ces décharges profondes sont graves sur la durée de vie des batteries puisqu'elles sont les principaux éléments responsables de la baisse rapide de la capacité.

- Les autres batteries inspectées paraissent en bon état de fonctionnement.

Par ailleurs, la majorité des usagers se plaint des difficultés du transport de la batterie à cause de son poids important (15 kg pour la batterie 30 Ah et 30 kg pour la batterie 75 Ah). Divers moyens de transport sont utilisés par les usagers. Les foyers localisés au voisinage de la Maison de l'électricité transportent la batterie manuellement ou bien sur une brouette alors que ceux éloignés de la Maison de l'électricité la transportent à dos d'âne ou sur une charrette. Tous ces moyens exposent la batterie aux risques de chute, chocs et fuite de l'électrolyte.

IV-1-2- Lampes fluorescentes

Le principal problème rencontré dans l'usage des lampes fluorescentes est le noircissement des tubes qui réduit leur rendement. Il est très difficile d'en déterminer les causes, mais, l'usage fréquent et les chutes de tension semblent être des facteurs déterminants. Le tableau 3 montre que la profondeur du noircissement des tubes, mesurée dans quelques foyers, varie généralement entre 0 et 2 cm. Les tubes qui n'ont pas noirci sont ceux qui sont rarement utilisés.

Tableau 2 : Valeurs de la tension aux bornes des batteries en panne.

Capacité (Ah)	30	30	30	75	75	75	75	75	75	75	75
Tension (V)	7,97	3,16	10,28	11,72	5,38	8,52	9,68	5,44	9,16	10,76	4,96

Tableau 3 : Profondeur du noircissement des tubes.

Profondeur du noircissement	0	0,5	1	2
Nombre de tubes	2	1	9	4

IV-2- Consommation des usagers

Afin d'estimer la consommation énergétique des usagers, nous avons déterminé l'autonomie moyenne de la batterie pour les usagers qui la rechargent à la Maison de l'électricité, du mois d'août 1994 au mois de février 1996, soit 19 mois de fonctionnement. Le tableau 4 montre que l'autonomie des batteries est variable d'un niveau d'équipement à l'autre et qu'elle est d'autant plus faible que le niveau augmente. Durant cette période, l'autonomie a varié entre 10 et 28 jours, soit 1 à 3 recharges par mois. Cependant l'autonomie varie considérablement au sein du même niveau, l'écart entre l'autonomie minimale et maximale pour un même niveau varie entre 10 et 17 jours ce qui montre bien que la consommation ne dépend pas du nombre des équipements installés, mais plutôt de la consommation réelle des usagers. La figure 2 montre que la majorité des usagers (75%) garde la batterie entre 10 et 19 jours et que seulement 2% dépassent le seuil de 25 jours. La moyenne pour l'ensemble du village est de 16 jours, soit 2 recharges par mois environ. Il est à noter que l'autonomie de la batterie dépend, d'une façon significative, de son rendement et de son usage (régime de décharge).

Tableau 4 : Autonomie moyenne des batteries par niveau d'équipement

Niveau	1-1	2-1	2-2	3-1	3-2
Nombre d'usagers	7	18	7	1	7
Autonomie moyenne de la batterie (j)	18	17	17	15	14
Autonomie maximale (j)	28	21	22	15	21
Autonomie minimale (j)	11	11	12	15	10

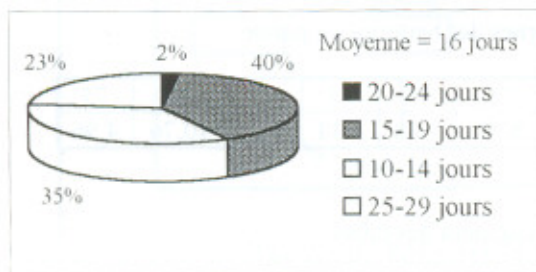


Figure 2 : Répartition des usagers par autonomie moyenne des batteries.

Les données collectées à la Maison de l'électricité concernant les fréquences de recharge des batteries et des lampes portables, montrent que l'installation est largement surdimensionnée au stade actuel. La figure 3 représente l'évolution du nombre de batteries et de lampes portables livrées chaque mois, pendant l'année 1995. Pour les batteries, on constate d'abord une augmentation du nombre livré au mois de février qui coïncidait avec le mois de Ramadan, où la consommation est relativement élevée par rapport aux autres mois de l'année. Pour les autres mois, ce nombre dépend de l'usage et de l'état de charge de la batterie. Le nombre moyen de batteries 30 Ah livrées par jour est de 2 environ, celui des batteries 75 Ah est de 1 à 2. Ces nombres sont très inférieurs aux nombres d'unités de charge disponibles à la maison de l'électricité (6 unités de charge 30 Ah et 5 unités de charge 75 Ah). Ces écarts importants viennent du fait que la consommation des usagers est plus faible que ce qui avait été prévu par les études de dimensionnement. Pour les lampes portables, le nombre moyen de recharges par mois est pratiquement constant pendant toute l'année. Le nombre moyen de lampes portables livrées par jour ne dépasse pas une lampe, ce qui est aussi très inférieur au nombre d'unités de charge disponibles (7 unités).

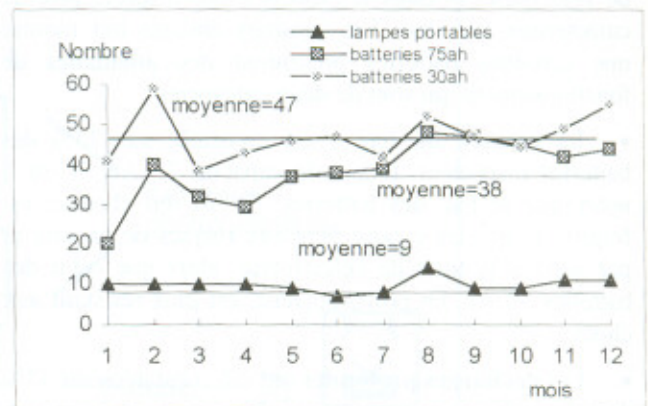


Figure 3 : Nombre de batteries et de lampes portables livrées par mois au village de Chraga, durant l'année 1995

IV-3- Dimensionnement du stock à la Maison de l'électricité

Afin d'assurer l'alimentation continue des usagers en énergie électrique à n'importe quel jour de l'année, un stock de batteries et de lampes portables doit être toujours disponible à la Maison de l'électricité. Ce stock doit être correctement dimensionné en tenant compte du nombre de pannes et des variations saisonnières du rayonnement

solaire nécessaire pour la charge et de la consommation des usagers. La figure 4 représente les fréquences du nombre de batteries et de lampes portables livrées par jour du mois de juin 1995 au mois de février 1996 (264 jours). On constate sur cette figure que le nombre maximum de batteries 30 Ah livrées par jour est de 8, celui des batteries 75 Ah est de 7 et celui des lampes portables est de 5, mais avec des fréquences très faibles de 1 jour pendant les 264 jours étudiés. Par contre, pendant cette période, pendant 93 jours, aucune batterie de 30 Ah n'a été demandée à la Maison de l'électricité. De même, pour les batteries de 75 Ah, 105 jours sans livraison et pour les lampes portables, 194 jours sans livraison. Ces résultats confirment le surdimensionnement des panneaux photovoltaïques de la Maison de l'électricité et la difficulté de prévision et de gestion du stock.

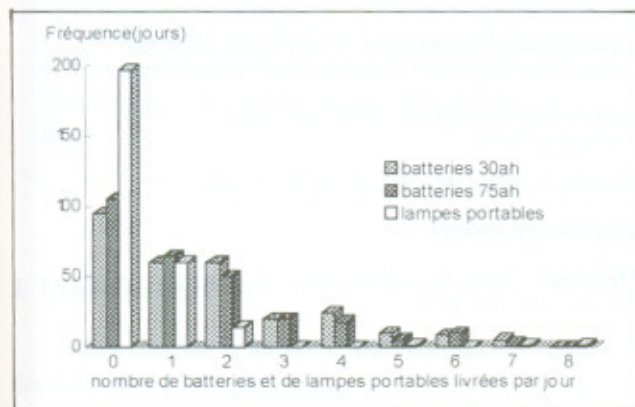


Figure 4 : Fréquence en jours du nombre de batteries et de lampes portables livrées par jour pendant la période (juin 95 - février 96 : 264 jours).

V- CONCLUSION

Au terme de ce suivi, nous pouvons conclure que les usagers sont satisfaits de la technologie photovoltaïque, mais, des efforts importants restent à déployer pour le choix des équipements utilisés dans les foyers, et plus particulièrement les batteries, adaptés aux conditions locales et pour inciter les usagers à respecter les normes d'exploitation qui leur sont imposées. De même, le dimensionnement des panneaux photovoltaïques et du stock d'appareils à la Maison de l'électricité est à revoir, dans le sens d'une meilleure adaptation aux conditions réelles d'utilisation et en conséquence dans le sens d'une diminution des coûts de l'installation photovoltaïque centralisée.

REFERENCES

- [1] : A. BENCHEQROUN et M. BERDAI, "Electrification rurale au Maroc", Symposium international de Marrakech, Novembre 1995.
- [2] : M. BERDAI et V. BUTIN, "PPER Electrification décentralisée; hypothèses, options, méthodes", 2ème édition, DGCL, 1994.
- [3] : D. KHALSS, J. BURET, A. KHTIRA, M. BERDAI and N. MOUNCEF, "Study of behaviour and performances of batteries used in a centralised PV installation in the village of Tamalout, Morocco". Proc. of the World Renewable Energy Congress IV, pp 1577-1580, Denver, Colorado, USA, 1996.
- [4] : D. KHALSS, M. BERDAI, J.BURET et A. KHTIRA, "Suivi technique des installations photovoltaïques dans les villages tests du programme pilote d'électrification rurale au Maroc", COMAGEP II, Tome I, pp 314-317, Gabès, Tunisie, 1996.



AUTO-HALL

Avenue Lalla Yacout - Casablanca
Tél : 44.21.21 / 31.70.44
Fax : 31.89.15

199999



SO.NA.CO.S.

SOCIÉTÉ NATIONALE DE COMMERCIALISATION DE SEMENCES

Société anonyme dotée de la personnalité civile et de l'autonomie financière régie par le droit commercial
Date de création : 1975 - Capital Social 34 Millions de Dhs - C.a. : 409,5 millions de Dhs en 1990/91

ACTIVITES : PRODUCTION, IMPORTATION, EXPORTATION ET COMMERCIALISATION DE SEMENCES CERTIFIÉES

ESPECES COMMERCIALISEES

La SO.NA.CO.S. offre une large gamme d'espèces et de variétés :

. Semences de céréales d'automne :

- **Blés durs** : Belbachir, Sebou, Sarif, Massa, Isly, Oum Rabia, Tassaout, Tensift et autres variétés.

- **Blés tendres** : Kanz, Saba, Achtar, Baraka, Al Kheir, Saâda et autres variétés.

- **Orges** : Aglou, Tiddas, Tamellalet, Acsad 60, Asni, Tissa et autres.

. Semences de céréales de printemps : Riz et maïs hybrid : Pau 205, Kamla, Doukkalia

. Semences de tournesol : Variétés multisol et Agrisol.

. Plants de pomme de terre.

. Semences de betterave à sucre : variétés polygermes et monogermes.

. Légumineuses fourragères : Vesce, pois fourrager, Lupin, Bersim, feverol, Luzerne, Avoine et autres.

. Graminées fourragères : Triticale, orge fourragère, maïs.

Avoine : Echiâna, Morthlock, avon et autre

. Semences pastorales :

- **Médicago** : Snail Sava, Harbinger, Cyprus, Paragió, Séréna et autres

- **Trèfle** : Clare, Séation Park, Trikkala et autres variétés.

. Semences de légumineuses alimentaires : Pois-Chiche, variété d'hivers.

RESEAU DE COMMERCIALISATION

* 14 Centres Régionaux

* Entrepôt frigorifique d'une capacité de 5.000 tonnes.

* 350 points de vente répartis à travers tout le Royaume et localisés au niveau des Centres de Travaux et des Centres de Mise en Valeur Agricoles.

MEKNES Tél. : 52.24.17 / 52.75.70 / - Tél. : 41 049

KENITRA Tél. : 37.15.77 / 37.27.24 - Tél. : 91 964

MARRAKECH Tél. : 43.55.91

FQUIH BEN SALAH Tél. : 43.50.80 / 72 - Tél. : 23 065

CASABLANCA Tél. : 25.85.77 - Tél. : 24 982

TAROUDANT Tél. : 25.32.20 / 85.33.25 - Tél. : 82 723

FES Tél. : 62.17.55 - Tél. : 51 834

SIDI EL AIDI Tél. : 40.07.16 - Fax : 40.37.55

ROMMANI Tél. : 51.60.84 - Tél. : 31 639

SIDI KACEM Tél. : 59.35.17 / 59.34.74

TAZA Tél. : 67.25.95 - Tél. : 51 809

LARACHE Tél. : 91.35.12 / 91.26.17 - Tél. : 33 975

KHEMISS ZEMAMRA Tél. : 34.61.13 - Tél. : 78 027

DEROUA Tél. : 43.07.55

ENTREPOTS FRIGORIFIQUE DE LARACHE

Tél. : 91.37.12 / 91.35.12 - Tél. : 33 975

APPORT DES DONNEES LANDSAT TM A UNE CARTE DU RISQUE DE LESSIVAGE DES NITRATES VERS LA NAPPE PHREATIQUE

L'EXEMPLE DU SECTEUR HIRTZFELDEN-FESSENHEIM (ALSACE, FRANCE)

Théa VOGT¹ et Abdelkedir ETTAJANI²

ABSTRACT

Surveying the risks of groundwater pollution by nitrates needs a long deal of time and money. In the Alsace Plain, two sheets at 1/25.000 were mapped, based on field work, laboratory analyses, combination of multi-source data. Covering the whole plain appeared to be a too expensive project. A test-area was then chosen for experimental work to answer the question : are Landsat TM data an effective tool supplying useful basic information and helping to a quicker but nevertheless precise mapping ?

The method here described (Principal Component Analysis of multi-date Landsat TM data) lead to an image of the ground hydric status, directly dependent on the soil texture and retention capacity, which control nitrate migration towards the phreatic table. Field checking showed that the agreement between this image and the map of the risks of pollution of the same area was more than 50 % agreement. In case of non-agreement, the remote sensing image gives better and more accurate information.

This method is simple, quick, and relatively costless, and supplies a good basic information for a thematic map.

1- INTRODUCTION

Les nitrates sont l'une des principales causes de dégradation de la qualité de l'eau : ajoutés aux sols comme engrais, très hydrosolubles, ils migrent facilement vers la nappe phréatique. La course à la productivité imposée par les politiques agricoles des dernières décennies en Europe a conduit dans la plaine d'Alsace au retournement des prés permanents, d'où une augmentation des surfaces cultivées et un suremploi de fertilisants. De 1973 à 1983 les teneurs en nitrates dans la nappe sont passées de 13 à 24 mg/l. Or, cette nappe assure en Alsace 60 % des besoins en eau et 40 % de l'eau potable (Fig. 1).

Le risque de pollution varie en fonction des capacités de filtration des sols. Le PIREN (Projet Interdisciplinaire de Recherches sur l'Environnement) - EAU/ALSACE avait entrepris une Carte du risque de lessivage des nitrates dans les sols pour repérer les secteurs vulnérables et orienter l'activité agricole en vue de protéger la nappe. Deux feuilles à 1/25.000 avaient été publiées (PIREN 1987). Il s'agissait d'un travail classique alliant levés de terrain, analyses de laboratoire, combinaison de

données multi-source. Vouloir couvrir par cette méthode toute la plaine s'avérait fort coûteux en argent et en temps. La question s'est donc posée de la pertinence de la télédétection satellitaire comme outil de base pour une cartographie rapide, tout en étant précise, de ces risques.

Effectué à la demande du PIREN en collaboration avec l'INRA-Station de Colmar et mené à l'Université Louis-Pasteur de Strasbourg, le présent travail a un aspect expérimental. Il porte sur un petit secteur et on ne pourrait extrapoler directement les coûts et le temps qu'il a demandé pour évaluer le budget d'une carte de toute la plaine. Mais il montre que la télédétection satellitaire est un outil qui, convenablement employé, apporte des informations fiables et peut réduire dans une proportion importante et le prix et les délais d'une cartographie.

1- CRITERES RETENUS POUR L'ETABLISSEMENT DE LA "CARTE DU RISQUE DE LESSIVAGE DES NITRATES" (PIREN)

La vitesse de migration des nitrates dépend de

¹ Laboratoire Environnement, Cartographie, Télédétection, Université Louis-Pasteur - 3, rue de l'Argonne - 67083 Strasbourg Cedex (France)

² Ministère de l'Environnement, Direction de l'Observation, des Etudes et de la Coordination - 75, rue Oued Sebou - Agdal, Rabat (Maroc)



Fig. 1. Teneurs de la nappe phréatique en nitrates (1987)

variables intrinsèques (caractères physiques) et extrinsèques aux sols (régime hydrologique), les premières (texture, structure, épaisseur, conductivité hydraulique, etc.), dites aussi variables agrologiques, sont stables, les secondes sont fonction des conditions climatiques. Les facteurs agronomiques, tels que type de culture et pratiques culturales, comme la fertilisation, influencent le risque d'entraînement des solutés, de même que l'irrigation, qui modifie artificiellement le régime hydrologique.

I-1- Les variables agrologiques

Les caractères physiques du sol intervenant le plus directement dans le processus de filtration sont :

- la texture : la capacité de rétention des sols augmente avec la proportion d'argile, ce qui freine la percolation,
- la pierrosité (proportion d'éléments de taille >2 mm) : plus elle est forte, plus l'infiltration est rapide,
- l'épaisseur : un sol épais ralentit le transit de l'eau et augmente donc la rétention de polluants. Un sol épais, très argileux et peu pierreux présentera des risques limités de lessivage, car sa conductivité hydraulique est faible.

Ces caractères intrinsèques conditionnent la réserve utile, soit la quantité d'eau que peut prélever une plante dans le sol avant d'atteindre le point de flétrissement, elle dépend de la capacité au champ et de l'humidité au point de flétrissement, ceci est fonction de l'apport d'eau par la pluie, mais aussi de l'aptitude du sol à la stocker.

I-2- Les facteurs climatiques

L'autre ensemble de facteurs commandant les possibilités de transfert des nitrates vers la nappe dépend de la quantité d'eau disponible dans les sols et de son régime annuel, lié en premier lieu au climat : pluviosité, répartition et intensité des pluies, rapport précipitations/évapotranspiration...

Pour la région de Colmar (Meyenheim-aérodrome) la pluviosité (P) moyenne annuelle (1957-1985) est de 586 mm/an, dont 350 en été (avril-septembre) et 246 en hiver (octobre-mars), l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée selon la formule de PENMAN, est évaluée à 726 mm/an, dont 594 en été et 132 en hiver. Le bilan de l'eau est donc déficitaire en été, positif en hiver, avec des risques de lessivage théoriquement nuls en été et forts en hiver. En fait, l'irrigation pendant la saison chaude modifie ce bilan, qui change par ailleurs d'une année sur l'autre en fonction de la variabilité climatique.

La prise en compte des caractères du sol, du bilan d'eau P-ETP, de la réserve utile et du ruissellement en milieu de pente, permet d'évaluer l'eau de percolation, soit la lame d'eau qui peut atteindre la nappe phréatique lorsque le bilan d'eau est positif. Vu la profondeur du toit de la nappe phréatique (supérieure à 6 m) dans la région de Colmar et plus au Sud, et de la part importante qu'y ont les sols à forte pierrosité, la remontée capillaire peut être négligée.

I-3- Les paramètres retenus

En fonction de ces considérations, les paramètres retenus pour l'établissement de la carte du risque de

lessivage des nitrates dans la zone de Colmar ont donc été :

- pour les sols : la teneur en argile de l'horizon de surface (plus ou moins de 25 %), la pierrosité, la profondeur du sol.
- pour le régime hydrologique : le bilan de l'eau, la réserve utile, l'eau de percolation d'octobre à mars.

Pour chaque paramètre ont été définies plusieurs modalités, ce qui a abouti à distinguer six classes de risques, de très fort à limité, qui ont été cartographiées à 1/25.000 (Tableau 1). Ces paramètres sont valables pour la région de Colmar et des modifications seraient nécessaires par exemple pour la région de Strasbourg ou plus au Nord, où la proximité du toit de la nappe phréatique dans la bordure rhénane au Nord de Colmar devrait être prise en compte.

Ces critères ont servi à la délimitation d'aires homogènes, les forêts, l'eau libre et le bâti n'ont pas été prises en considération. En général les forêts de la plaine rhénane sont installées sur des alluvions caillouteuses, peu favorables à l'agriculture, ce sont des surfaces dans l'ensemble filtrantes, mais d'anciens chenaux à remplissage fin les parcourent.

Le tableau sépare deux grands groupes :

- sols à horizon superficiel peu argileux ($A \leq 25\%$), peu ou moyennement profonds (max. 70 cm), et à forte pierrosité (30 à $>70\%$),
- sols à horizon superficiel argileux ($A \geq 25\%$), profonds (> 70 cm) et à pierrosité faible ($< 30\%$).

Il s'agit là de deux extrêmes. Mais il existe aussi des sols caillouteux profonds et des sols argileux et minces, qui n'apparaissent pas dans la légende. Elle ne tient pas compte non plus du niveau cimenté (poudingue calcaire) assez continu en profondeur et imperméable dans toute la haute terrasse de la Hardt, on ignore quel rôle il peut avoir dans la percolation des eaux de surface vers la nappe : blocage de l'infiltration, ou, à l'inverse, blocage de la remontée de la nappe ?

Certains résultats de ce travail obligent à prendre en considération ces faits.

II- CARACTERES NATURELS DU SECTEUR D'ETUDE

L'aire étudiée est située au Sud-Est de Colmar, dans la plaine du Rhin formée d'alluvions sablo-graveleuses. Elle couvre une surface d'environ 15.000 ha.

II-1- Aspects géologiques et géomorphologiques

Il s'agit d'une portion du rift rhénan, fossé d'effondrement compris entre les Vosges et la Forêt Noire, partiellement comblé par des marnes tertiaires éogènes recouvertes de graviers, sables et limons pléistocènes.

Lors de la dernière période froide (Wurm), le Rhin charriait de grandes quantités de sédiments grossiers qui s'épandirent, au Sud de Sélestat, jusqu'au pied des collines sous-vosgiennes. La dynamique fluviale était du type de chenaux à tresses divaguant sur l'ensemble du lit majeur ordinaire. Les sédiments de cette époque sont des bancs caillouteux, des levées, des chenaux et cuvettes de décantation emplis de matériaux fins (limons, argiles).

A l'issue du Wurm, les caractères du paysage se différencient et se diversifient pour deux raisons :

- avec l'adoucissement du climat s'installe la forêt, il en résulte indirectement une tendance à l'incision du lit du Rhin dans les dépôts grossiers, cette incision se fait en plusieurs étapes, créant ainsi une terrasse wurmienne (la Hardt) et des terrasses holocènes plus réduites. Le lit majeur s'en trouve rétréci,
- les tendances tectoniques interfèrent avec ces changements d'origine climatique. Ce rift continental datant du début du Tertiaire est tectoniquement instable. A l'Holocène, ceci se marque par un affaissement de la

Tableau 1. Caractères des classes de la carte des risques de lessivage des nitrates

CLASSES	1	2	3	4	5	6
PARAMETRES						
teneur en argile de l'horizon de surface en %	moins de 25	moins de 25	moins de 25	plus de 25	plus de 25	plus de 25
pierrosité en %	plus de 70	de 70 à 50	de 50 à 30	de 30 à 10	moins de 10	0
profondeur du sol en cm	moins de 30	de 30 à 50	de 50 à 70	de 70 à 90	de 90 à 120	plus de 120
réserve utile en mm	moins de 50	moins de 50	voisin de 50	de 50 à 100	de 100 à 150	plus de 150
P-ETP en mm	111	111	111	111	111	111
eau de percolation d'octobre à mars en mm	plus de 50	plus de 50	voisin de 50	moins de 50	moins de 50	0

NB. : ETP calculée pour la station de meyenhein-aérodrome, moyenne 1957-85, octobre à mars.

- partie septentrionale de la zone ici considérée. Donc, entre Neuf-Brisach et Colmar les dépôts pléistocènes sont individualisés en terrasse fluviale (Hardt), alors qu'ils plongent franchement au Nord de Colmar, ce qui permet l'étalement du lit majeur (H. VOGT 1992).

Ainsi la Hardt, caillouteuse et filtrante, ne connaît pas de zones d'inondation, alors que l'aire d'incision holocène présente des plages plus déprimées, avec parfois

des dépôts de débordement fins dans d'anciens chenaux ou cuvettes.

II-2- Les sols (METTAUER 1969)

L'étude pédologique définit 8 séries de sols à partir de la texture, de l'épaisseur, de la pierrosité, du taux de calcaire etc. Ces séries se classent en deux familles : sols de la Basse-Plaine rhénane **BP** et sols de la Basse-Terrasse rhénane **BT** (Fig. 2).

Fig. 2. Extrait de la carte pédologique à 1:25.000 du secteur de Fessenheim (d'après H.Mettauer)



- Sols de la Basse-Plaine rhénane :
 - * BP1 : sols alluviaux récents à éléments fins calcaires et de profondeur variable. Sols alluviaux peu évolués.
 - * BP2 : sols alluviaux récents à éléments grossiers, calcaires et en général peu profonds. Sols alluviaux peu évolués.
- Sols de la Basse-Terrasse rhénane :
 - * BT1 : sols à éléments fins peu ou pas caillouteux, calcaires et en général profonds. Sols bruns calcaires.
 - * BT2 : sols à éléments peu ou pas calcaires et de faible profondeur. Sols bruns calciques.
 - * BT3 : sols d'un mélange d'éléments fins et de graviers rhénans, plus ou moins calcaires et de profondeur variable. Ils se situent à la limite du groupe des rendzines et des sols bruns calcaires.
 - * BT4 : sols très caillouteux, peu ou pas calcaires et peu profonds. Sols bruns.
 - * BT5 : sols rubéfiés à éléments grossiers, décarbonatés et peu profonds.
 - * BT6 : sols rubéfiés à éléments fins peu ou pas calcaires et de profondeur variable.

A partir de cette classification, les groupes **BP2**, **BT4**, **BT5**, pierreux et en général peu profonds, seraient des sols à risque de lessivage fort. Le risque est plus difficile à évaluer pour les autres types, car cela dépend de l'épaisseur, de la teneur en éléments grossiers, etc ...

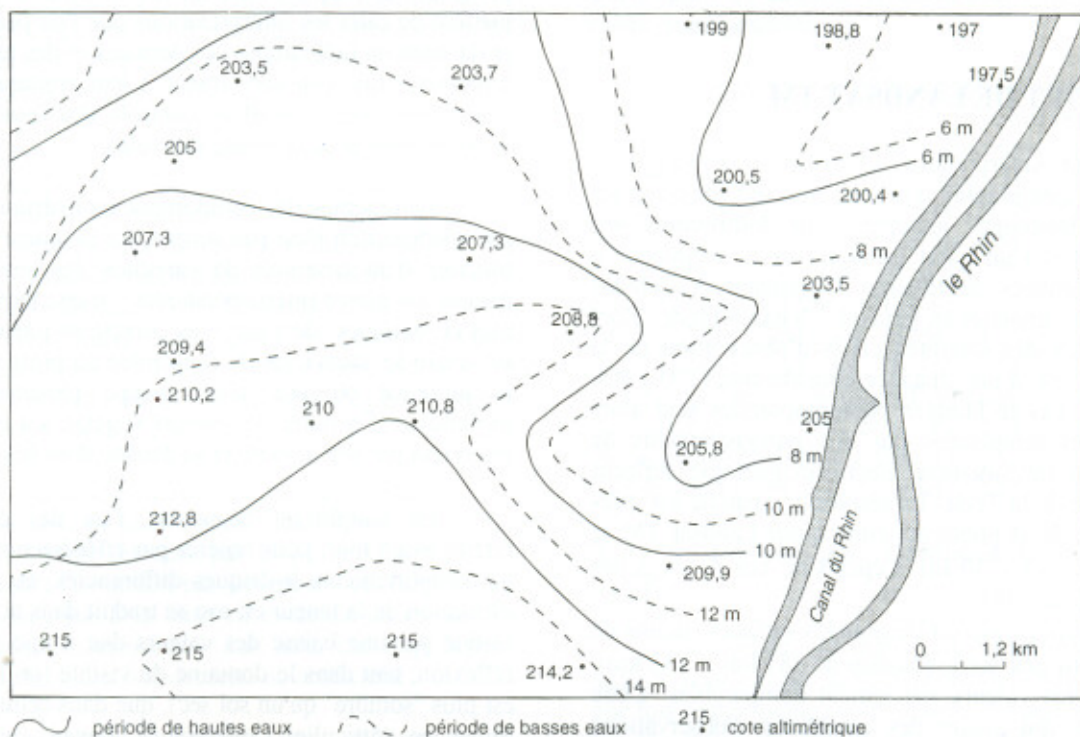
Il faut insister sur le fait que le terme de "sol" concerne uniquement la partie superficielle et non pas la roche-mère, or, dans le profil hydrique, cette dernière intervient aussi.

II-3- La nappe phréatique

La puissance de l'aquifère varie dans le secteur étudié de 50 à 200 m. La direction générale de l'écoulement est Sud-Nord. La vitesse moyenne de Darcy est de l'ordre de 10^{-6} m/s avec une conductivité hydraulique moyenne de 10^{-3} m/s et un gradient hydraulique de 0,1 %. La vitesse effective est de l'ordre de 2 à 4 m/jour pour une porosité de 10 à 20 %. Dans le secteur de Fessenheim la nappe phréatique est en état d'équilibre avec le Rhin.

La profondeur du toit diminue du Sud vers le Nord, ce qui correspond aux tendances tectoniques du Fossé rhénan. Lorsque le toit est proche de la surface, il peut influencer l'humidité du sol. Il est donc utile de connaître son évolution pendant l'année. Sur la base d'une carte piézométrique du BRGM/SGAL (région Alsace, 1975, non publiée), fondée sur les mesures en basses et en hautes eaux d'une année et de la carte I.G.N 1/25.000, a été établie une carte simplifiée de la profondeur du toit de la nappe (Fig. 3).

Fig. 3. Profondeur du toit de la nappe phréatique



Cette carte, fondée sur des interpolations, ne montre que des tendances générales, dans le détail les choses sont plus complexes, ne serait-ce que parce que la carte topographique n'indique pas les dénivellations de moins de 5 m. Or, si le toit de la nappe se situe en général à plus de 6 m de profondeur, un chenal ou une cuvette entaillés de 2-4 m se trouveront à 4-2 m du toit. On verra que les images de télédétection montrent des aires où le toit est très probablement plus superficiel que ne le feraient penser la carte.

III- LA DEMARCHE

S'agissant d'évaluer l'apport de la télédétection à une cartographie du risque de lessivage des nitrates, trois étapes ont été nécessaires :

- les facteurs agrologiques déterminants pour le lessivage étant des caractères physiques et en particulier la texture et la conductivité hydraulique, il a fallu rechercher le type de traitement de données susceptible de les mettre en évidence,
- une fois cette information obtenue, la carte du risque de lessivage et l'image de télédétection devaient être rendues superposables et comparables, on a donc numérisé la carte et corrigé géométriquement l'image,
- les deux documents rendus compatibles, on a procédé à une comparaison numérique, par tri-croisé des informations, et produit un document synthétique montrant les concordances et discordances entre les deux documents d'origine. Ce troisième document a été vérifié sur le terrain.

IV- L'APPORT DE LANDSAT TM

La photo-interprétation a longtemps été une grande aide pour la cartographie des sols, d'autant plus que les photos à infra-rouges apportent une information sur l'humidité. Il y a un quart de siècle on a commencé à utiliser les données satellitaires. Cependant, les photos aériennes sont obtenues en général à basse altitude, alors que les orbites des satellites civils d'observation de la Terre se trouvent à une distance considérable (700 - 800 km ou plus). Les techniques photographiques sont alors inopérantes et remplacées par des enregistrements de l'intensité du rayonnement électro-magnétique réfléchi par la surface de la Terre. La résolution spatiale est inférieure à celle de la photo aérienne (pour Landsat TM le pixel est de 30 m × 30 m). Cependant, ces données ont des avantages certains :

- une vue synoptique sur de grandes surfaces (moins de 3' pour couvrir une scène Landsat de 185 km × 185 km), ce qui rend les valeurs strictement comparables. Cette synchronicité, qui assure des conditions d'observations identiques, impensables par les moyens habituels, est l'une de leurs grandes qualités,

- la distance à la Terre fait que les déformations géométriques par rapport à la surface couverte sont réduites, d'où l'économie de l'important travail de redressement que nécessitent les photos aériennes,

- l'enregistrement du rayonnement électromagnétique réfléchi par la surface de la Terre tant dans le spectre du visible que dans des longueurs d'onde qui échappent à notre vision, soit les infra-rouges,

- l'acquisition sous forme numérique, qui permet une grande souplesse d'utilisation. Le traitement statistique de données physiques évite l'inconvénient de l'interprétation subjective,

- ces données sont entièrement couvrantes et de ce fait aucune interpolation n'est nécessaire.

La mise au point des capteurs montés sur les satellites s'est fondée sur presque un siècle de travaux de laboratoire et de terrain, par nécessité analytiques (par exemple : poids de chaque composant chimique dans le comportement radiométrique, de la texture, de la rugosité...). Or, les données satellitaires sont synthétiques, car elles prennent en compte des surfaces hétérogènes : un pixel Landsat TM couvre 900 m², même si chaque capteur n'enregistre qu'une bande spectrale étroite, il s'agit là de la décomposition d'un signal unique et complexe. La correspondance entre radiométries mesurées au sol et luminances enregistrées par les capteurs satellitaires pose beaucoup de problèmes non résolus.

Cependant, les préalables théoriques et expérimentaux sur lesquels s'est fondée la mise au point permettent de caler les interprétations que l'on peut proposer et du contenu thématique des données et des résultats des traitements que l'on sera amené à leur appliquer. Il reste néanmoins que le meilleur contrôle des résultats est la confrontation avec la réalité naturelle.

Le repérage des comportements hydriques des sols par télédétection n'est pas simple, car la teneur en eau est fonction d'un ensemble de variables, les unes indépendantes, les autres interdépendantes : d'une part les variables climatiques, de l'autre les caractères intrinsèques du sol, enfin les caractères de l'ensemble du profil, y compris la présence ou non d'une nappe phréatique et sa profondeur. En outre, le couvert végétal, s'il est présent, intervient par son activité et sa densité dans le signal.

En simplifiant beaucoup, l'un des éléments à retenir avant tout, pour repérer par télédétection des aires de comportements hydriques différenciés, est que l'augmentation de la teneur en eau se traduit dans le spectre du visible par une baisse des valeurs due à une plus faible réflexion, tant dans le domaine du visible (un sol humide est plus "sombre" qu'un sol sec), que dans celui de l'infra-rouge, en particulier l'infra-rouge moyen, car l'eau absorbe le rayonnement dans cette longueur d'onde.

Parmi les satellites d'observation de la Terre les plus couramment utilisés, seul Landsat TM possède des canaux dans l'infra-rouge moyen. Le radar sera certainement un outil intéressant, une fois passé de la phase expérimentale à la phase opérationnelle.

Landsat TM a ainsi le double avantage d'une bonne résolution spatiale (pixels de 30 m x 30 m) et d'un large spectre radiométrique. Convenablement choisies et traitées, ces données permettent d'obtenir un inventaire détaillé des sols et terres ainsi que des indications sur la répartition des aires de rétention différente. On peut alors avec une certaine confiance généraliser à toute une région les résultats d'observations ponctuelles. Encore faut-il mettre au point une procédure qui tire le maximum de profit de ces données dans le but envisagé.

La méthode présentée ici permet d'extraire des informations pertinentes pour la mise en évidence des comportements hydriques (aires filtrantes, aires de rétention), on peut ainsi différencier des zones en fonction du risque de lessivage des nitrates. L'aire d'expérimentation est le secteur de Hirtzfelden-Fessenheim couvert par la carte à 1/25.000 du PIREN (1987).

V- LE TRAITEMENT DES DONNEES LANDSAT TM

V-1- Le choix des données

C'est la première démarche, car en fonction de la saison et des conditions météorologiques antécédentes les données seront ou non susceptibles de fournir l'information souhaitée.

L'Alsace n'est pas favorisée pour l'acquisition de données satellitaires de bonne qualité, car les conditions sont trop souvent mauvaises : brumes matinales, brouillards, nuages sont fréquents en toute saison. Le passage de Landsat ayant lieu tous les 16 jours, le nombre de scènes de qualité acceptable est très réduit. Ainsi, les seules données satisfaisantes pour la période d'hiver depuis le lancement de Landsat TM étaient celles du 6 mars 1989. On disposait en outre de données du 31 juillet 1984 et du 18 octobre 1984.

Si la scène du 31/7/84 est de très bonne qualité, elle suit une série de gros orages, violents mais localisés, qui avaient trempé les sols par plages irrégulières. En outre, en juillet l'irrigation bat son plein : ces données ne se prêtent donc pas à la mise en évidence de comportements hydriques intrinsèques aux sols, car trop dépendantes d'une humidité accidentelle ou artificielle.

Les conditions étaient très différentes le 18/10/1984 : le temps avait été pluvieux en septembre et

début octobre, mais du 10 au 18/10 il avait été ensoleillé et sec, avec des températures moyennes assez élevées pour la saison (entre 6°1 min. et 16°7 max.). Le temps de ressuyage avait donc été suffisamment long pour que l'humidité présente puisse être considérée comme liée de façon dominante à la rétention d'eau par les sols.

Le 6/3/1989 avait été précédé par un hiver sec, pendant les deux semaines avant l'enregistrement 48 mm de pluie étaient tombés à Meyenheim, et rien pendant les deux derniers jours. La température moyenne de février avait été de 4°. L'ETP était presque nulle, et les sols à pouvoir de rétention moyen ou élevé étaient donc humides. Le couvert végétal était réduit, car le feuillage des forêts est inexistant à cette saison (les conifères occupent dans la plaine de toutes petites surfaces), seules certaines cultures herbacées étaient assez développées, les prés permanents étaient les aires végétales les plus actives.

En Alsace c'est au mois de décembre que les sols sont à leur capacité au champ. A partir des données météorologiques (précipitations, températures) et en connaissant la réserve d'eau au niveau du sol, on peut évaluer l'évolution de la réserve hydrique, soit le bilan de l'eau (Fig. 4 et 5).

V-2- Les traitements

Les traitements ont été effectués avec le logiciel CARTEL (HIRSCH & SCHNEIDER 1983). On a extrait pour chacune des dates retenues un fichier de 530 x 400 pixels, soit 15 km x 12 km, avec le même point d'origine pour les rendre superposables.

Les bandes spectrales décrivent toutes le même phénomène (l'intensité du rayonnement électromagnétique) et sont donc très fortement corrélées. Les fenêtres spectrales ont été choisies avec des buts bien précis, mais si les canaux TM5 et TM7 dans l'infra-rouge moyen ont été conçus pour l'évaluation de l'état hydrique des plantes et des sols, ils n'apportent sur l'humidité qu'une partie de l'information contenue dans l'ensemble des canaux. C'est une erreur de raisonnement que d'oublier que l'humidité affecte la courbe spectrale dans sa totalité. Face au nombre d'informations et au nombre de variables, ce sont donc des méthodes statistiques multivariées qu'il faut mettre en œuvre, plutôt que de simples opérations arithmétiques telles que les ratios.

V-3- L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

La méthode de traitement multivariée la mieux adaptée pour réduire le nombre de variables (6 par pixel, une fois le thermique exclu, dans le cas de Landsat TM) et les décorréler est l'ACP, qui concentre l'information en axes factoriels orthogonaux. Les trois premiers axes

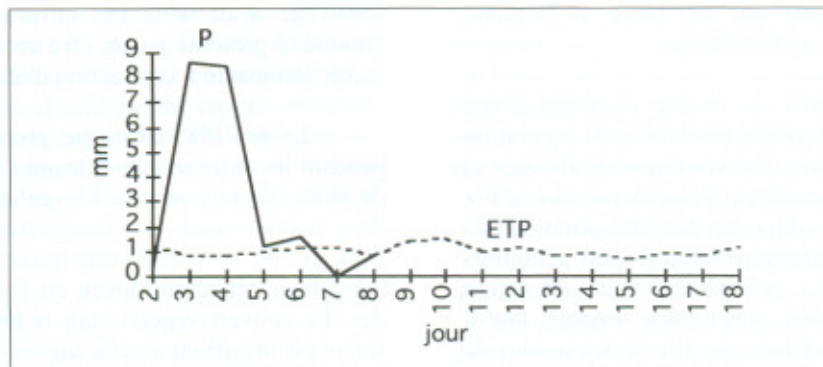


Fig. 4. Précipitations et ETP antécédentes au passage du satellite (1/18 octobre 1984).

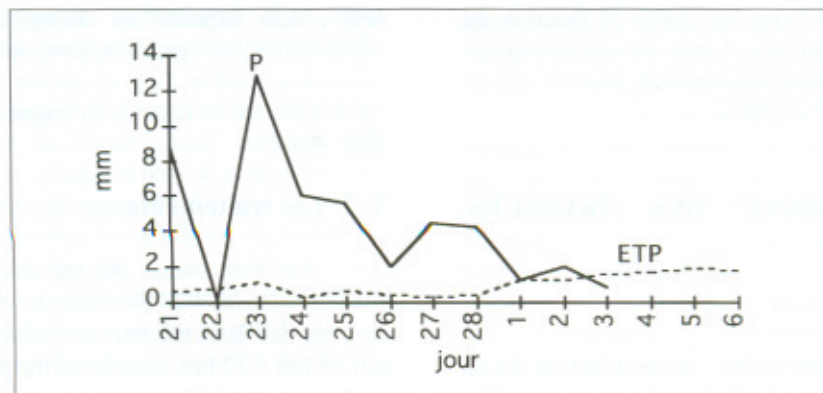


Fig. 5. Précipitations et ETP antécédentes au passage du satellite (21 février- 6 mars 1989).

expliquent plus de 90 % de la variance, en retenant ces trois premiers facteurs on réduit de 6 à 3 le nombre de valeurs par pixel, tout en gardant presque la totalité de l'information.

L'ACP sert aussi à sélectionner des comportements thématiques. En général, lorsqu'elle porte sur des canaux d'observation Landsat TM, elle fournit la variation de la brillance pour le premier facteur (corrélation positive de tous les canaux), la variation de l'activité végétale pour un deuxième axe (TM4, parfois associé à TM5, en corrélation négative avec les autres canaux) et les différences en teneur d'eau des sols pour le troisième (JENSEN 1986), qui est structuré par l'opposition entre les canaux de l'infra-rouge moyen (TM5 et 7) et tous les autres canaux, en particulier TM1 (bleu) : structure analogue à la courbe spectrale de l'eau, où la réflexion est la plus forte dans le bleu et l'absorption maximum dans les infra-rouges.

V-4- L'ACP et l'humidité des sols

CRIST & CICONE (1984) ont appliqué à des données Landsat TM simulées la transformation du Tasseled Cap (variante de l'ACP), 800 échantillons étaient fournis par un ensemble de mesures de terrain et de laboratoire sur cultures et sols nus. Dans la troisième composante obtenue, les infra-rouges moyens (TM5 et 7) s'opposaient aux autres canaux. En connaissant les caractéristiques physiques des canaux impliqués et en observant les images produites, ces auteurs ont déduit que cet axe est un indicateur d'humidité. Par un ensemble de contrôles de terrain et de laboratoire ils ont montré qu'il est indépendant et des propriétés intrinsèques des sols, telles que la texture ou la minéralogie, et de la rugosité de surface, et qu'il varie en fonction de la teneur en eau du sol. Les coefficients de cette transformation sont couramment utilisés pour mettre en évidence les conditions hydriques des sols (par exemple : EHRLICH D. et al., 1991). On peut

cependant montrer qu'ils sont assez dépendants du couvert végétal (VOGT & VOGT 1991). C'est probablement là un défaut lié à l'échantillonnage de départ.

Par contre, en opérant une ACP standardisée (pour minimiser la variance intra-canal, en général plus forte que la variance entre les canaux) sur un fichier Landsat TM on obtient un axe opposant l'infra-rouge moyen aux autres longueurs d'onde, indépendant du couvert végétal. Sa structure est identique à celle de la 3^{ème} composante du Tasseled Cap et a donc la même signification (VOGT & VOGT 1991, VOGT 1993, VOGT & LENCO 1995). Il a pu être démontré que la corrélation est systématique et forte entre scores de ce facteur et mesures de l'humidité volumique in situ (VOGT & GOMER 1992, 1993, GOMER & VOGT 1997).

V-5- Application au secteur de Fessenheim

Malgré des situations météorologiques antécédentes différentes en octobre 1984 et mars 1989 l'ACP ramène les deux fichiers à une structure très proche, car ce sont les dominantes du milieu qui sont mises en évidence. D'autre part, l'ACP réduit à des distances de -1 à +1 toutes les valeurs : comme démontré par JAJU (1988) elle permet ainsi de comparer des données multi-dates sans passer par des corrections radiométriques, travail long et à marge d'erreur importante. Ces qualités de l'ACP appliquées à des données de télédétection ont été mises à profit pour rechercher les comportements hydriques des sols dans l'aire de Fessenheim.

La procédure consiste à effectuer sur chaque fichier une ACP standardisée et à appliquer ensuite les coefficients obtenus à chaque pixel. Si l'on considère que nos fichiers comptent 212.000 pixels, on n'a pas à se poser la question de la représentativité statistique des résultats. Ensuite, à partir des valeurs du facteur par pixel on construit l'image des scores factoriels. Le Tableau 2 et la Fig. 6 montrent les résultats. Le 3^o facteur, où l'infra-rouge moyen s'oppose aux autres longueurs d'onde, met en évidence les différences d'humidité du sol, car la

réflexion des infrarouges moyens est en relation inverse avec la teneur en eau du sol.

L'interprétation "humidité du sol" est calée par ailleurs sur les scores présentés par le facteur sur des surfaces bien caractérisées : les valeurs les plus basses correspondent à l'eau, les plus élevées aux surfaces bâties (béton). Dans les images, les valeurs inférieures à 125 (dans une échelle allant de 0 à 255), et donc correspondant à l'humidité, ont été figurées en noir et en un dégradé de gris, les valeurs >125 apparaissent en blanc (Fig. 7).

En octobre 1984 l'aspect sec domine. Les valeurs les plus basses (noir) correspondent à l'eau : rivière, affleurement de la nappe dans des gravières. Des parcelles visibles dans la plaine sont liées sans doute à des sols profonds irrigués pendant l'été et gardant une certaine humidité (hypothèse impossible à vérifier sur le terrain, 8 ans plus tard). L'essentiel des aires humides se concentre à proximité du Rhin, ceci ne reflète entièrement ni les indications de la carte pédologique, qui ne tient pas compte des aires forestières, ni celles de la carte des profondeurs du toit de la nappe phréatique. Mais on sait qu'en octobre ce toit, après avoir atteint le maximum en août, est encore assez haut, surtout dans les zones bordières du fleuve, et que l'effet de pompage par la forêt influence l'humidité de surface. Il est difficile de mettre en évidence les capacités de rétention des sols, à cause du temps sec et chaud des 9 jours précédant le passage du satellite et d'une réserve hydrique inférieure à 27 mm quelle que soit la réserve maximale du sol.

Par contre, dans l'image de mars 1989 on distingue bien une bande humide le long du Rhin et une bande sèche dans la partie centrale. D'autres aires humides apparaissent à proximité des gravières, où la nappe phréatique affleure ou est proche de la surface. Etant donné les antécédents météorologiques la réserve hydrique du sol pouvait atteindre 120 mm dans les cas favorables. La comparaison de l'image avec la carte des sols montre une coïncidence intéressante de l'aire humide de la bande rhénane avec les "sols alluviaux à éléments fins calcaires". Cette coïncidence a été vérifiée sur le terrain.

Tableau 2 - Coefficient des trois premières composantes de l'ACP sur les fichiers Fessenheim

Canal	Octobre 1984			Mars 1989		
	F 1	F 2	F 3	F 1	F 2	F 3
TM 1	0,917	-0,148	-0,296	0,884	-0,263	0,257
TM 2	0,956	0,020	-0,214	0,913	-0,113	-0,324
TM 3	0,963	-0,134	-0,064	0,917	-0,312	-0,089
TM 4	0,201	0,974	-0,095	0,414	0,834	-0,345
TM 5	0,917	0,191	0,321	0,753	0,444	0,431
TM 7	0,944	-0,092	0,278	0,817	-0,071	0,522
Variance expliquée %	65	18	15	66	18,5	13



Fig. 6. Structure des trois premières composantes de l'ACP sur les fichiers Fessenheim.

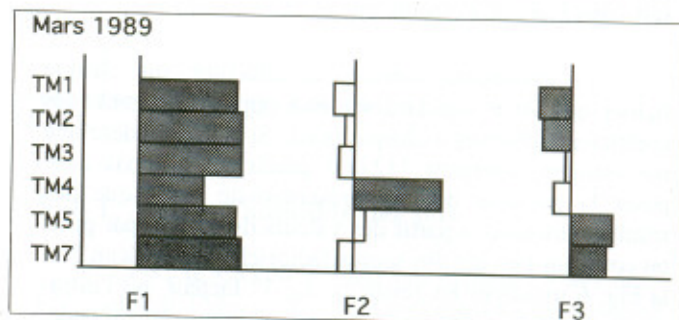
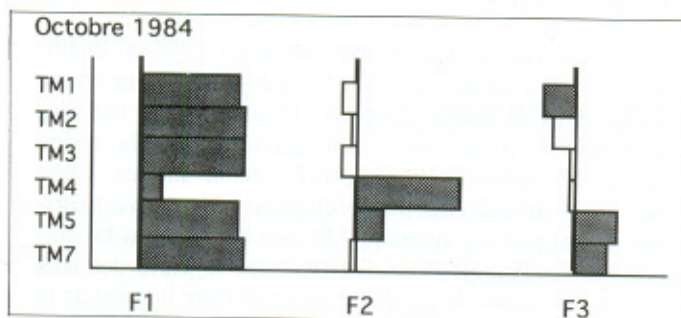


Fig. 7. Scores du facteur 'humidité'. ACP standardisée sur données Landsat TM.

Ce sont ainsi les données de mars 1989 qui différencient le mieux les conditions hydriques des sols et donc leurs capacités de rétention et de filtration. Celles d'octobre permettent, en s'ajoutant à celles de mars, de cerner les aires humides ou sèches en toute saison.

Des changements nombreux ont eu lieu dans la plaine d'Alsace entre octobre 1984 et mars 1989, comme par exemple l'ouverture de gravières. Ainsi, certaines aires "humides en mars" sont en fait de nouvelles gravières ou des élargissements de gravières existantes. Il est évident que pour un travail précis, des données acquises à des dates plus rapprochées auraient été préférables.

V-6- Le croisement de l'information

L'analyse visuelle de la Fig. 7 montre des aires d'humidité aux deux dates, donc quelle que soit la situation. Mais on ne peut par simple comparaison visuelle délimiter ces aires avec précision. L'avantage des fichiers numériques superposables est de pouvoir leur appliquer des traitements statistiques pour obtenir des relations précises.

On a donc créé un fichier couplant les deux facteurs "humidité" d'octobre 1984 et mars 1989 et procédé à des croisements par la méthode des "hyperboîtes", où chaque classe est définie par deux limites, inférieure et supérieure. Le problème majeur de cette méthode est celui de la définition des limites.

L'échelle des scores factoriels, qui va de -1 à +1, est traduite en échelle informatique de 0 à 255, le 0 se trouvant à 128. Par prudence, la limite supérieure de l'humidité a été placée à 125. On a considéré comme "sèches" les valeurs >125. Un tableau à double entrée a été établi (Tabl. n°3), comportant sur un axe les valeurs d'octobre, sur l'autre celles de mars, où figurent 7 classes.

L'humidité de mars a été prise comme référence, celle d'octobre étant trop influencée par les résidus d'irrigation dans la plaine cultivée. On n'a donc retenu pour octobre que les valeurs inférieures à 90 lorsqu'elles coïncidaient avec des valeurs < 125 en mars. Sur l'image obtenue (Fig. 8) on observe que :

- les surfaces en eau sont bien identifiées (valeurs les plus basses aux deux dates),

- les aires humides en permanence, ainsi que celles humides en mars se concentrent dans la bande rhénane et dans les aires proches des gravières,
- une large bande centrale apparaît en sec.

VI- COMPARAISON DE L'IMAGE "HUMIDITE" AVEC LA CARTE DU RISQUE DE LESSIVAGE DES NITRATES

VI-1- Les traitements

La carte du risque de lessivage est un ensemble de données cartographiées. Pour pouvoir les comparer aux résultats obtenus par télédétection, on a numérisé cette carte (Fig. 9), corrigé géométriquement les images de télédétection, créé un fichier comprenant les deux couches d'information sur lesquelles on a opéré une 'algèbre de cartes' (RIMBERT 1992).

L'inclinaison des images de télédétection par rapport à la carte topographique fait qu'une partie de l'image "humidité" s'est trouvée supprimée. Le croisement s'est donc fait sur 240 x 455 pixels, soit environ 7,2 km x 13,6 km, dimension de la carte finale.

La carte du risque de lessivage numérisée comporte 7 classes dont 6 expriment le degré de risque, la septième correspondant aux forêts, bâti et eau, l'image satellitaire de l'humidité en comporte 7, un croisement produit donc 49 classes, ce qui est excessif et ne peut être représenté graphiquement de façon lisible.

On a éliminé les classes peu fréquentes et effectué des regroupements, en tenant compte aussi du degré d'imprécision de la carte du risque elle-même et des erreurs cumulées, dus à l'ensemble des manipulations (numérisation, corrections, ajustement de couches d'information hétérogènes, etc.). 23 classes ont été retenues, qui ont été réparties en trois niveaux de risque (fort, moyen, faible) et en deux niveaux d'humidité (humide, sec). Les aires humides, à fort pouvoir de rétention, ont été considérées à risque faible et les aires sèches, filtrantes, à risque fort. Il y a là bien sûr un appauvrissement de l'information, tant de la carte que de l'image de télédétection, mais en une première analyse on cherchait à comparer des types d'information et leur fiabilité.

Tableau 3 : Croisement des scores du facteur "humidité"

Mars	0-70	71-90	91-125	126-255
Octobre				
0-90	eau	très humide aux deux dates	humide aux deux dates	sec
91-255	très humide en Mars	très humide en Mars	humide en Mars	sec

Apparaissent après croisement des aires où les évaluations concordent et des aires où elles discordent

(Tableaux 4 et 5). Le résultat final de cette opération se traduit par une carte (Fig. 10) à 8 classes :

<ul style="list-style-type: none"> - risque fort/sol filtrant = concordance - risque faible/sol humide = concordance - risque moyen/sol filtrant = ≈ concordant - eau, - forêts, - surfaces bâties. 	<ul style="list-style-type: none"> - risque fort/sol humide = discordance - risque faible/sol filtrant = discordance - risque moyen/sol humide = ≈ discordant
---	--

Tableau 4 - Croisement de la carte du risque de lessivage et de l'image des aires humides par télédétection

	Image "humidité"	Humide	Sec
Carte du risque de lessivage			
Fort		Discordance	Concordance
Moyen		Plutôt discordant	Plutôt concordant
	Faible	Concordance	Discordance

Tableau 5 - Concordance et discordances entre cartes et image de l'humidité

Carte pédologique	Carte du risque	Image de l'humidité
1. Sols alluviaux à éléments fins, profondeur variable	Risque faible	très humide
2. Sols caillouteux, profondeur variable	Risque fort	sec
3. Sols peu caillouteux, profonds	Risque faible	sec
4. Sols alluviaux à éléments fins, profondeur variable	Risque faible	sec
5. Sols alluviaux à éléments grossiers	Risque fort	très humide

VI-2- Discussion

Avant d'analyser en détail les résultats, il est bon de rappeler un certain nombre de limitations et de déficiences à l'amont.

La carte du risque de lessivage des nitrates a été mise au point à partir de cartes pédologiques élaborées par des auteurs divers et à des époques variées, elle s'est fondée sur les caractères de l'horizon de surface, ce qui est justifié du point de vue agronomique. On sait cependant que le comportement hydrique d'un sol dépend non seulement de cet horizon, mais de toute l'épaisseur du profil jusqu'à la roche du soubassement ou au toit de la nappe phréatique (par exemple : BRUCKERT & BEKARY 1992 : 7 m). En outre, comme déjà remarqué, il n'a pas été tenu compte des sols caillouteux profonds et des sols fins peu épais, sans parler de l'hétérogénéité des dépôts alluviaux, qui peuvent bien être caillouteux sur une certaine épaisseur, mais passer aux dépôts de décantation en profondeur, sans que l'on ne puisse le savoir, à moins de

sondages très rapprochés. Reste enfin la question de l'horizon cimenté en profondeur.

Dans le secteur pris en compte, cette carte montre en gros deux parties : à l'Est, entre l'ancien canal du Rhône au Rhin et le Rhin, une bande à risque faible ou limité, liée à des sols à granulométrie fine. A l'Ouest du canal une bande à risque très fort, en relation avec des sols peu profonds et à granulométrie grossière. La correspondance entre carte du risque et carte pédologique semble être l'élément dominant.

Par ailleurs, les données de télédétection souffrent d'avoir été enregistrées à plusieurs années d'intervalle, ce qui introduit des biais dus aux changements intervenus dans l'occupation du sol. D'autre part, le comportement "humidité" que les traitements mettent en évidence n'est pas relatif à la seule couche superficielle, mais à tout le profil hydrique (RIMBERT & VOGT 1989, VOGT 1992).

On peut malgré cela constater que des aires assez



Fig. 8 : Croisement des facteurs "humidité" d'octobre 1984 et mars 1989.

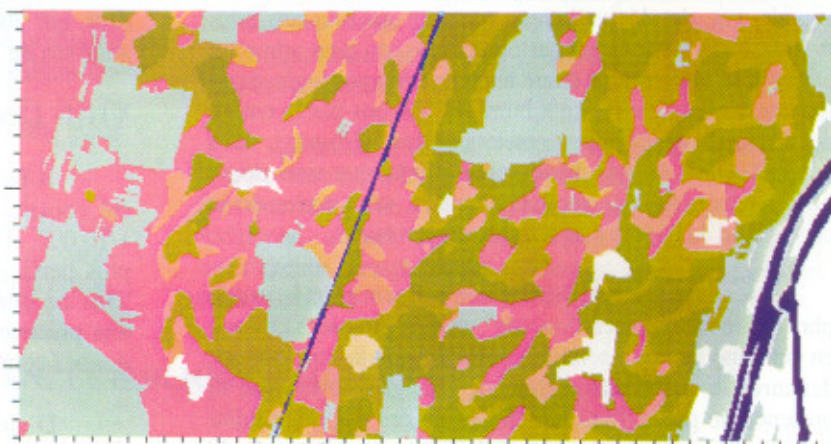


Fig. 9 : Carte du risque de lessivage des nitrates après numérisation.

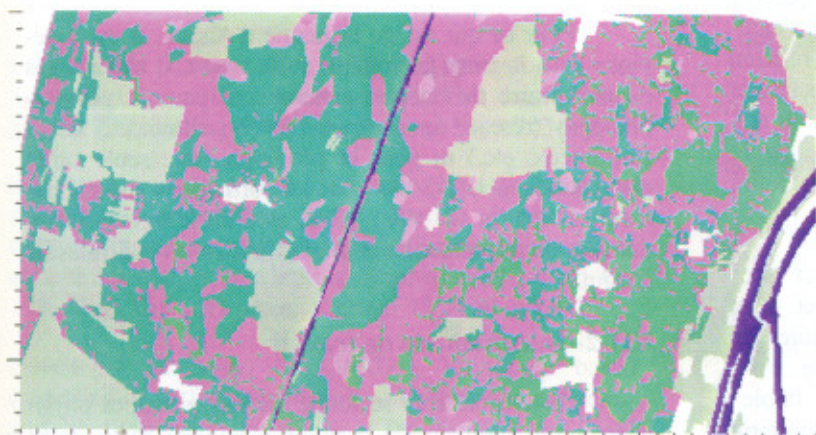
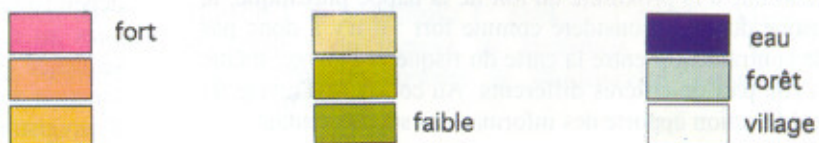
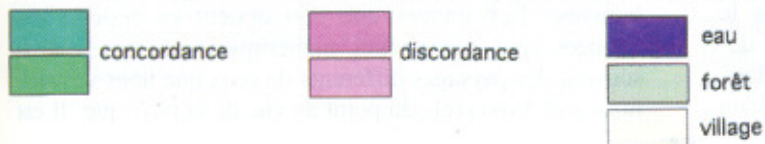


Fig. 10 : Comparaison entre le facteur "humidité" à deux dates et la carte du risque de lessivage des nitrates.



étendues de concordance apparaissent, tant pour ce qui est des risques faibles/sols humides que des risques forts/sols filtrants. Au total, ces aires représentent 53 % des surfaces cartographiées, ce qui est encourageant.

Un examen des discordances en comparant la carte pédologique, la carte des risques de lessivage et l'image de la répartition de l'humidité montre plusieurs cas (Tableau 5). Les cas 1 et 2 montrent une concordance entre les documents.

Certaines contradictions sont faciles à expliquer et font que les deux séries d'informations s'enrichissent mutuellement. Ainsi, dans la zone rhénane les aires de risque fort (cas 5) ont des formes qui suggèrent d'anciens chenaux, la carte des profondeurs du toit de la nappe phréatique montre une aire où ce toit remonte à -7 m en période de hautes eaux, même si la carte topographique ne signale pas de dénivellations, car les différences inférieures à 5 m ne sont pas cartographiées, on peut admettre qu'il y a là les vestiges d'une ancienne morphologie de lit majeur et que ces aires sont humides non pas par la nature des terrains superficiels (grossiers et donc filtrants), mais par l'influence du toit d'une nappe phréatique sans doute plus proche dans ces anciens chenaux, sans parler de la probabilité de dépôts fins à faible profondeur.

A l'Ouest, l'hypothèse d'une influence de la nappe phréatique sur l'aspect "humide" de sols grossiers et donc en principe filtrants semble confortée par la coïncidence des aires de discordance (humide/sols grossiers) avec la présence de plans d'eau (cas 5). Dans ces cas, l'humidité étant due à la proximité du toit de la nappe phréatique, le risque doit être considéré comme fort : il n'y a donc pas de contradiction entre la carte du risque et l'image, même si l'on part de critères différents. Au contraire, l'image de télédétection apporte des informations supplémentaires.

Ces cas où la contradiction n'est qu'apparente représentent 11 % de la surface cartographiée, qui s'ajoutent aux 53 % de concordances. Ceci indique une relation assez bonne entre l'information obtenue par télédétection et la cartographie classique. Une coïncidence totale aurait été, à la limite, suspecte, étant donné la différence de nature entre les deux types de données et les méthodes tout à fait autres de traitement.

Il est par contre difficile d'expliquer l'aspect "sec" de terrains fins et relativement profonds (cas 3 et 4) et considérés donc à risque faible. Même les contrôles de terrain, limités à ce qui est vrai aux horizons de surface, n'ont pas éclairci la question, l'appréciation "risque faible" semble en effet s'être fondée tantôt sur la granulométrie fine d'horizons superficiels peu épais : dans ce cas le caractère "sec" montré par la télédétection pourrait dépendre d'une forte épaisseur de matériau grossier, donc filtrant, sous une couche de sol fin, tantôt sur le fait qu'un

sol à éléments grossiers est très profond. Or, ces deux éventualités ne sont pas prises en compte par la légende de la carte des risques ni, comme déjà dit, le niveau assez généralisé et épais de ciment de nappe phréatique dans les bancs caillouteux de la terrasse wurmienne de la Hardt et dont on ne connaît pas le rôle dans la percolation.

Il ne faut pas oublier en outre que, en cette première approximation, la carte du risque a été simplifiée (réduction de 6 à 3 classes).

VII- CONCLUSION

Un apport de la télédétection à la cartographie du risque de lessivage des nitrates est donc envisageable, mais à la condition de tenir compte de certaines limitations et d'employer une méthode de travail différente de celle qui aboutit aux cartes classiques (levés de terrain, analyses de laboratoire, interpolation).

VII-1- Limitations

Il faut garder à l'esprit que la télédétection n'a pas été conçue pour les cartes à grande échelle (1/25.000, 1/10.000, etc). La résolution géométrique des satellites les plus performants de ce point de vue (SPOT et Landsat TM) ne permet guère d'aller au-delà du 1/50.000. Pour une précision plus grande, il faut utiliser les photos aériennes comme aide aux levés de terrain.

D'autre part, ces données sont très étroitement dépendantes non seulement des conditions météorologiques au moment de l'enregistrement, mais aussi de la séquence (jours ou même semaines) qui l'a précédé. En fonction du problème posé, une étude préalable des dates d'enregistrement les mieux adaptées à mettre en évidence tel ou tel phénomène est nécessaire.

Pour ce qui est de la plaine d'Alsace, il est à déplorer que, la carte géologique mise à part, il n'existe pas de couverture thématique générale, ni pour la géomorphologie (réseau de chenaux, levées alluviales, bancs caillouteux, etc.) ni pour la pédologie, une seule carte, non publiée, à 1/250.000 pour les formations superficielles (PAUTRAT et al. 1986) ! Ceci alourdit le travail sur les données de télédétection et rend difficiles les contrôles de terrain.

VII-2- Une méthode de travail

La télédétection se fonde sur des principes physiques autres que ceux de la photo, analogue de la vision humaine. Les images que l'on obtient en traitant ces données sont des images numériques qui représentent souvent des paysages différents de ceux que nous voyons, mais tout aussi réels du point de vue de la physique. Il est

donc nécessaire de bien savoir à quoi ils correspondent pour en tirer le maximum de profit.

S'agissant d'une information complémentaire à notre vision, il semble plus judicieux de l'obtenir avant de commencer les travaux de terrain. Ceci permet de sélectionner dès le départ des aires de comportements radiométriques différents et donc de nature physique différente. Ainsi, si les auteurs de la carte des risques avaient disposé des images de la répartition de l'humidité, ils auraient pu mieux cerner certaines aires où, à granulométrie égale, l'épaisseur du sol, la profondeur de la nappe ou d'anciennes morphologies interviennent pour produire des comportements autres que ne le laisseraient prévoir les seuls caractères de la couche superficielle.

Par ailleurs, le grand avantage de ces données est d'être totalement couvrantes : chaque pixel contient des valeurs de même qualité que tout autre pixel, le problème de l'interpolation ne se pose donc pas et les résultats des traitements une fois vérifiés en un nombre de points suffisant, on peut considérer qu'ils sont valables pour l'ensemble de la surface.

Si on voulait étendre à toute la région la cartographie du risque de lessivage des nitrates ou autre cartographie équivalente, la démarche à suivre la plus ration-

nelle semblerait être la suivante :

- traitement de deux séries de données satellitaires, à deux dates suffisamment rapprochées pour éviter des changements majeurs dans le milieu à étudier, mais représentatives de conditions hydriques connues
- ces traitements devraient avoir deux buts :
 - * un inventaire des types des sols du point de vue leurs caractères physiques (granulométrie, etc.) pour compléter au manque de cartes pédologiques, des formations superficielles, etc
 - * la mise en évidence des comportements hydriques de ces différents types de sols
- contrôles de terrain dans les aires mises en évidence par télédétection, pour bien comprendre la logique des informations obtenues, en particulier le rôle des paléformes dans la répartition des comportements
 - le cas échéant, étude de quelques profils sur une profondeur supérieure à celle habituelle en pédologie
 - comparaison de l'ensemble des résultats aux données hydrogéologiques.

La quantité et la diversité des données à maîtriser, la part considérable de données manquantes à produire, font que ce type de travail est pour l'essentiel un travail de recherche auquel pourraient ensuite faire appel les aménageurs, responsables administratifs, organismes techniques, etc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BRUCKERT S. & BEKKARY M. (1992) - Formation des horizons diagnostiques argiliques et de fragipan en fonction de la perméabilité des roches. *Canadian Journal of Soil Science* 72, p.69-88

Carte pédologique de la Hardt à 1/25.000. INRA, Colmar, 1961.

CRIST E.P. & CICONE C. (1984) - Application of the Tasseled Cap concept to simulated TM data. *Photogramm. Engineering & Remote Sensing*, 50, p.343-352

EHRlich D., ESTES J.E. & SCEPAN J. (1991) - Extracting agricultural information from satellite imagery for mapping purposes. *Symp Intern Cartogr Thématique dérivée des images satellitaires*, Saint-Mandé, 2/4 octobre 1990, *Bull. Comité Français Cartogr* 127-128, p. 68-74

GOMER D. & VOGT T. (1997) - Physically based modelling of surface runoff and soil erosion under semi-arid Mediterranean conditions - the example of Oued Mina, Algeria. *Workshop on Application of Physically Based Soil Erosion Models*, J.SCHMIDT ed., Springer, Berlin (à paraître)

HIRSCH J. & SCHNEIDER C. (1983) - CARTEL. Manuel d'utilisation du logiciel de traitement d'image et de cartographie de données de télédétection. Strasbourg, LCT/ULP.

JENSEN J.R. (1986) - *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, Englewood Cliff, N.J.

JAJU L. (1988) - Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing* 9, p.1895-1907

La pollution par les nitrates. (1985) - *La Recherche*, n°169, p.1108.

METTAUER H. (1969) - Les réserves hydriques des sols de la Hardt. *Bull. Ass. Française pour l'Etude du Sol*, 5, p.11-19

METTAUER H. (1969) - Etude agro-pédologique de la plaine d'Alsace. Notice explicative de la carte pédologique de la Hardt à l'échelle du 1/25.000°.

MUSICK H. & PELLETIER R. (1986) - Response of some thematic mapper band ratios to variation in soil water content. *Photogramm.Engineering & Remote Sensing* 5, p. 1661-1668

PAUTRAT C., METTAUER H. & VOGT H. (1986) - Carte des formations superficielles de l'Alsace à 1:250.000. Granulométrie, carbonatation, genèse. 2 cartes, notice 3 p. Association pour la relance agronomique en Alsace, Strasbourg

PIREN-Eau/Alsace (1987) - Carte du risque de lessivage des nitrates dans les sols. Feuille 6- Hirtzfelden-Fessenheim à 1/25.000

PIREN-Nitrates (1991) - Les nitrates dans les vallées fluviales. CNRS, Paris, 51p.

RIMBERT S. (1992) - Données pour une algèbre de cartes. Proceedings of Satellite Symposia 1 & 2: Navigation & Mobile Communications, and Image Processing, GIS & Space-assisted Mapping, from the 3international Space Year" Conference, Munich 30/3-4/4 1992, ESA, Paris, p.271-275

VOGT H. (1992) - Le relief en Alsace. Etude géomorphologique du rebord sud-occidental du fossé rhénan. Strasbourg, Oberlin, 240 p.

VOGT T. (1987) - Classification des terres limoneuses et repérage des sols humides dans l'Outre-Forêt, à l'aide de

données Landsat Thematic Mapper. *Recherches géogr. à Strasbourg*, 27: "Télédétection des milieux naturels et urbains", p.59-65

VOGT T. (1993) - Comment mettre en évidence le comportement hydrique de surface en milieu semi-aride? *Sistema Terra*, II, p. 33-34

VOGT T., GOMER D. (1992) - Estimation du ruissellement et des matières en suspension par l'utilisation d'un SIG intégrant MNT, données Landsat TM et données hydrologiques de terrain. *Bull. Société Française de Photogramm. Télédétection* 128, p. 7-17

VOGT T., GOMER D. (1993) - Determination of runoff and soil erosion under semiarid conditions using GIS to integrate Landsat TM, DEM, and hydrological field data from the Oued Mina project, Algeria. Workshop in Semi-Arid Mediterranean Areas, Taormina, Italy, 28-30 October 1993, p. 275-295

VOGT T., LENCO M. (1995) - Wetland Mapping and monitoring in the Rhine Alluvial Plain (Alsace, France). *Sistema Terra*, IV, p. 75-78

VOGT T. & VOGT H. (1991) - Utilisation de la télédétection pour la cartographie des zones humides. *Symp.Intern.Cartographie Thématique dérivée des images satellitaires*, Saint-Mandé, 2/4 octobre 1990. *Bull.Comité Français de Cartographie*, 127-128, p.146-153.

BULLETIN D'ADHÉSION ET ABONNEMENT

Afin qu'il n'y ait pas d'interruption dans le service qui vous est fait, je vous prie de remplir ce formulaire et de me le renvoyer, le plus rapidement par retour de courrier.

— Nom, Prénom, Organisme :

— Qualité et Profession :

— Adresse :

Je désire adhérer à : l'ANAFID L'ANPA L'ANAPPAV
(Cotisation : 2000 DH pour les personnes morales, 100 DH pour les personnes physiques)

Je désire souscrire un abonnement à la revue au titre de l'année
(Tarif : Maroc : 100 DH, Etranger : 300 DH, Etudiants 50 DH)

Je désire recevoir votre revue en échange de

Je joins à la présente un chèque bancaire de

Payable à l'ordre de l'ANAFID (Prière d'adresser le chèque au Secrétariat de l'ANAFID)

Je demande l'établissement d'une facture au nom de

NB : Pour les adhérents à l'une des associations citées ci-dessus l'abonnement à la revue est compris dans la cotisation.