

RECHERCHE D'UNE LIMITE DESERTIQUE PAR UTILISATION DE LA RELATION "ALBEDO-TEMPERATURE"

Sur Des Images NOAA d'Afrique du Nord

Christian PUECH et Mohamed MERDAS
Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF/ENGREF
34 MONTRELLIER

1. INTRODUCTION

Le suivi de la dynamique des limites désertiques est devenu important depuis la période de sécheresse récente en Afrique. Les moyens traditionnels au sol, ponctuels, permettent une approche quantifiée des phénomènes mais leurs résultats sont partiels, et ils n'intègrent pas toutes les composantes. D'ailleurs, les définitions de la limite du désert sont multiples. La télédétection satellitaire apporte une information spatialisée nouvelle qui, à priori, doit permettre de suivre l'évolution de ces phénomènes.

Le problème est la définition de la limite du désert à prendre en compte à travers les informations fournies par satellite, et des moyens de suivre son évolution.

Dans ce contexte, un projet entre la CEE (Communauté Economique Européenne) et le GUTLAR (Groupement des Utilisateurs de la Télédétection en Languedoc Roussillon) a été mis en place pour "Caractériser la dynamique du phénomène de désertification dans le nord du Sahara (pays du Maghreb : Algérie, Maroc, Tunisie). Etude de faisabilité". Un certain nombre d'indicateurs de sécheresse vont être utilisés et ils nous importe au préalable de connaître ceux qui sont pertinents et adaptés au contexte de l'Afrique du Nord.

C'est ce que nous avons étudié pour l'un de ces indicateurs possibles : "l'intégration albedo-température de surface".

2. LIAISON ALBEDO - TEMPERATURE DE SURFACE

2.1. Equations de Base

Cette étude théorique s'applique sur les travaux d'Imbernon au Sénégal (1981), repris ensuite dans la thèse d'Assad (1987).

L'étude des transferts d'énergie à la surface du sol conduit à s'intéresser à un certain nombre de flux :

- Flux de chaleur dans le sol Φ_c qui correspond aux échanges par conduction entre la surface et les couches inférieures et dépend de la conductivité thermique du sol.

- Flux de chaleur sensible Φ_s qui représente les échanges de chaleur convectifs entre la surface et l'air. Il dépend d'un coefficient de transfert de chaleur fonction des conditions de stabilité.

- Flux de chaleur latente Φ_l qui exprime les transferts d'énergie liés à l'évaporation ou à la condensation.

- Les modifications du bilan affectent peu la température de l'air T_a donc le terme $(h(z) + 4 * \sigma T_a^3)$ peut être supposé constant.

- Le rayonnement solaire R_g et le rayonnement atmosphérique sont peu perturbés à petite échelle.

Dans ce cas, la variation de la tempéra-

ture de surface dépend de deux facteurs, l'un radiatif $da \cdot R_g$, l'autre hydrique $d\phi$. Lorsque l'humidité de surface diminue l'albédo augmente ($da \cdot R_g > 0$) tandis que le flux d'évaporation diminue ($d\phi < 0$). Le sens de variation de T_s dépendra donc du poids relatif de ces deux termes. Or celui-ci est fonction du degré de sécheresse :

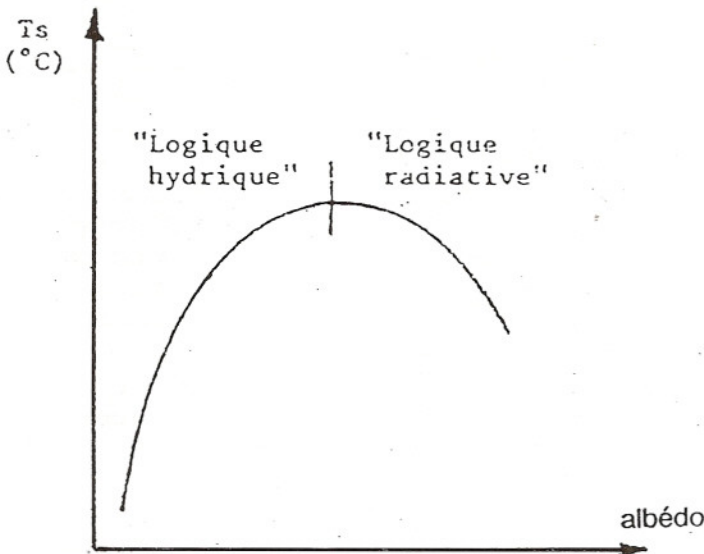
* En alimentation en eau normale une baisse de l'humidité conduit à une augmentation de l'albédo ($da \cdot R_g > 0$) et une diminution du flux de chaleur latente (flux d'évaporation $d\phi < 0$). La valeur numérique de ce dernier l'emporte et ainsi T_s augmente

$\Rightarrow da$ et dT_s ont même signe. Le comportement est **HYDRIQUE**

* En alimentation en eau limite, le flux de chaleur latente ne peut varier que très peu. Alors $d\phi$ devient petit devant $da \cdot R_g$ et il s'en suit que

$\Rightarrow da$ et dT_s ont des signes opposés. Le comportement est **RADIATIF**

* Ces résultats sont résumés dans la figure 1 ci-après :



2.2. Résultats expérimentaux

Expérimentalement, les résultats conduisent à un comportement différencié suivant les zones :

- Charney (1975) indique que l'albédo varie de façon inverse à T_s (étude faite avec alimentation hydrique correcte).

- Par ailleurs Jackson et Idso (1975),

puis (1976) montrent que T_s augmente avec l'albédo en cas de réduction d'alimentation hydrique.

- Plus récemment Wendler et Eaton (1983) ont observé en Tunisie (Chott el Djérid) une variation de même signe en zone couvertes de végétation même complètement desséchées, et une évolution inverse en zones dénudées.

Malgré l'opposition apparente des premiers résultats, une cohérence complète se fait jour, qui va de plus totalement dans le sens indiqué par l'approche théorique.

2.3. Synthèse

Les hypothèses amenant à l'approche théorique ci-dessus confirmées par des observations expérimentales conformes. L'étude de l'évolution conjointe des deux facteurs a et T_s peut donc renseigner sur les zones alimentées correctement en eau et celles où l'alimentation est limitée. Si l'on peut détecter les zones correspondant à chaque logique, on définira ainsi la limite des zones à alimentation en eau déficiente. Si l'on se fie aux résultats expérimentaux de Wendler on peut même espérer séparer complètement les zones végétales des zones totalement dénudées, ce qui est bien une des définitions possibles du désert.

3. UTILISATION DE LA TELE-DETECTION

3.1. Détermination de l'Albédo et de la Température de Surface à partir des Images NOAA

a) L'albédo a

La détermination exacte de l'albédo met en cause tout le spectre de rayonnement et en toute rigueur elle n'est pas possible à partir des canaux satellitaires qui ne permettent de connaître qu'une partie de ce spectre. Toutefois, d'après Vukovich et al (1987), pour le satellite NOAA, une approximation suffisante est obtenue à partir des canaux 1 (visible) et 2 (proche infra rouge) qui représentent de 85 à 95% du rayonnement solaire atteignant la surface de la terre.

$$\text{albedo } a = (1/2\phi_1 + 1/2\phi_2) / (\cos(\tau) \cdot E(R)) \quad (V)$$

où

$\emptyset 1$ = réflectance dans le visible
 $\emptyset 2$ = réflectance dans le proche infra-rouge
 τ = angle zénithal solaire
 $E(R)$ = constante solaire de la distance terre soleil

b) La température de surface TS

Les canaux thermiques du satellite NOAA (canal 4 de 10.5 nm à 11.3 nm et canal 5 de 11.3 nm à 12.5 nm) permettent d'estimer chacun la température de surface sur la superficie du pixel NOAA (1 km² au nadir).

Le passage de compte numérique CN en radiance Rad s'effectue au moyen de coefficient de calibration α et β , donnés en tête de bande magnétique pour chaque canal : $Rad = \alpha * CN + \beta$. Le passage de radiance en température du corps noir équivalent T s'effectue en inversant la loi de Planck.

$$T = C2 * nu / \text{Log} (1 + (C1/Rad) * nu^3) \quad (VI)$$

où

nu = nombre d'onde moyen du filtre du canal considéré

C1 et C2 sont des constantes

On obtient à partir de chacun des comptes numériques des canaux 4 et 5 une température, ou plutôt un indice de température de surface soit T4 et T5. La solution habituellement utilisée pour s'approcher de la vraie valeur de température de surface est de prendre une combinaison de T4 et T5 qui permet en quelque sorte de s'affranchir des effets de l'atmosphère. La combinaison linéaire dite "Split window" est la plus employée bien que théoriquement utilisable uniquement sur la mer. Elle est de la forme :

$$TS = \alpha * T4 + \beta T5 + \tau \quad (VII)$$

Tout ceci conduit à une température au sol estimée à environ 2°C près en valeur absolue. Toutefois, ce ne sont pas les valeurs absolues de α et T_s qui nous intéressent mais les variations relatives d'un pixel à l'autre, et celles-ci sont bien décrites par l'évolution des comptes numériques de l'image. Ainsi, une étude fine des tendances d'évolution de α et T_s est possible à la taille du pixel.

3.2. Peut-on appliquer les formules théoriques précédentes avec les informations de la télé-détection

Le problème complémentaire, et non des moindres, pour pouvoir utiliser les informations fournies par les images de télé-détection est de savoir si l'on peut raisonnablement appliquer à des pixels de taille importante des formulations théoriques qui ont été établies ponctuellement, qui ont été vérifiées en des points précis, voire en des zones de très faible étendue (mesures locales).

L'utilisation effective de ces formules ne peut se faire que moyennant un certain nombre d'hypothèses pas toujours bien explicitées qu'il est intéressant de préciser ici.

a) Validité du calcul des paramètres de base

Nous avons déjà indiqué plus haut la méthodologie de calcul de l'albédo et de la température de surface à partir des images NOAA et les approximations que cela supposait.

b) Extension d'une théorie ponctuelle à la surface du pixel, mélange d'entités diverses

Pour les images du satellite NOAA par exemple, le pixel, qui fait environ 1 km² au nadir, renferme des entités excessivement différentes : routes ou chemins, champs ou sols nus, forêts ou arbres isolés, villages ou fermes, cours d'eau, lacs, zones d'orientations et de pentes différentes ... A l'intérieur du même pixel ces différentes entités se retrouvent alternativement et l'on peut se demander quelle signification d'homogénéité peut être obtenue sur ce pixel.

En toute rigueur, l'application brutale des formulations théoriques définies au niveau ponctuel est abusive, car l'on peut dire que la moyenne de divers paramètres suit une loi validée pour des valeurs ponctuelles. Et ici ce phénomène est accru par la grande taille du pixel et le mélange important d'entités qui le compose.

Ce problème, général pour la prise en compte d'une homogénéité sur une surface

quelle que soit son échelle, est difficile à résoudre théoriquement. Par contre on pourra toujours formuler de telles hypothèses et les considérer comme acceptables pour autant que les résultats qu'elles induisent soient en conformité avec les observations de terrain.

L'utilisation d'images de télédétection suppose donc que ce passage d'échelle est acceptable. Et cette hypothèse ne le deviendra que si les résultats obtenus à cette échelle montrent une grande cohérence soient en conformité avec les observations ponctuelles.

c) Comparaison spatiale de valeurs par utilisation de théories établies par des variations temporelles en un même lieu

L'utilisation de la télédétection présentée ici consiste à cartographier l'albédo, la température de surface et leurs variations respectives pour estimer les positions des régions soumises à une logique hydrique ou radiative.

Les variations de a et T_s que l'on veut étudier sont celles des pixels voisins : si l'on veut se servir de ces variations pour les inclure dans les formules précédentes, ceci suppose implicitement que "toutes choses sont égales par ailleurs", c'est à dire en particulier que la composition des pixels à comparer est totalement semblable. On sait bien que ceci n'est pas vrai sauf pour des régions très homogènes (cas par exemples des hauts plateaux d'alfa du Maroc et de l'Algérie).

Dans les zones à variation rapide du contenu des pixels cette hypothèse devient très difficile à accepter. On en déduit que les limites que l'on va définir entre les logiques hydrique et radiative seront à utiliser avec précaution dès que le paysage n'est plus homogène.

3.3. Résultats Disponibles sur d'Autres Zones

La télédétection satellitaire a déjà été utilisée par Assad (1987), qui reprenant la méthodologie proposée par Imbernon (1981), a étudié ce phénomène dans la zone Sahélienne allant du Sénégal à la Mauritanie par

utilisation d'images du satellite METEOSAT (résolution 5 km). L'étude, basée sur des transects Nord-Sud, a mis en évidence un basculement entre les deux logiques.

Elle a été effectuée sur une zone à variation progressive de l'état de végétation et les résultats assez probants semblent montrer que ce type d'outil est capable de répondre à l'objectif de détermination d'une limite du désert.

Les principaux résultats montrent un gradient sud-nord de l'albédo (de 20 à 41) en saison sèche correspondant à la répartition des couvertures végétales (forêts denses de Casamance à la zone désertique). Cet albédo diminue légèrement lors de la saison des pluies (gradient de 17 à 37).

Le gradient de température de surface est, lui, plus variable dans le temps : il change en position et orientation d'une saison à l'autre.

La comparaison de ces gradients a abouti à une conclusion conforme aux résultats précédemment établis par mesures au sol : logique radiative en zone désertique dépourvue de végétation : logique hydrique si la végétation prédomine.

Cette conformité des résultats avec les observations conforte la possibilité d'utilisation ultérieure des images de télédétection pour cette approche, et répond en partie aux interrogations posées en 3.2.3.

Les calculs du type de logique ont été faits sur des ensembles de 4 pixels contigus couvrant donc 100 km². Assad conclue en proposant l'utilisation de cette méthodologie avec des images du satellite NOAA (résolution 5 fois plus précise) pour améliorer la précision d'estimation des paramètres et pour pouvoir travailler sur des ensembles plus homogènes.

Nous avons essayé de reprendre la technique d'Imbernon et Assad, en tenant de l'appliquer à différentes zones d'Afrique du Nord afin de vérifier si les résultats de la bordure sud du Sahara pouvaient être retrouvés au nord, et utilisés par la suite pour aider à la caractérisation de la désertification.

3.4. Application à l'Afrique du Nord

a). Zone d'étude

Ayant à notre disposition une série d'images NOAA sur une année (Mai 1985 à Février 1986), il nous a semblé plus intéressant de porter notre attention sur des zones susceptibles de présenter des variations de couverture végétale saisonnières.

Ont donc été éliminées à priori les zones franchement désertiques pour lesquelles il semblait évident à priori que le reg ou les dunes seraient toute l'année en logique radiative, la logique hydrique n'étant obtenue que sur les quelques pixels des palmeraies et ceci de façon stable au cours de l'année : l'intérêt de cette mise en évidence pourrait par contre y être utile dans une comparaison interannuelle.

Pour des raisons pratiques nous n'avons pu retenir que 2 zones et avons choisi celles-ci au nord de l'Atlas :

- La zone allant de Casablanca à Marrakech (Maroc) : 200 km de terres plus ou moins agricoles et subissant des passages marqués de forte végétation -Mars, Avril- à des sols nus et surchauffés -Mai, Juin, Juillet-. On pense à priori qu'au cours de la saison on va détecter par image satellite le passage de la logique hydraulique à la logique radiative.

- La zone allant d'Oran à Méchéria (Algérie), prenant en écharpe les hauts plateaux et leur couverture d'alfa monotone, elle aussi sensible à des variations saisonnières.

b) Images NOAA Utilisées

Date	Maroc	Algérie
8 . 5 . 85	x	x
3 . 7 . 85	-	x
11 . 8 . 85	x	-
11 . 1 . 86	x	x
24 . 2 . 86	x	x

c) Méthodologie

La méthodologie retenue part de l'exploitation de l'histogramme bidimensionnel entre albédo et température de surface.

Contrairement à Assad qui avait exploité celui-ci sur un transect, nous l'avons établi sur des parties d'images en prenant systématiquement tous les pixels. Les nuages de points sont fournis et donc plus faciles à analyser, mais on doit vérifier qu'ils ne correspondent pas à des domaines géographiques trop disparates.

Dans un graphique albédo-Ts sont donc reportés systématiquement tous les points de la zone étudiée et sur ces nuages sont tracés des courbes d'iso-densité, d'où l'on déduit le tracé de la médiane des points.

Ceci nous sert à définir les régions où la tendance est plutôt hydrique et celle où elle est radiative. Alors 3 domaines sont définis : le sommet de la courbe (domaine intermédiaire), et les deux domaines adjacents (domaines hydrique et radiatif).

Un algorithme de classification nous permet de retrouver sur l'image les domaines d'appartenance, avec bien sûr quelques pixels rejetés : ceux appartenant à la limite entre deux domaines (ce qui explique des pixels blancs à chaque changement de logique) ou ceux vraiment très différents (zone montagneuse par exemple).

d) Résultats

Les résultats sont indiqués sur les figures 2 à 5.

Sur les histogrammes bidimensionnels sont reportées trois éléments :

- . nuages de points à densité faible (> 1% des points de l'image)
- . nuages de points à densité forte (> 2%)
- . Médiane

Cette dernière présente dans beaucoup de cas l'allure en cloche caractéristique du changement de logique.

* Au Maroc

L'étude des histogrammes bidimensionnels (figure 2) montre :

A la mi Janvier, on est encore en plein hiver et la réponse du sol n'est pas aussi évidente : le ressèment des températures et de l'albédo rend délicat la détermination d'une quelconque logique. Sur l'image de fin Février les choses sont plus simples : on observe effectivement sur toute l'image une logique hydrique, ce qui correspond sur le terrain au démarrage rapide de la végétation spontanée.

Au mois de Mai, les choses sont plus nuancées et la séparation des deux logiques devient évidente. La partie hydrique ayant une densité de points plus élevée que la radiative : celle-ci correspond donc à un territoire restreint.

En Août, les choses ont peu changé dans leur aspect général. L'albédo n'a guère varié mais les températures sont plus fortes.

Date	Albédo	Ts	Logique
08 . 5 . 85	10-25	30-38	Hydrique et radiatif
11 . 8 . 85	10-25	39-47	Hydrique et radiatif
18 . 1 . 85	7 - 14	18-25	Confus
24 . 2 . 86	8 - 20	25-34	Hydrique

Nous avons reporté figure 4 la cartographie de l'image du 8 . 5 . 85 :

On y décèle beaucoup d'éléments tout à fait conformes à ce que l'on peut voir du paysage à cette période :

* Zone cotière jusqu'à Settat et Youssoufia (CHAOUIA et DOUKALA) en pleine végétation.

* Palmeraie de Marrakech et vallées de l'Atlas au sud de Marakech (vallée d'Asni notamment) en végétation.

* Zones surchauffées : plaine de Benguerir et zone autour de Marrakech, hors palmeraie.

* Zone d'aspect plus désertique : plaine de Chichaoua essentiellement et à un moindre degré El Kelâa des Srahna.

* Les zones d'altitude (Atlas) échappent au classement du fait de leur température plus basse marquée par le relief.

On peut noter la grande disparité de paysage de la zone étudiée au Maroc : l'évolution de la végétation n'y est pas régulière entre la cote et Marakech, mais on observe plutôt une série de petite zones à comportement différents.

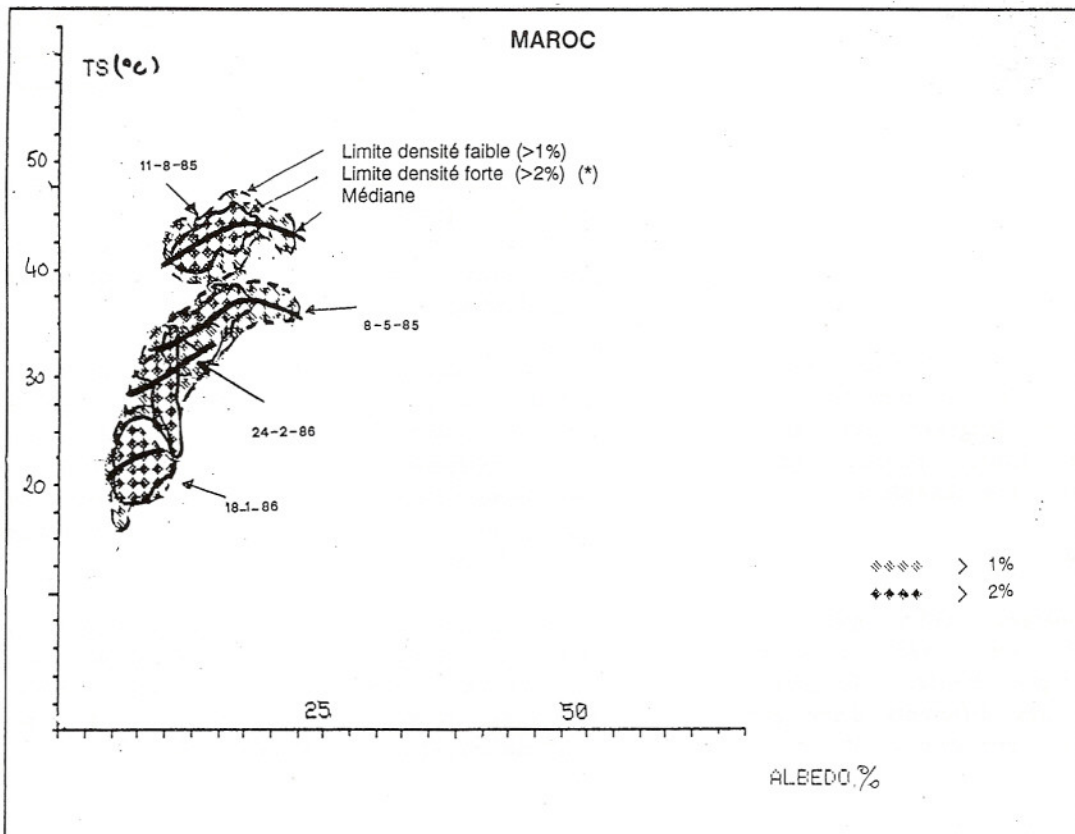
Ceci confirme la difficulté d'approche de la compréhension de ce paysage par un petit nombre de transects (même bien choisis).

* En Algérie (Figures 3 et 5)

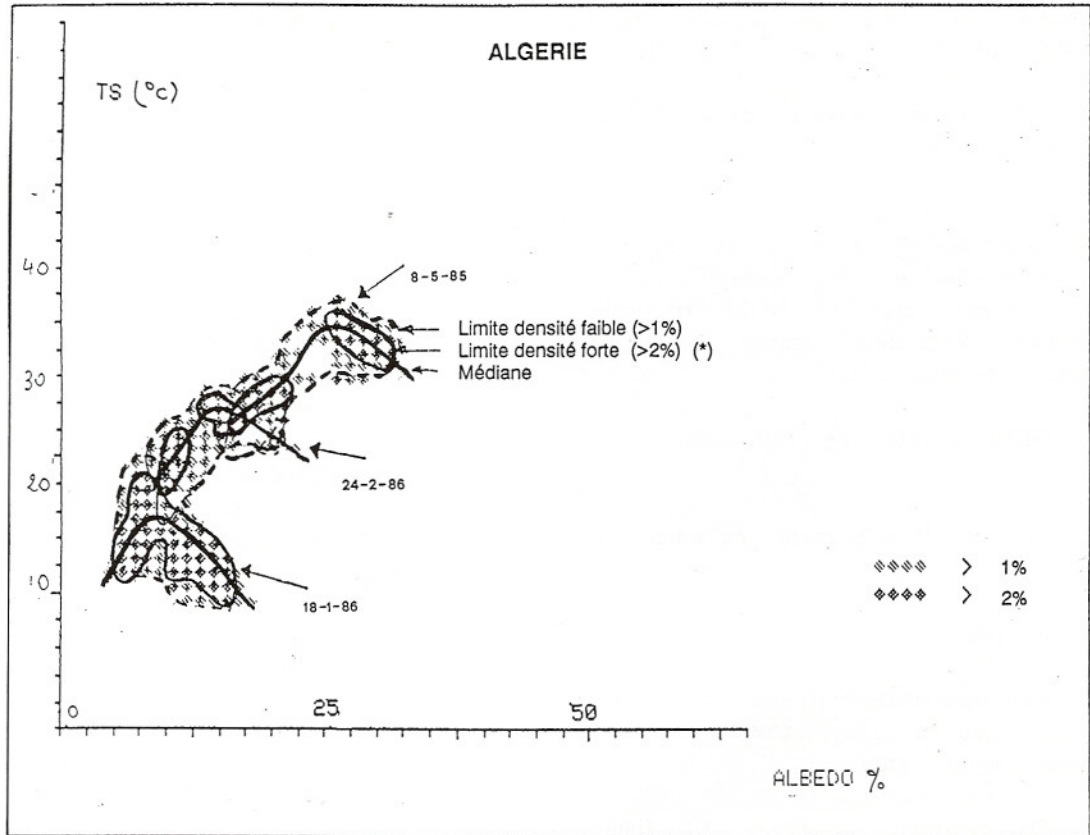
On retrouve un peu le même schéma, à quelques nuances locales près. Les histogrammes de la figure 3 montrent tous trois à peu près le même aspect : courbe de la médiane en chapeau assez prononcé, comportant chacun deux zones de grande densité à chaque bout du nuage de points : les 2 logiques sont plus nettement tranchées, au détriment de la zone intermédiaire moins développée.

Malgré cela on remarque dans les histogrammes un nuage radiatif plus dense en Janvier (peu de végétation), et, au contraire un nuage surtout hydrique fin Février (démarrage de la végétation). En Mai un équilibre entre les deux tendances.

Date	Albédo	Ts	Logique
8 . 5 . 85	20 - 35	23 - 37	Hydrique et radiatif
3 . 7 . 85			Non traitée : nuages
18 . 1 . 86	7 - 18	10 - 20	Surtout radiatif
24 . 2 . 86	10 - 22	18 - 29	Surtout hydrique



(*) Chaque point de l'histogramme représente au moins 2% des pixels présents dans l'image



(*) Chaque point de l'histogramme représente au moins 2% des pixels présents dans l'image

La cartographie de l'image du 8 . 5 . 85 (Figure 5) présente une évolution très régulière du sud au nord :

* Logique radiative au sud du Chott ech Chergui

* Zone intermédiaire (maximum de température) entre le Chott et les contreforts de l'Atlas Tellien

* Logique fortement hydrique sur toute la plaine cotière, excepté un petit îlot de fortes températures vers Maghnia qui annonce la plaine d'Oujda toute proche (dénommé d'ailleurs "désert des Angads").

* Remarque

On peut remarquer enfin que les 2 ensembles de pixels sont assez disparates entre les deux images traitées. Température et albédo sont très différents d'une zone à l'autre même pour une date : il sera donc très difficile de traiter de grandes zones en un seul calcul sous peine d'obtenir des résultats abhorrés ou tout au moins incorrects. Ceci est d'ailleurs mis en évidence sur l'image du Maroc où les parties montagneuses échappent complètement à cette analyse du fait des variations rapides de la température à cause de l'altitude.

3.5. Comparaison avec l'Indice de Végétation

En parallèle avec ce calcul de comparaison albédo-Ts, nous avons calculé l'indice de végétation sur les images test. Le calcul effectué est celui du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dont la formulation théorique est :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R})$$

où

PIR est la réflectance du canal proche infra rouge

R celle du canal rouge

Cet indicateur renseigne sur la biomasse et peut donc à priori être d'une grande utilité pour notre problème.

On remarque cependant (Cf figures 6 et 7) une différence essentielle entre les informations provenant des deux techniques :

- Le NDVI présente une grande dynamique d'image dans les régions à forte valeur de biomasse et montre moins de variations dans les régions plus sèches.

- Les résultats de l'albédo-Ts au contraire semblent présenter une dynamique relativement plus étalée dans les zones à végétation plus pauvre qui apparaissent mieux différenciées.

Par ailleurs, certains thèmes ressortent mal avec le seul indice de végétation : c'est le cas par exemple de la palmeraie de Marrakech et son extension le long de l'Oued Tensift qui est classée d'une part en logique hydrique et correspond par ailleurs à un très faible indice de végétation.

Ainsi, ces deux approches de la végétation, possibles à partir de la même image du satellite NOAA, apparaissent-elles comme complémentaires, renseignant chacune pour des degrés de végétation différents.

4. CONCLUSION

Cet essai d'utilisation de l'interaction albédo-température de surface sur l'Afrique du Nord a été effectué sur quelques images du satellite NOAA en Mai 1985 et Février 1986.

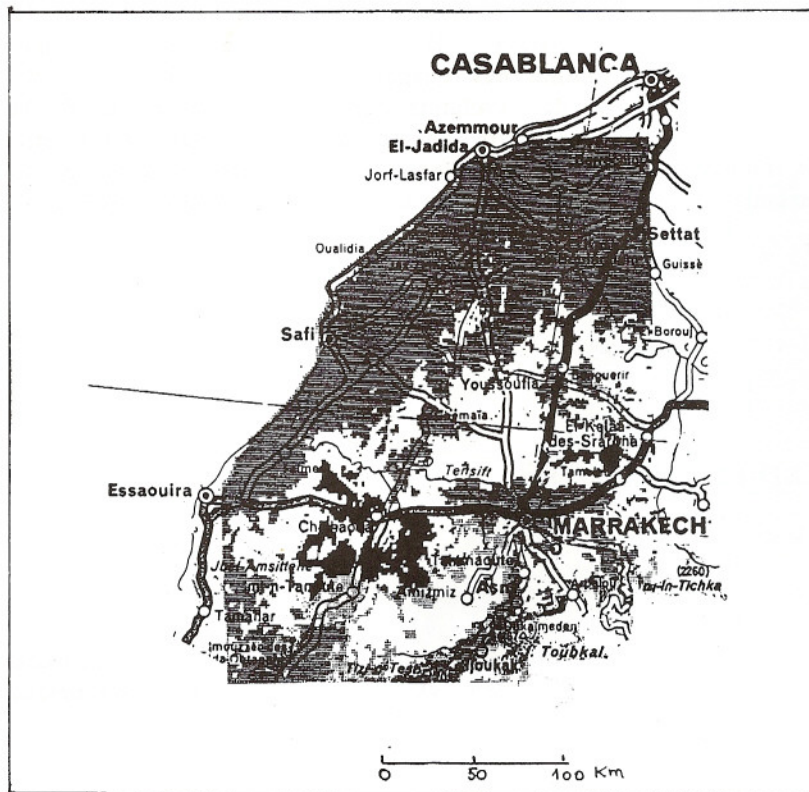
La première conclusion est que la cohérence des résultats observés tant avec les observations locales qu'avec les conclusions théoriques montre qu'une telle utilisation des images de télédétection semble totalement légitime.





Notre étude, du fait de la disponibilité des images NOAA, s'est focalisée sur la caractérisation de l'évolution saisonnière. Pour cela les zones test ont été volontairement choisies parmi des régions à évolution rapide du couvert végétal au cours de la saison : les contrées nettement sahariennes ont été délaissées au profit de zones plus tempérées (au Maroc et en Algérie).

L'analyse détaillée des résultats sur les deux zones test montre une grande conformité avec l'évolution des comportements de la végétation que l'on peut observer au sol. Ceci confirme la possibilité pour cet opérateur mathématique de révéler correctement les zones subissant une contrainte importante vis à vis de l'eau.

MAROC . ZONE HAOUZ - CHAOUIA - DOUKKALA

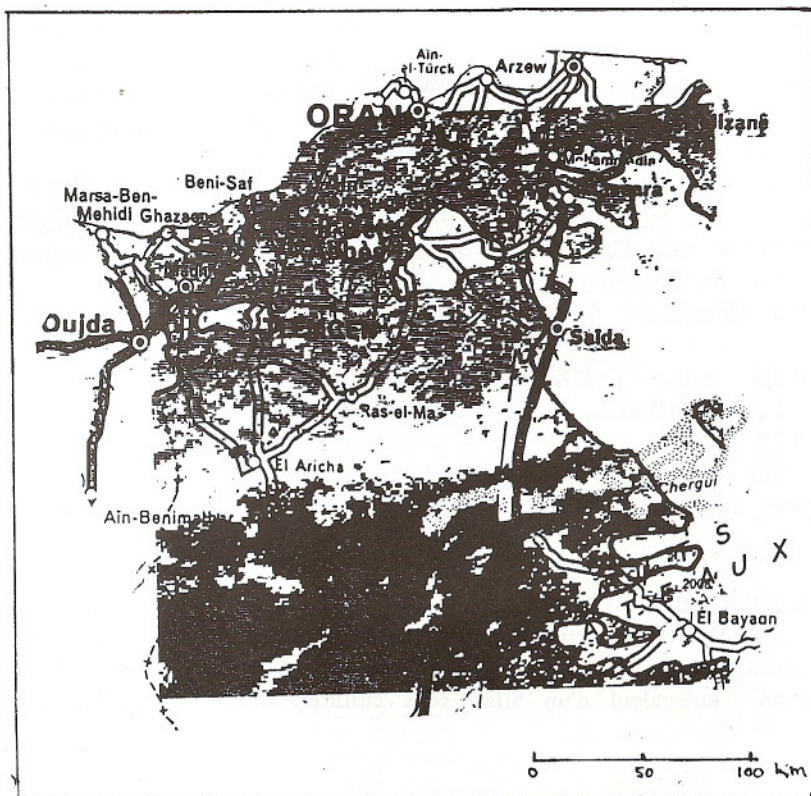
MISE EN EVIDENCE DES LOGIQUES HYDRIQUE ET RADIATIVE
IMAGE NOAA DU 08.05.85







-  Hydrique (albédo et Ts faibles)
-  Intermédiaire (Maxima de températures)
-  Radiatif (Maxima d'albédo)
-  Basses températures (Atlas)

ALGERIE - ZONE DES HAUTS PLATEAUX

MISE EN EVIDENCE DES LOGIQUES HYDRIQUE ET RADIATIVE
IMAGE NOAA DU 08.05.85



-  Hydrique (albédo et Ts faibles)
-  Intermédiaire (Maxima de températures)
-  Radiatif (Maxima d'albédo)
-  Nuages

L'évolution saisonnière de la végétation peut être suivie très valablement et la cartographie associée renseigne très précisément sur l'étendue des zones concernées.

On peut penser également que cette même méthodologie pourrait être appliquée avec succès à des comparaisons entre années successives. Et c'est là que réside l'intérêt principal de la méthode car la connaissance de

l'évolution interannuelle est plus préoccupante pour les zones plus nettement sahariennes : L'étude année par année devrait permettre d'y observer l'évolution lente de la végétation - la seule limitation étant la disponibilité des images et leur résolution-. Le suivi de l'évolution conjointe de l'albédo et de la température de surface se révélant ainsi être un outil efficace pour la détermination et le suivi dans le temps d'UNE limite désertique.

BIBLIOGRAPHIE

ASSAD E 1987

Utilisation des satellites météorologiques pour le suivi agroclimatique des cultures en zone sahélienne : cas du Sénégal. Thèse de docteur. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier. 256 p.

CHARNEY J.G., 1975

Dynamics of deserts and drought in the sahel. Quart. J. Royal of meteo Soc N° 101, pp. 193-202.

CHARNEY J.G., QUIRKW.J., CHOW S. 1977

Comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions.

ENDLER G., EATON F. 1983

On the desertification of the sahel zone. Clim. Change N° 5. pp 365-380.

IDSO S.B., JACKSON R.D., REGINATO R., KIMBALL B.A., NAKAYAMA F.S. 1975

The dependence of bare soil albedo on soil water content, J. Appl. Meteo N° 14 pp 109-113.

IMBERNON J. 1981

Variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol du Sénégal. Application au calcul d'un bilan sous culture. Thèse

de docteur-ingénieur. Université Scientifique et Médicale et Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble 152 p.

JACKSON R.D., IDSO S.B., 1975

Surface albedo and desertification. Science N° 189. pp 1012-1013.

LAGOUARDE J.P. Janvier 1987

L'infra rouge thermique : in "Bases physiques et moyens disponibles". Actes de la semaine de Monétier les Bains. INRA. Projet Télédétection.

RIPPLEY E.A., 1976

Drought in the sahara : insufficient biogeophysical feedback. Science 191-100.

SEGUIN B. 1979

Application de la télédétection dans l'infra rouge thermique à la détermination de l'évaporation et de l'humidité du sol. Etude DGRST, Station de bioclimatologie de l'INRA AVIGNON p.10.

VIDAL A. 1989

Atmospheric and emissivity correction of land surface temperature measured from satellite data.

INDICES DE VEGETATION
IMAGE NOAA 8585

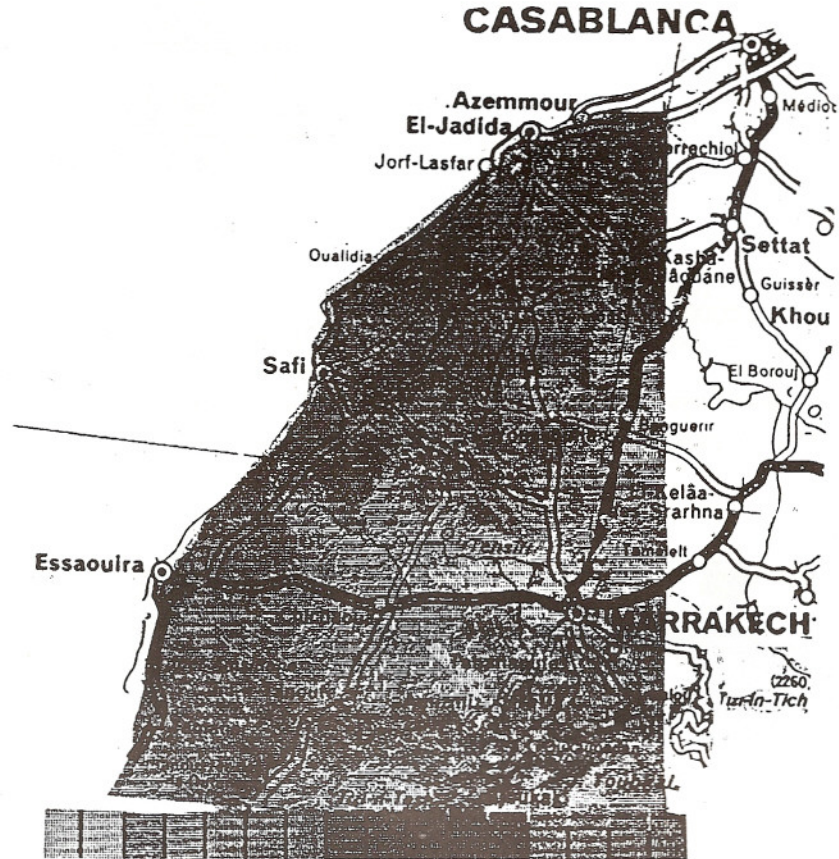


Figure 6

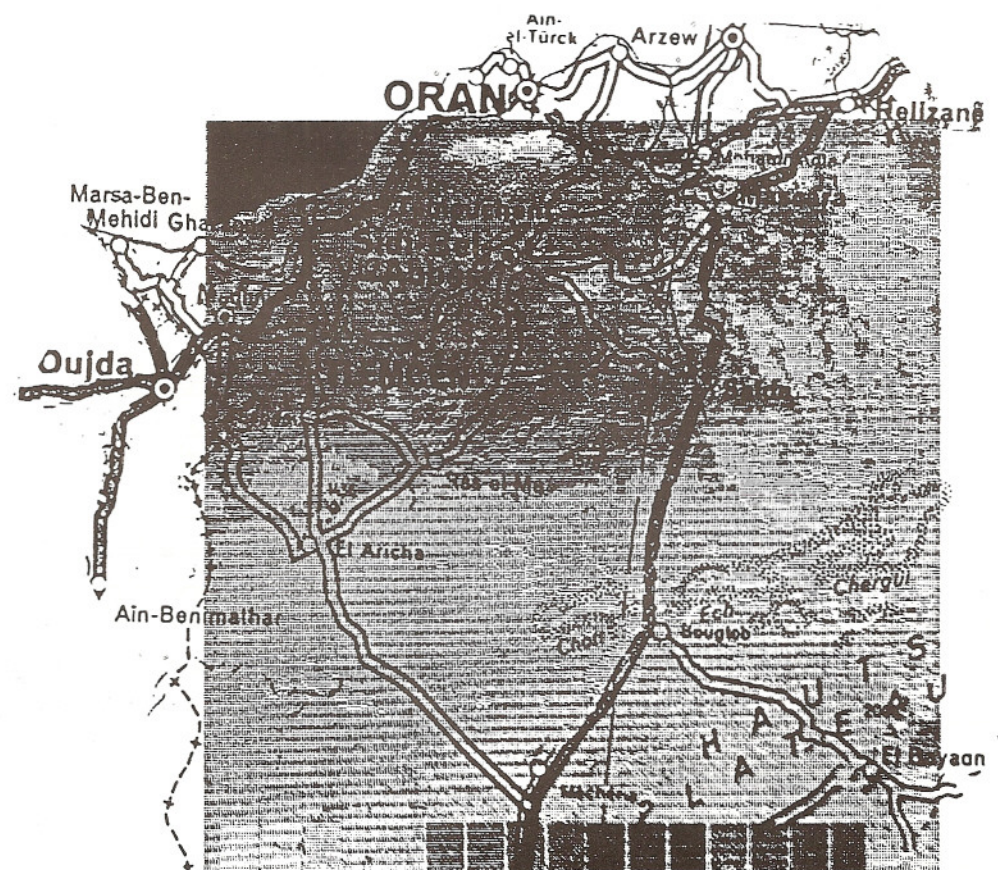


Figure 7

UTILISATION DES LYSIMETRES POUR LA DETERMINATION DES PARAMETRES LIES A L'IRRIGATION ET AUX BESOINS EN EAU DE LA CANNE A SUCRE DANS LE PERIMETRE IRRIGUE DU GHARB (*)

PAR M. MOHAMED HDIDOU
INGENIEUR G.R.
A L'O.R.M.V.A.G.

SOMMAIRE

I/ INTRODUCTION

II/ OBJECTIFS

III/ PRESENTATION DU CT ET DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE

1. *Caractérisation du milieu*
2. *Présentation de la parcelle expérimentale*

IV/ CONDUITE DE LA CULTURE

V/ MATERIEL UTILISE ET METHODE SUIVIE

1. *Matériel*
2. *Méthode*
 - a) mesure de l'ETM
 - b) détermination du coefficient culturel "KC"
 - c) conduite des essais de réduction

VI/ RESULTATS

1. *Besoin en eau*
 - a) ETM
 - b) modélisation de l'ETM
 - c) calage de certaines formules d'évaluation de l'ETP
2. *Coefficient culturel*
3. *Evapotranspiration optimale*
4. *Production de la CAS*
 - a) fonction de production de l'eau
 - b) coefficient de réponse aux rendements

VII/ CONCLUSIONS

I/ INTRODUCTION

L'importance du programme de culture de la Canne à Sucre au Maroc, et plus particulièrement dans la région du Gharb, est considérable. En effet, au terme de l'aménagement de la plaine, il est prévu que cette culture occupe 60.000 environ.

Parmi les facteurs de production, l'eau demeure l'élément le plus déterminant. Cependant, il est relativement mal maîtrisé. En effet, ni la quantité d'eau à apporter, ni le moment propice et le mode de cet apport ne sont maîtrisés.

Par ailleurs, le manque d'expérimentation

en matière des besoins en eau de la Canne à Sucre d'une part, et le problème qu'engendre toute application aveugle des méthodes d'évaluation des besoins en eau élaborées ailleurs d'autre part, sont les principales raisons qui demeurent à l'origine de l'installation des essais à l'échelle régionale.

C'est dans ce contexte que, la méthode lysimétrique a été utilisée dans le domaine de la Canne à Sucre (CAS), pour déterminer les différents paramètres liés à l'irrigation et aux besoins en eau de cette culture dans le périmètre du Gharb au Centre Technique de la Canne à Sucre (CT CAS). Il faut penser que c'est la première fois que cette méthode a été utilisée sur CAS au Maroc.

(*) Mémoire de 3ème cycle de l'IAV Hassan II, sous la direction du Dr. Mohamed BAZZA

II/ OBJECTIFS

Les objectifs de cet essai ont été fixés comme suit :

1. détermination de l'évapotranspiration maximale (ETM),
2. modélisation mathématique de l'ETM,
3. détermination du coefficient culturel "Kc" le long des différents stades végétatifs de la culture,
4. calage de certaines formules d'évaluation de l'ETP,
5. évaluation de la dose d'irrigation correspondant au régime économique de l'utilisation de l'eau,
6. élaboration de la fonction de production de l'eau,
7. détermination du coefficient de réponse du rendement "Ky".

III/ PRESENTATION DU CT CAS ET DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE

1. Caractérisation du milieu

L'essai est installé dans le périmètre du Gharb au CT CAS, situé à proximité de la RP 2 à 53 km au Nord Est de Kénitra.

Le climat de la région est du type semi-aride, avec des températures minimales moyennes de 5 à 6°C et des maxima moyens de 27 à 30°C. Les gelées sont considérées pratiquement nulles sous abri. La moyenne annuelle des précipitations se situe entre 500 et 600 mm, avec une variabilité interannuelle remarquable.

L'humidité relative moyenne ne descend jamais au dessous de 40% avec un maximum de 100% et un minimum de 25% environ.

Dans cette zone, les vents sont généralement modérés à faibles, ils demeurent souvent inférieurs à 5 m/s (moyenne journalière).

Pour ce qui est de la nature des sols, deux classes constituent les sols du CTCAS; à savoir, les vertisols (Tirs) et les sols peu évolués (Dehs). en général, ce sont des sols caractérisés par des teneurs élevées en argile et lim-

on, des conductivités hydrauliques faibles et un tassement en profondeur;

2. Présentation de la parcelle expérimentale

La parcelle objet du présent essai se situe dans la sole A du bloc 22. Elle fait une superficie de 1,5 ha, divisée en deux parties :

- Une partie de 0,5 ha, contenant les 4 cuves lysimétriques avec leurs anneaux de garde de dimensions 37,5 x 35 m.
- Une partie de 1 ha, subdivisée en 6 parcelles égales de 75 x 19 m, destinées à recevoir les essais de réduction.

La totalité de la parcelle présente une certaine homogénéité sur le plan agro-pédologique. Ceci élimine toute différence dans le rendement liée à la nature du sol.

IV/ CONDUITE DE LA CULTURE

L'essai a été mené sur une canne vierge, de variété CP 65 357. La plantation a été effectuée en Octobre 1987, avec un espacement de 1,5 m et une densité de plantation de 12 Oeilletons par mètre environ.

En ce qui concerne l'entretien de la culture, une série d'opérations a été menée, à savoir :

- un desherbage chimique et manuel,
- un buttage,
- les apports d'engrais,
- une replantation pour remplacer les boutures manquantes.

La parcelle expérimentale a été occupée par la CAS pendant les 3 campagnes successives (1982-85), par le Soja pendant la campagne 1985-86 et le blé pendant la campagne 1986-87, avant d'être replantée en canne, à partir de la campagne 1987 - 88.

V/ MATERIEL UTILISE ET METHODES SUIVIES

1. Matériel

Le matériel suivant a été utilisé :

a) Lysimètres

Les lysimètres utilisés sont du type non

pesables, à sol remanié et à drainage libre. Chaque cuve est constituée d'un bac métallique de 3 x 2 m de côté et 1,8 m de profondeur. Le système de drainage est constitué d'un tuyau perforé installé à la base de la cuve, il est couvert d'une couche de gravier et d'une couche de sable. Le sol est remis en place dans la cuve. Les eaux de drainage, sont pompées manuellement et, recyclées pour éviter le lessivage des éléments nutritifs.

b) Installation neutro-tensio-métrique

Cette installation a concerné les lysimètres les parcelles destinées à recevoir les différentes réductions et la parcelle qui a servi à l'étalonnage de la sonde. L'installation est constituée d'un tube d'accès pour la sonde avec, d'une part et d'autre, à une distance inférieure à 50 cm, une batterie de tensiomètres installés à différentes profondeurs.

c) Station météorologique

Toutes les données climatiques utilisées dans le présent essai ont été relevées dans la station du CT CAS située à l'intérieur du périmètre. Les relevés sont effectués quotidiennement à 7 heures du matin, ils concernent les paramètres suivants : la température, l'humidité relative, la vitesse du vent, la durée d'ensoleillement, les précipitations, l'évaporation du bac et l'ETP gazon.

d) Irrigation de l'essai

L'ensemble de l'essai, sauf les lysimètres, est irrigué par un réseau goutte à goutte. Le réseau est caractérisé par un écartement de 1,5 m entre rampes, correspondant à l'écartement entre les lignes de la canne, et 0,75 m entre goutteurs. Ces derniers ont un débit de 4 l/h, soit 3,5 mm/h par goutteur.

2. Méthodes suivies

a) Mesure de l'ETM

Le principe de détermination de l'évaporation maximale (ETM) par la méthode lysimétrique consiste à apprécier les différents termes de l'équation du bilan hydrique qui se présente comme suit :

$$ETM = P + I - D + C - R \pm DS; \text{ avec :}$$

P : Précipitation mesurée dans la station météorologique

I : Irrigation mesurée quotidiennement
D : drainage mesuré quotidiennement

R et C : respectivement, le ruissellement et la remontée capillaire. Ils sont nuls, car la masse du sol du lysimètre est isolée dans la cuve.

DS : variation du stock d'eau dans le sol, rendue également négligeable, en raison des apports d'eau fréquents, de manière à garder l'humidité du sol du lysimètre au voisinage de la capacité au champ (Hcc). Aussi, l'évapotranspiration mesurée dans ces conditions correspond à l'ETM.

Le bilan au niveau des lysimètres est donc effectué quotidiennement, l'expression utilisée est la suivante :

$$ETM_j = I_j + P_j - D_{j+1};$$

Dans cette équation, on utilise le drainage du jour (j + 1) pour évaluer l'ETM du jour (j) car le lysimètre est saturé le jour (j) à 8 heures du matin; une partie sera évapotranspirée ce jour même (j) et l'autre partie drainée est mesurée le lendemain (jour j + 1).

Mais en raison de l'inertie (temps de réponse) assez faible de ce type de lysimètre, la période d'évaluation de l'ETM est faite par décade. Cette période peut descendre jusqu'à 5 jours pendant les périodes où les apports quotidiens au niveau des lysimètres demeurent constants (en été).

b) Détermination du coefficient culturel "Kc"

La valeur de référence par rapport à laquelle serait déterminée ce coefficient correspond à l'Ebac, vu qu'elle est facilement releuable et intègre en même temps les divers facteurs traduisant un contexte climatique donné.

$$Kc = ETM / Ebac;$$

Pour des raisons d'ordre pratique et de commodité pour la caractérisation des différents stades végétatifs de la canne, le coefficient culturel est déterminé mensuellement.

c) Conduite des essais de réduction

Concernant ces essais, le travail consiste à suivre l'irrigation et l'humidité du sol

des différents traitements. Les réductions adoptées sont : 1; 0,75 0,50 et 0,25 avec 2 répétitions par traitement.

La période d'irrigation de ces essais est arrêtée à 5 jours. En ce qui concerne la dose à apporter à chaque irrigation, elle est déterminée en cumulant les valeurs de l'ETM journalière durant les 5 dernières journées, la valeur obtenue est affectée du coefficient de réduction correspondant à chaque parcelle.

Ces essais de réduction ont servi pour :

- Approcher la dose optimale,
- Elaboration de la fonction de production,
- Détermination du coefficient de réponse au rendement "Ky",

VI/ RESULTATS

1. Besoins en eau

Les résultats relatifs aux besoins en eau sont présentés comme suit :

- Présentation des résultats sur l'ETM mesurée
- Présentation des résultats sur la modélisation mathématique de l'ETM
- Présentation des résultats sur le calage des différentes formules d'évaluation de l'ETP.

a) Résultats de l'ETM

La période de mesure de l'ETM s'est étalée sur une période de 9 mois (Février-Septembre). Durant cette période, il a été enregistré une ETM totale de 1311 mm avec une moyenne journalière de 5,4 mm, un minimum de 2,1 mm/j pendant le mois de Février et un maximum de 8 mm/j pendant la 3ème décennie du mois de Juillet.

Pendant la période d'irrigation (Mai-Septembre), il a été enregistré une ETM de 1035 mm, soit une moyenne de 6,3 mm/j.

Par ailleurs, il a été constaté que l'ETM commence par des valeurs relativement faibles, au début du stade végétatif, pour atteindre le maximum pendant la période de haute croissance et chute à partir du mois de Septembre. Ces résultats sont comme suit :

Mois	ETM décadaire en mm			Total mensuel en mm	Moyenne mensuelle journal. (mm)
	1er décade	2ème décade	3ème décade		
Février	35,3	21,2	25	81,5	2,91
Mars	54,5	37,2	36,4	128,1	4,13
Avril	36,8	56,0	37,9	130,7	4,36
Mai	45,0	60,3	76,9	182,2	5,88
Juin	63,6	60,2	58,1	181,9	6,06
Juillet	64,2	75,4	79,8	219,4	7,08
Août	65,6	64,9	69,0	199,5	6,44
Sept.	64,7	60,6	62,5	187,8	6,26

Les valeurs d'ETM trouvées sont en parfaite concordance avec celles établies dans d'autres régions du monde par la méthode lysimétrique; cependant, elles sont inférieures aux valeurs trouvées au Maroc dans le domaine de la CAS par d'autres méthodes (méthode gravimétrique dans le Souss et la Moulouya, et méthode du drainage interne dans le Gharb).

Cette discordance est due au fait que la méthode gravimétrique néglige le terme de drainage souvent très important, tandis que la méthode du drainage interne donne des résultats imprécis (imprécision pouvant atteindre 25% selon divers auteurs).

b) Modélisation mathématique de l'ETM

A partir des résultats sur l'ETM, il a été procédé à une modélisation mathématique de celle-ci. Les différents paramètres climatiques disponibles dans la région ont été testés moyennant une régression multiple par la méthode statistique "Step wise".

Après avoir testé plusieurs modèles, il s'est avéré que les plus déterminants avec un niveau de risque fixé à 5% sont la température et le rayonnement. Le modèle final est comme suit :

$$ETM = - 1,95 + 0,199 T + 0,243 Ra$$

(R2 = 79,4%).

Deux autres modèles réduits, se basant uniquement sur la température, ou le rayonnement ont été également déterminés :

$$ETM = 0,231 + 0,27 T \quad (R2 = 71,2\%)$$

$$ETM = - 1,18 + 0,50 Ra \quad (R2 = 54,9\%)$$

A partir de ces trois modèles, on constate que 80% de l'ETM sont expliqués uniquement par la température et le rayonnement atmosphérique : alors que la température à elle seule, donnée facilement relevable, peut expliquer 70% de l'ETM, en absence du rayonnement.

Aussi, vu la simplicité de ces modèles, ils peuvent être utilisés dans la région pour prédire l'ETM sans recours à l'installation de lysimètres. Ils peuvent également servir à évaluer l'ETM par télédétection moyennant une corrélation entre les données télédéteectées et celles déterminées par les modèles.

c) Calage des formules d'évaluation de l'ETP

Les formules ayant fait l'objet de comparaison avec l'ETM mesurée correspondent à celles indiquées par la FAO dans son bulletin d'irrigation et de drainage n° 24. Il s'agit en effet, des modèles de Penman, du rayonnement, de Blanney Criddle et l'évaporation à partir du bac classe "A". Il importe de signaler qu'aucun coefficient de correction ni de pondération n'a été introduit. L'ETP gazon a aussi fait l'objet de comparaison. Les résultats en mm/j sont comme suit :

Mois	ETM canne	E bac	ETP pen	ET ray	ETP bl. Cr	ETP gazon
Février	2,91	2,13	2,36	2,61	6,02	1,41
Mars	4,13	3,60	3,52	4,18	7,13	1,94
Avril	4,36	4,98	4,71	5,01	7,57	3,57
Mai	5,88	5,90	5,67	5,83	8,43	4,45
Juin	6,06	6,97	6,79	6,49	9,06	6,99
Juillet	7,08	7,16	7,53	7,33	10,05	8,80
Août	6,44	6,60	6,40	6,80	9,90	7,30
Sept.	6,26	6,00	5,50	5,90	9,40	4,92

A travers ces résultats, on constate que le mois de pointe pour l'ensemble des formules correspond au mois de Juillet. On constate également, qu'en général, l'ETP commence par des valeurs assez faibles au début du cycle végétatif, pour atteindre le maximum pendant la période de haute croissance et chuter après.

Par ailleurs, l'ensemble des méthodes ont donné des résultats assez proches, à l'exception de celle de Blanney Criddle qui était relativement élevée et celle de l'ETP gazon jugée instable durant cette campagne.

Aussi, afin de mettre en évidence la haute corrélation qui existe entre l'ETM canne et les différentes méthodes d'évaluation de l'ETP testées dans le présent essai, et permettre en même temps la détermination de l'ETP, dans la région du Gharb, directement à partir de l'ETP calculée moyennant l'une des méthodes précitées, nous suggérons les expressions suivantes :

$$ETM = \text{Canne} : 2,88 + 0,51 \text{ ETP gazon} \\ (r = 0,92)$$

$$ETM \text{ Canne} : 1,08 + 0,79 \text{ E bac} \quad (r = 0,96)$$

$$ETM \text{ Canne} : 1,09 + 0,81 \text{ ETP Pen} \quad (r = 0,96)$$

$$ETM \text{ Canne} : 0,31 + 0,92 \text{ ETP ray} \quad (r = 0,98)$$

$$ETM \text{ Cane} : - 3,08 + 0,92 \text{ ETP bl. cr} \\ (r = 0,98)$$

2. Coefficient culturel "KC"

Le coefficient culturel "KC" déterminé mensuellement par rapport à E bac est très proche de l'unité durant cette campagne. Les valeurs trouvées sont comme suit :

Mois	KC
Avril	0,87
Mai	0,99
Juin	0,87
Juillet	0,98
Août	0,97
Septembre	1,04

Ce rapprochement entre l'E bac et l'ETM Canne, confirme, une fois de plus, les résultats trouvés ailleurs et qui indiquent que l'E bac équivaut ET de la Canne à sucre, quand le sol est saturé.

Par ailleurs, en prenant à chaque fois l'une des méthodes d'évaluation de l'ETP comme valeur de référence pour déterminer "Kc3, il a été conclu que la méthode d'évaluation de l'ETP est un autre critère dont il faut tenir compte lors de la détermination de ce coefficient, car pour la même culture et pendant la même période, ce coefficient varie énormément d'une méthode à l'autre. Les valeurs trouvées sont comme suit :

Mois	ETM/ETP pen	ETM/ETP bl. cr	ETM/ETP bl. cr	ETM/ETP gazon
Avril	0,92	0,57	0,87	1,22
Mai	1,04	0,70	1,01	1,35
Juin	0,89	0,67	0,93	0,80
Juillet	0,94	0,70	0,97	0,80
Août	1,00	0,65	0,94	0,88
Sept.	1,14	0,67	1,06	1,27

3. Evapotranspiration optimale

Pratiquement, l'évapotranspiration optimale doit correspondre à l'évapotranspiration de la culture qui procure une production maximale à partir d'un minimum de consommation en eau. Pour approcher cette valeur, le problème a été abordé de 3 manières différentes :

1. Maximisation du rendement indépendamment des apports d'eau : ceci conduit à une utilisation abusive de l'eau.

2. Valorisation du mètre cube d'eau apporté : de cette manière, on opte d'après les résultats sur les rendements estimés au traitement 100%.

3. Ne pas chercher la maximisation du rendement, mais procéder à un calcul financier en confrontant les charges associées à l'eau et les recettes supplémentaires en passant d'un régime à un autre. Dans ces condi-

tions, le régime le plus économique correspond à 80% de l'ETM.

Ce résultat a été déjà trouvé au CT CAS par la méthode du bac classe "A". Aussi, on indique dans la littérature que le coefficient 0,8 par rapport, toujours, à l'E bac conduit à un rendement optimum. Et comme il a été précisé dans le chapitre relatif aux besoins en eau, il y a un grand rapprochement entre l'ETM canne et l'E bac.

4. Production de la canne

a) Fonction de production de l'eau

D'après les résultats sur le rendement que nous allons présenter ci-après, on constate qu'il existe une haute corrélation entre le rendement estimé de la canne et l'ETR des différents traitements ou le rapport ETR / ETM. Les expressions trouvées sont comme suit :

$$R_t = 20,86 + 0,1394 \times \text{ETR} \\ (r = 0,99)$$

$$R_t = 21,00 + 1,4400 \times \text{ETR} / \text{ETM} \\ (r = 0,99); \text{ avec :}$$

R_t : rendement en tonnes par hectares,

ETR et ETM : respectivement l'évapotranspiration réelle et maximale en mm.

A travers ces deux expressions, nous avons tiré les deux conclusions suivantes :

* L'apport d'un mm d'eau se traduira par une augmentation du rendement de l'ordre de 139 kg/ha.

* La réduction des apports de 10% par rapport à l'ETM, fait chuter le rendement de 144 kg/ha.

Traite- ment	Rende- ment (T/ha)	Produ- ctivité (kgm ³)	Longueur cannes (fin essai en cm)	Nob. d'entre- nœuds	Longueur d'entre- nœud
100	124	11,98	210	11	19
75	87	11,21	178	11	16
50	50	9,67	142	10	14
25	16	6,20	90	8	11

Enfin, il a été constaté que la différence de hauteur entre les cannes des différents traitements provient principalement de la longueur des entre-nœuds et non pas de leur nombre qui est presque identique pour l'ensemble des traitements. D'où, il a été conclu que le déficit hydrique affecte la longueur des entre-nœuds et non pas leur nombre qui est fonction de la variété et des conditions climatiques et édaphiques dans lesquelles se développe la culture.

b) Coefficient de réponse au rendement

Le coefficient de réponse au rendement "Ky" a été calculé par le modèle universel suivant :

$$(1 - Y_a/Y_m) = K_y (1 - ETR / ETM); \text{ avec :}$$

Y_a : rendement réel

Y_m : rendement maximum

ETR : évapotranspiration réelle

ETM : évapotranspiration maximale

Durant cette campagne, ce coefficient a accusé une valeur de 1,164. Ceci confirme l'importance de l'eau pour la culture de la Canne à Sucre. Cette valeur est très proche de celle indiquée par la FAO dans son bulletin d'irrigation et de drainage n° 33 et qui est de 1,20.

VII/ CONCLUSION

Même s'ils ne sont pas sensibles aux fluctuations et variations journalières de l'évapotranspiration, on peut conclure que les lysimètres non posables à sol remanié et à drainage libre, peuvent être utilisés avec satisfaction pour la détermination des différents paramètres liés à l'irrigation et aux besoins en eau de la Canne à Sucre dans la région du Gharb. Les résultats obtenus se rapprochent de ceux indiqués par diverses études dans ce domaine.

Toutefois, la fiabilité des résultats dépend essentiellement de la conduite et du suivi de l'essai avec une parfaite maîtrise des paramètres entrant en jeu dans tout le système, particulièrement les lysimètres, leurs anneaux de garde et les essais de réduction qui leurs sont associés.

Enfin, il importe de signaler que les résultats avancés sont basés sur les données d'une seule année d'expérimentation, ce qui n'est pas suffisant pour tirer définitivement des conclusions, d'autant plus que les lysimètres se trouvent dans leur première année expérimentale. Aussi, ces essais doivent être suivis sur une durée statistiquement représentative avant d'arrêter d'une manière précise les différents paramètres liés à l'irrigation de la canne à sucre dans la région du Gharb.

CONSULTATION - PLANIFICATION - RÉALISATION

DE PROJETS DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE ET RURAL

Nos activités englobent :

organisation et financement des exploitations agricoles

développement rural intégré

production végétale

production animale

amélioration du sol
(fertilisation et irrigation)

conditionnement et transformation des produits agricoles; stockage



Nous offrons une équipe hautement qualifiée et dotée d'une grande expérience à l'étranger pour des travaux conceptionnels et pratiques. Nous avons exécutés et planifiés nombreux projets agricoles en Afrique.



INSTRUPA Consulting GmbH, Tannenwaldallee 49, D-6380 Bad Homburg v.d.H. - Tél. : (06172) 3 50 41 - Télex : 415116 inco d

PROJET HAUT-SERVICE DES ABDA-DOUKKALA

Auteur : BERRAHA MOHAMMED

Coauteurs :
RAHALI A.
EZZERROUTI A.
AMINE M.

Le Projet Haut-Service concerne l'irrigation de 64.000 hectares par gravité dans les plaines des DOUKKALA (Province d'EL-JADIDA) et des Abda (Province de Safi).

La dotation annuelle en eau du périmètre, 550 millions m³ disponible sur l'oued OUM ER'RBIA dans le barrage IM'FOUT, est véhiculée par une galerie (5,7 m de diamètre et 13 km de long) puis refoulée dans un canal principal (134 km de long) par une station de pompage principale (38 m³/s sur 40 m HMT).

L'étude de factibilité relative relative à cet aménagement est réalisée en 1989. Le taux de rentabilité interne du projet est évalué à 13,2%.

INTRODUCTION

Le grand périmètre d'irrigation des Abda Doukkala sera, quand il aura atteint son plein développement, l'un des plus vastes au Maroc avec 125.000 hectares nets irrigués. Sa proximité des grands centres urbains lui confère une importance particulière.

Les premiers travaux relatifs à cet aménagement, prospections du Génie Rural et Travaux Topographiques en particulier, remontent aux années quarante. Ils ont permis de délimiter 147.000 hectares irrigables parmi 250.000 hectares susceptibles d'être dominés. Ainsi deux périmètres ont été distingués :

- Périmètre BAS-SERVICE : dominé gravitairement à partir du barrage IM'FOUT sur l'OUM ER'RBIA,

- Périmètre HAUT-SERVICE : ne pouvant être dominé à partir du barrage IM'FOUT que moyennant une station de relevage.

Alors que l'équipement du périmètre

Bas-Service est en cours d'achèvement sur 61.000 hectares irrigués, le projet d'aménagement du périmètre Haut-Service est dans la phase finale des études. Déjà en 1981, le périmètre Haut-Service avait fait l'objet d'une première étude de factibilité. Celle-ci s'était inscrite dans le cadre du Plan Directeur de l'Aménagement Hydraulique de la Branche Oum Er'Rbia, établi en 1974-75. Ainsi, avec une dotation annuelle en eau d'irrigation de 350 Mm³, le projet concernait l'aménagement et la mise en valeur de 40.000 hectares nets irrigués par aspersion. Cependant, la situation de ce périmètre par rapport à la prise d'eau et la généralisation de l'aspersion avaient fait que les frais d'investissement et surtout de fonctionnement ont abouti à un Taux de Rentabilité Interne Economique (TRIE) relativement faible, 5,4% seulement.

En vue d'améliorer la rentabilité économique de cet aménagement, une Réactualisation de l'Etude de Factibilité de 1981 a été lancée par l'ORMVAD en 1987. Celle-ci s'est basée sur les points forts suivants :

- Augmenter la superficie irriguée en utilisant une dotation annuelle de 550 Mm³, permettant d'étendre le périmètre jusqu'à 64.000 voire 75.000 hectares irrigués suivant le mode d'irrigation adopté. Cette extension du périmètre, en particulier dans la province de SAFI, devrait permettre de diminuer le poids relatif des ouvrages de tête morte dans la rentabilité du projet.

- Réétudier les solutions envisagées pour la tête morte en particulier pour réduire les dépenses d'énergie, et éventuellement introduire des solutions plus performantes.

Reconsidérer le choix du mode d'irrigation.

- D'une manière générale, actualiser l'étude de 1981 en terme d'orientation de mise en valeur, d'estimation des investissements, des coûts et bénéfices attendus du projet, etc.

I/ CADRE NATUREL

1.1. Cadre Administratif

La zone du projet concerne la partie sud de la plaine des DOUKKALA située sur la province d'EL-JADIDA, ainsi que la plaine des ABDA située sur la province de SAFI.

Province	Superf. brute (Ha)	Popul. concernée (Habitants)
EL-JADIDA	34.000	57.000
SAFI	38.700	40.000
	-----	-----
	72.700	97.000

1.2. Milieu Naturel

a) Topographie

L'aspect général de la zone du projet est celui d'une plaine caractérisée par une faible pente d'environ deux pour mille dans le sens Sud-Est/Nord-Ouest, et bordée au Sud-Est par les collines de RHAMNA. Celles-ci constituent les bassins versants de rivières à débits intermittents qui débouchent dans la plaine des DOUKKALA à l'EST, et dans celle des ABDA à l'Ouest.

Une autre caractéristique de la zone du projet est sa cote topographique comprise entre les altitudes 85 et 220 NGM, alors que la cote du plan d'eau au barrage de dérivation d'IM'FOUT est de 185 NGM. Cette situation oblige à relever chaque année toute la dotation en eau du périmètre (550 Mm³) de la cote 181 NGM, en sortie de galerie, à la cote 220 NGM au départ du Canal Principal, avec toutes les conséquences que cela comporte concernant d'une part, la mise en place de l'installation de pompage, et d'autre part son coût de fonctionnement durant toute la durée de vie du projet.

b) Climat

Le climat de la zone du projet est de type semi-aride à hivers tempérés. Il présente les principales caractéristiques climatiques suivantes :

- Pluviométrie : 250 à 300 mm/an en moyenne.

- Température : 18°C comme moyenne annuelle. Les risques de gelées sont très rares.

- Vents dominants de Nord et Nord-Est avec, en été, des vitesses courantes de 4 à 7 m/s dans l'après-midi.

- Degré hygrométrique : le taux moyen d'humidité de l'air varie entre 60 et 80%.

- Evapotranspiration : l'évapotranspiration du Bac A varie de 1.600 à 1.800 mm/an. Quant à l'ETP Blany-Criddle, elle varie entre 2 mm/j en hiver et 8 mm/j en été.

c) Pédologie

Les études pédologiques menées antérieurement dans la zone du projet ont permis de répartir les sols du périmètre en quatre grands groupes qui sont :

- Sols sur limons anciens et moyens :83% dont vertisols 38,1%

- Sols peu évolués sur alluvions récentes (Faïds) : 10,6%

- Sols peu évolués sur alluvions anciens (R'mels) : 3,3%

- Sols hydromorphes (dépressions naturelles et daya) : 3,1%.

- Variante n° 1 : Elle consiste en la réalisation d'une galerie de 17 km entre le barrage IM'FOUT et la station de pompage. Celle-ci devant assurer le relevage des 550 Mm³ annuellement entre la sortie de la galerie et le départ du Canal Principal (38 m³/s sur 40 m HMT).

- Variantes n°2 et 3 : Ces deux solutions sont basées sur le même principe qui consiste en l'utilisation à plein débit du Tunnel IM'FOUT existant (36 m³/s).

* Le débit disponible sur ce tunnel, une fois les besoins du périmètre Bas-Service satisfaits, est refoulé vers le Canal Principal Haut-Service (CPHS) à l'aide d'une station de pompage d'une capacité de 38 m³/s sur 44 m de HMT, située à la sortie du tunnel existant.

* Le complément de débit nécessaire au Haut-Service, variable dans l'année, est prélevé dans l'Oum ER'Rbia à l'aval du Barrage IM'FOUT par une station de pompage de capacité 38 m³/s sur 87 m de HMT.

Les solutions 2 et 3 ne diffèrent entre elles que par la disposition du refoulement.

b) - Estimation des coûts

Etant donné que les solutions 2 et 3 sont très proches l'une de l'autre dans leurs conceptions, seules les solutions 1 et 2 ont fait l'objet de comparaison économiques :

Tableau 1 : Comparaison des variantes d'adduction tête morte

Coûts	Variante 1	Variante 2
- Investissement (MDH) :	730	67
* Génie civil	136	322
* Matériel	-----	-----
	866	389
- Energie :		
* MDH/an	61	108
* DH/ha/an	962	1 689

N.B. Ces frais d'énergie ne tiennent compte que du pompage en tête du périmètre.

c) - Comparaison des variantes d'adduction

Les variantes de tête morte sont comparables en ce qui concerne les services rendus et les avantages attendus.

Le strict raisonnement économique aboutirait au choix de la solution 2 avec pompage dans l'Oum Er'rbia, avec un écart de coût actualisé de 10% environ entre les solutions 1 et 2, respectivement 850 MDH et 720 MDH, pour un taux d'actualisation de 10%.

Cependant, la répartition des coûts du projet entre les différents membres de la collectivité nationale (Etat et agriculteurs), diffère sensiblement d'une solution à l'autre. Dans la première, l'Etat investit plus lourdement au départ, mais met à la disposition des usagers une adduction dont le coût de fonctionnement est pratiquement deux fois plus faible que celui de la solution 2, permettant ainsi d'assurer aux agriculteurs un revenu à la fois plus élevé et plus incitatif. Le prix de l'eau dans la solution 2 serait supérieur de 60% à la moyenne des prix de l'eau dans l'ensemble des périmètres irrigués par aspersion au MAROC.

Par ailleurs, la solution 1 offre l'avantage de disposer d'un ouvrage simple à gérer et facile à entretenir.

Enfin, le passé a montré que le coût de l'énergie pouvait fluctuer dans des proportions sans commune mesure avec les variations observées sur les autres intrants.

Ainsi, l'Administration a retenu la solution 1 avec tête morte en galerie ($\phi = 5,7$ m et $Q = 38$ m³/s) associée à une station de pompage (38 m³/s sur 40 m).

2.2.2. Localisation du périmètre

La dotation en eau de 550 Mm³/an permettrait d'irriguer une superficie maximale théorique de 88.800 hectares nets si le périmètre était équipé à 100% en aspersion, et de 64.000 hectares si le périmètre était équipé à 100% en gravitaire.

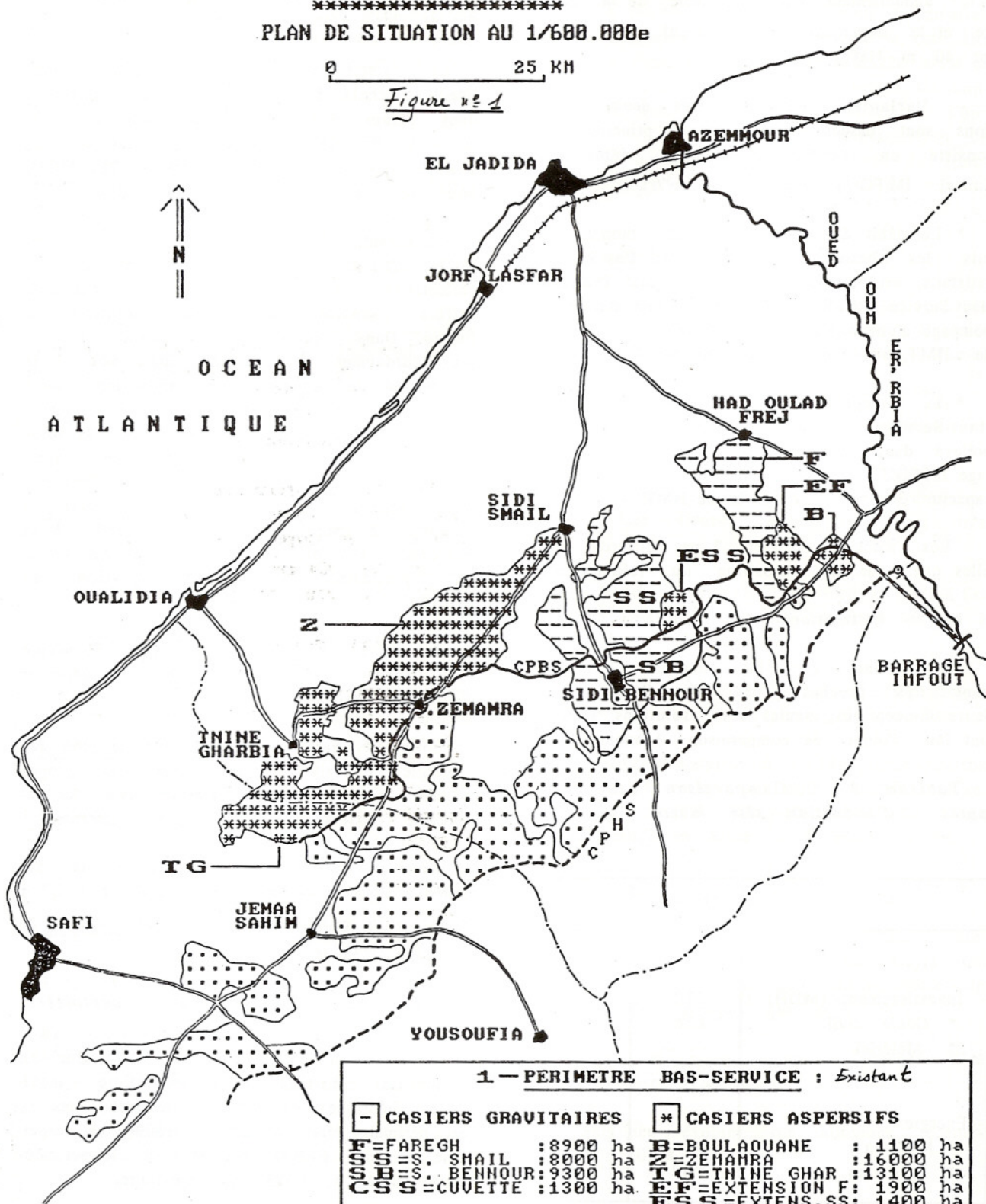
Compte tenu du coût de l'aspersion, en particulier de l'énergie, des solutions à dominante gravitaire ont été également recherchées, solutions dans lesquelles

PERIMETRES IRRIGUES DES ABDA-DOUKKALA

PLAN DE SITUATION AU 1/600.000e

0 25 KM

Figure n° 1



1 - PERIMETRE BAS-SERVICE : Existant

[-] CASIERS GRAVITAIRES

[*] CASIERS ASPERSIFS

F = FAREGH	: 8900 ha	B = BOULAOUANE	: 1100 ha
SS = S. SMAÏL	: 8000 ha	Z = ZEMAMRA	: 16000 ha
SB = S. BENNOUR	: 9300 ha	TG = ININE GHAR	: 13100 ha
CSS = CUVETTE	: 1300 ha	EF = EXTENSION F	: 1900 ha
		ESS = EXTENS.SS	: 1400 ha

[.] 2 - PERIMETRE HAUT-SERVICE : En projet

64.000 ha irrigues en gravitaire

B/Etudes-SER

	Gravitaire	Aspersion
° efficacité à la parcelle	0,65	0,85
° efficacité réseau de distribution	0,90	0,95
° efficacité des adducteurs	0,95	0,95

a) Besoins en eau du mois de pointe

Ces besoins ont été déterminés, pour chaque assolement, pour le mois le plus exigeant en eau, qui est le mois de Mai. Pour les huit assolements arrêtés par l'Etude, la moyenne pondérée des besoins en eau en tête du réseau est de 1 225 m³/ha.

Les débits fictifs continus sont les suivants:

* moyenne des assolements : 1 225 m³/ha soit 0,473 l/s/ha.

* assolement plus exigeant : 1 467 m³/ha soit 0,566 l/s/ha.

Les besoins annuels exprimés en m³/ha sont les suivants :

	Gravitaire	Aspersion
- besoin à la parcelle	7 342	5 587
- en tête du réseau	8 158	5 681
- en tête du périmètre	8 587	6 190

b) Superficie irrigable

Compte tenu des besoins en tête du périmètre et de la dotation globale réservée au périmètre Haut-Service des Abda-Doukkala (550 Mm³/an), la superficie irrigable s'élève à :

- gravitaire : 550 Mm³ / 8 587 m³/ha = 64 050 ha

- aspersion : 550 Mm³ / 6 190 m³/ha = 88 850 ha

Dans le cas d'une irrigation mixte selon les secteurs, les superficies irrigables gravitairement et par aspersion sont liées par la relation suivante :

$$S_{\text{grav}} \cdot 8587 + S_{\text{asp}} \cdot 6190 \leq 550 \text{ Mm}^3$$

indiquant que la dotation est limitée à 550 Mm³/an.

c) Débit d'équipement

* En gravitaire

On considère que le réseau gravitaire fonctionne pendant le mois de pointe, 22 heures par jour et 26 jours dans le mois.

Le débit d'équipement est calculé pour l'assolement le plus exigeant :

débit fictif continu : $Q_{fc} = 0,566 \text{ l/s/ha}$

débit d'équipement :

$$Q_{eq} = Q_{fc} \times (24 \times 30) / (22 \times 26) = 0,71 \text{ l/s/ha}$$

Compte tenu d'une main d'eau de 30 l/s, la surface d'un quartier d'irrigation est de 30/0,71, soit 42,25 ha.

* En aspersion

Pour le dimensionnement du réseau d'irrigation, on a retenu le besoin en eau correspondant à la moyenne des assolements. Celui-ci est de 904 m³/ha, soit un débit fictif continu du mois de pointe de 0,35 l/s/ha.

Le débit disponible dans le Canal est obtenu en tenant compte du coefficient de pointe journalier à l'intérieur du mois de pointe (+10%) et de l'efficacité du canal estimée à 95%. Ainsi, ce débit est égale à 0,41 l/s.

2.2. Variantes d'adduction et de localisation du périmètre (Voir figure n° 2)

2.2.1. Adduction tête morte : (voir schéma des variantes de tête morte)

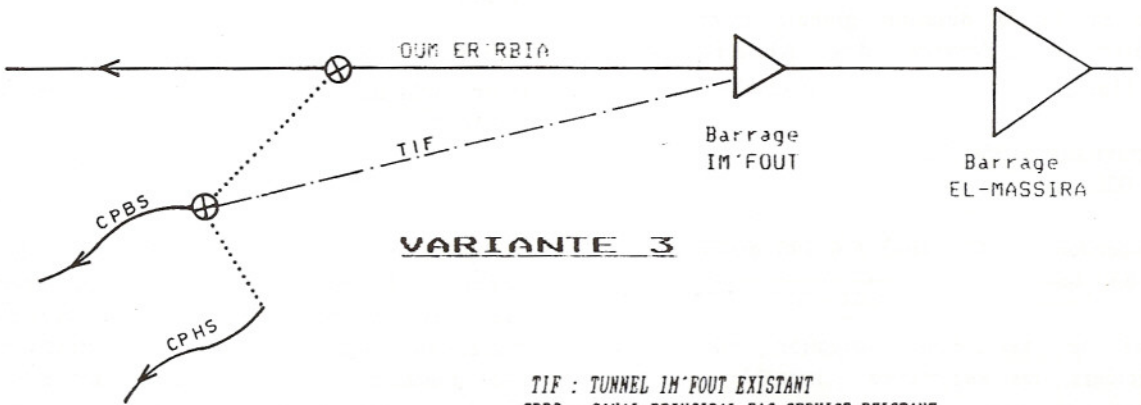
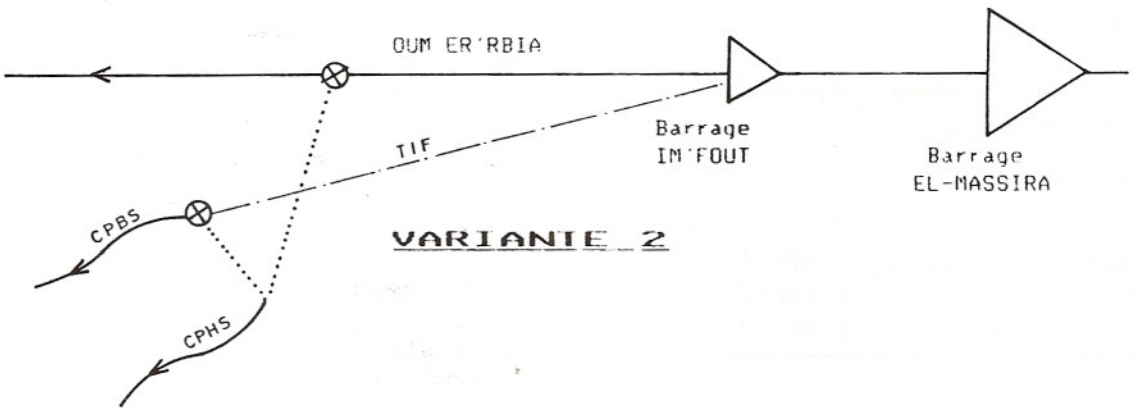
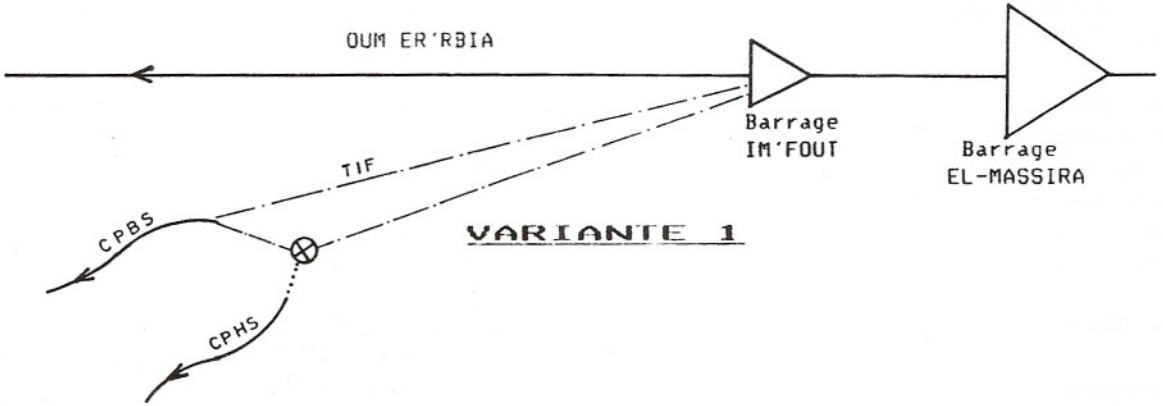
a) - Description

La liaison entre l'OUM ER'RBIA et le Canal Principal Haut-Service devant des servir en eau les secteurs d'irrigation, nécessite la réalisation d'un ouvrage important assurant une fonction d'adduction dans une zone de terrain difficile (Georges de l'OUM ER'RBIA) et une fonction de relevage.

Dans le cadre de l'étude de factibilité, la phase préliminaire a défini trois variantes de tête morte :

SCHEMAS
DES
VARIANTES DE TETE MORTE

Figure 101



TIF : TUNNEL IM'FOUT EXISTANT
 CPBS : CANAL PRINCIPAL BAS-SERVICE EXISTANT
 CPHS : CANAL PRINCIPAL HAUT-SERVICE A CREER
 ⊗ : STATION DE POMPAGE A CREER
 --- : TUNNEL A CREER
 : CONDUITE A CREER

d) Ressources en eau

La région des ABDA-DOUKKALA ne dispose d'aucune ressource en eau pérenne de surface. Tous les petits oueds qui la traversent (oued Faregh, oued M'tal, oued Felfel, etc.) ont des régimes saisonniers et ne débitent qu'en période de crue. Les eaux souterraines, peu adondantes et trop profondes, sont très peu exploitées.

De ce fait, les eaux d'irrigation ne peuvent provenir que de l'OUM ER'RBIA, deuxième fleuve du Maroc par l'importance de son bassin versant et dont le débit moyen annuel calculé sur 37 ans est de 117 m³/S.

1.3. Situation Actuelle du Secteur Agricole

a) Aspects fonciers

La répartition de la propriété dans la zone du projet révèle l'importance de la micro-propriété liée à une forte densité démographique et à un morcellement accentué. En effet, dans la zone du projet, 57% des exploitations appartenant à la classe 0-1 ha, détiennent 11% seulement de la SAU totale.

b) Occupation du sol et productions végétale et animale

Le mode d'exploitation des terres est celui d'une agriculture extensive en bour à base de céréales d'hiver et de quelques cultures de printemps (maïs en particulier). La part de la jachère est importante.

L'occupation du sol sur quatre compagnes a pu être déterminée à partir des données des CMV et CT de la zone du projet. Les rendements présentés ci-après sont des rendements moyens :

CULTURES	%	RENDEMENTS (qx/ha)
Blé	26	6,7
Blé Tendre	14	6,9
Orge	13	9,1
Maïs Local	8	5,4
Légumineuses	13	5,0
Fourrage	2	120,0
Maraichage	1	100,0
Jachère	23	-

En ce qui concerne l'élevage, les productions actuelles sont par unité zooteknique de 220 litres de lait et 45 kg de viande pour les bovins, et de 10 kg de viande et 1,9 kg pour les ovins. L'alimentation du cheptel repose principalement sur la paille, les chaumes et de minimes superficies de fourrage de printemps (orge en vert en particulier).

II/ DESCRIPTION DU PROJET (voir figure N° 1)

Le projet Haut-Service des ABDA-DOUKKALA constitue le second volet de l'aménagement hydroagricole de la Région. Il fait suite au Périmètre Bas-Service entièrement irrigué sur 61.000 hectares.

La desserte en eau d'irrigation du périmètre Haut-Service sera assurée à partir du barrage de dérivation IM'FOUT sur l'OUM ER'RBIA. L'eau étant mise en réserve au niveau du barrage EL-MASSIRA situé plus à l'amont.

2.1. Besoins en eau, superficie irrigable

Les besoins en eau des cultures ont été estimés à partir des données climatiques du périmètre et en utilisant la formule de BLANEY-CRIDDLE pour chaque culture et pour les deux modes d'irrigation étudiés à savoir le gravitaire et l'aspersion :

* simulation des besoins en eau nets mensuels compte tenu de la pluviométrie et des températures réelles observées sur une longue période (1965-1986),

* transformation des besoins en eau nets en besoins bruts en tenant compte de l'efficacité de l'irrigation et des éventuelles pré-irrigations,

* analyse statistique de ces besoins et calcul des besoins en eau moyen par culture.

Les hypothèses retenues pour l'efficacité des différents modes d'irrigation sont les suivantes :

l'aspersion ne serait limité qu'aux seules zones où la mise en charge peut être gravitaire.

En parallèle avec la délimitation du périmètre, se pose le choix du mode de son alimentation en eau à l'aval de la tête morte.

Ce choix est lié à la cote de départ du Canal Principal, cote à laquelle seront refoulés les 550 Mm³ correspondant à la dotation annuelle du périmètre. Les variantes sont les suivantes :

- **Variante mixte aspersion-gravitaire** (cote départ du Canal Principal calée à la cote 208 NGM) : Elle consiste en l'irrigation gravitaire de la partie aval située à des cotes de 100 à 150 NGM, et l'irrigation par aspersion de la partie amont moyennant des stations de pompage dominant les secteurs d'irrigation. Cette solution est confirmée par le fait que ce sont les terres situées dans la province d'El-Jadida, et principalement à l'amont du périmètre, qui justifient le plus l'irrigation par aspersion en raison de la texture légère du sol et du micro-relief.

La variante ainsi définie (Canal calé à 208 NGM et 69.500 hectares mixte aspersion-gravitaire) est dénommée **Variante 208A**.

- **Variante gravitaire** : les terres irrigables ne dépassent pas la cote 220 NGM à l'amont du périmètre. Un canal calé à cette cote permet d'éviter toute station de relevage à l'intérieur du périmètre.

La variante ainsi définie (Canal calé à la cote 220 NGM et 64.000 hectares irrigués) est dénommée **Variante 220G**.

- Pour deux autres variantes gravitaires, les terres irrigables sont situées en tête du périmètre jusqu'à la cote 228 NGM. Un canal calé à cette cote permet donc d'irriguer gravitairement tout le périmètre. Cependant, cette variante nécessite un relevage important au départ, relevage qui n'est pas justifié pour la partie aval du périmètre. L'autre solution consiste en un canal calé à la cote 208 NGM avec des stations de relevage tout le long du canal et des canaux hauts intermédiaires.

Ces deux variantes, ne différant que par l'implantation du canal principal, sont dénommées :

- départ du canal calé à 228 NGM : **Variante 228G**

- départ du canal calé à 208 NGM : **Variante 208G**

2.2.3. Comparaison des variantes de localisation

a) - Investissement

Les coûts d'investissement, non compris la partie de la tête morte commune à toutes les variations (galerie + génie civil de la station de tête morte), sont les suivants :

Tableau 2 : Comparaison des variantes de localisation du périmètre : Coût d'investissement

Variantes	208G	220G	228G	208A
Coût d'investissement (en Millions DH)	3.626	3.509	3.510	3.991
Coût à l'hectare (DH)	56.600	54.800	54.800	57.400

Compte tenu de la précision du chiffrage, les variantes 220G et 228G sont pratiquement équivalentes du point de vue des investissements tant en montant total qu'en coût à l'hectare, suivies par la variante 208G (+3,3% en montant et en coût à l'hectare) et par la variante 208A (+13,7% en montant total et 4,7% en coût à l'hectare).

b) - Fonctionnement

La comparaison porte sur :

- les frais d'énergie,
- les frais d'entretien, de gestion et de renouvellement des stations de pompage,
- la plus-value agricole dégagée par le surplus de terres irriguées (cas de la **variante 208A**).

Tableau 3 : Comparaison des variantes de localisation : Frais de gestion (énergie et entretien)

Variantes	208G	220G	228G	208A
Frais fonctionnement MDH/an	65,2	65,1	79,1	81,8
Frais à l'hectare (DH)	1.017	1.017	1.235	1.160

Du côté de l'Energie, les variations 220G et 208G sont pratiquement équivalentes. Le surcoût des frais de pompage en tête de la variante 220G étant compensé par la possibilité d'installation des microcentrales à l'aval du périmètre pour récupérer la charge disponible à l'amont de certains secteurs.

En ce qui concerne l'entretien, la gestion et le renouvellement des stations de pompage, les variantes avec relevage (208G) et avec mise en pression (208A) se traduisent respectivement par un surcoût annuel de 6,5 et 12,3 MDH/an.

Concernant les avantages économiques attendus du projet, on rappelle que la solution 208A diffère des trois autres par le fait qu'elle permet l'irrigation de 5.500 hectares supplémentaires, procurant une valeur ajoutée additionnelle en régime de croisière de 96,6 MDH/an.

b) - Conclusion

La comparaison des quatre solutions s'est effectuée en deux temps :

- comparaison des solutions présentant des avantages égaux : variantes 208G, 220G et 228G.

- comparaison de la meilleure des trois solutions à la solution 208A.

Tableau 4 : Comparaison des variantes de localisation du périmètre : Frais rapportés à l'hectare

Variantes	208G	220G	228G	208A
Coût d'investissement (DH/HA)	56.600	54.800	54.800	57.400
Frais d'énergie (DH/HA/AN)	1.017	1.017	1.237	1.160

Sur le strict critère économique, la variante 220G est la moins coûteuse des trois variantes, à la fois en investissement et en fonctionnement.

De même, sur le plan socio-économique, la variante 220G est conforme aux orientations de la politique nationale qui visent à promouvoir l'irrigation dans la province de Safi et à diminuer les déséquilibres inter-régionaux existants.

Ainsi, le choix de la variante 220G est le plus logique dans la mesure où tous les critères de choix concourent à la désigner.

La comparaison entre les deux variantes restantes, 208A et 220G, est un choix classique entre gravitaire et aspersion.

Sur le plan économique, la comparaison entre ces deux variantes doit se faire sur la base des bénéfices nets actualisés :

- surcoût d'investissement de la 208A par rapport à la 220G : +482 Mdh,

- avantages additionnels de la 208A par rapport à la 220G : +67,7 Mdh (dus à l'irrigation de 5.500 ha supplémentaires dans le cas de la variante 208A).

Le calcul économique a montré que le taux de rentabilité interne de la solution 208A par rapport à la solution 220G s'élève à 8,0%, ce qui signifie que pour les taux plus élevés, couramment admis (10 à 12%), le bénéfice net actualisé de la variante 208A par rapport à la variante 220G est négatif.

Ainsi, on a retenu la variante 220G qui présente d'autres avantages :

- la faiblesse des coûts annuels pour l'agriculteur et l'organisme,

- la facilité de gestion procurée par la présence d'une seule station de pompage en tête,

- l'égalité de tarif pour tous les agriculteurs.

Par ailleurs, le supplément de superficie irrigable par aspersion est justifié par l'économie des eaux en aspersion, économie qui reste à l'heure actuelle théorique et nécessiterait pour être réellement obtenue une longue phase d'adaptation de la part des agriculteurs.

III/ DESCRIPTION DE LA VARIANTE RETENUE

3.1. Grands ouvrages d'adduction

a) Tête morte

L'eau destinée au périmètre Haut-Service est disponible sur l'Oum Er'Rbia à la retenue IM'FOUT. Pour amener cette eau en tête du Canal Principal Haut-Service (CPHS) qui domine le périmètre, un ouvrage de tête morte particulièrement important doit être construit. Celui-ci comprend :

- Une galerie de 17 km scindée en deux tronçons :

* un premier tronçon dit **galerie d'amenée** long de 13,4 km ($\phi = 5,7$ m et $Q = 38$ m³/s) reliant la retenue IM'FOUT à la station de pompage.

* un second tronçon dit **galerie de liaison** long de 3,6 km ($\phi = 4,5$ m et $Q = 19$ m³/s) reliant les ouvrages d'adduction des périmètres Haut et Bas-Service.

- Une station de pompage ($Q = 38$ m³/s et HMT = 40 m) assurant la liaison entre la galerie d'amenée et le Canal Principal.

b) Canal Principal

Le Canal Principal Haut-Service domine la totalité du périmètre Haut-Service. Ces caractéristiques principales sont les suivantes :

- Longueur du canal proprement dit : 134 km

- Débit en tête : 38 m³/s

- Cote du plan d'eau à l'origine : 220 NGM

- Longueur et débit des branches dérivées :

* branche 2 : 16 km et 7,2 m³/s en tête

* branche 3 : 14 km et 4,6 m³/s en tête

- Entre les différentes branches du Canal, trois emplacements de microcentrales offrent des possibilités hydroélectriques avec une production annuelle de 3,4 Mwh (environ 2,4 MDH/an).

Il s'agit d'un canal trapézoïdal revêtu en béton, ayant une pente moyenne de 0,15 m/km. Son mode de régulation consiste en :

- une régulation mixte du PK 0 au PK 54, avec une réserve en ligne de 400.000 m³,

- une régulation par l'aval (vannes AVIS) pour le reste du canal.

3.2. Périmètre irrigué

La superficie nette irriguée totale du projet Haut-Service est de 63.927 hectares, dont 61.866 hectares irrigués gravitairement et 2.061 hectares irrigués par aspersion. Dans ce dernier cas, il s'agit d'une mise en charge directe à partir du Canal Principal.

La réalisation du projet est prévue sur dix ans environ. Le périmètre est découpé en quatre tranches qui feront l'objet d'étude et de travaux distincts :

- Tranche 1 : 16.761 Ha nets (Tête Morte + CPHS du PK 0 - PK 56,5)

- Tranche 2 : 17.327 Ha nets (CPHS du PK 56,5 - PK 76,3)

- Tranche 3 : 16.987 Ha nets (CPHS du PK 76,3 - PK 101,0)

- Tranche 4 : 12.852 Ha nets (CPHS du PK 101,0 à la fin).

3.3. Assolements - occupation du sol

Les structures juridiques de la propriété foncière seront transformées par l'opération de remembrement, préalable à la mise en valeur du périmètre.

A partir des éléments disponibles au niveau de la répartition des propriétés, 5 modèles d'exploitation ont été déterminés. La répartition des superficies pour les 5 modèles représentatifs des 5 classes de taille s'établit comme suit :

Tableau 5 : Structure foncière du périmètre Haut-Service des ABDA-DOUKKALA

Modèle	SAU brute (Ha)	SAU nette irriguée (Ha)	Classe	Part de la SAU
Modèle 1	0,5	0,45	0 - 1 Ha	11%
Modèle 2	1,55	1,40	1 - 2 Ha	12%
Modèle 3	4,4	4,0	2 - 5 Ha	24%
Modèle 4	8,8	8,0	5 - 10 Ha	20%
Modèle 5	22,2	20,0	> 10 Ha	33%

L'assolement quadriennal en trame B a été appliqué pour tous les modèles à l'exception du modèle 1 pour lequel un assolement triennal en trame A a été retenu.

La répartition culturale en % de la SAU se présente comme suit :

- * Blé tendre : 33%
- * Betterave à sucre : 26%
- * Maraîchage : 27%
- * Cultures fourrages : 39%
- * Autres (soja, maïs) : 7%

Soit un taux d'intensification moyen des assolements de 132%.

IV/ JUSTIFICATION ECONOMIQUE DU PROJET

4.1. Coût du projet

Les coûts d'investissement sont évalués aux conditions économiques de 1988, date à laquelle ont été également étudiés les avantages du projet.

Le montant total du projet s'élève à 4.966 millions de dirhams, dont 1.594 millions de dirhams en devises.

La répartition du coût du projet par composante se présente ainsi :

* Galerie	:	685 MDH
* Station de pompage	:	173 MDH
* Canal Principal	:	794 MDH
* Branches dérivées	:	85 MDH
* Canaux de jonction	:	130 MDH
* Micro-centrales	:	22 MDH
* Nivellement	:	474 MDH
* Réseaux irrigation + Drainage	:	1.628 MDH
* Pistes	:	406 MDH
* Assainissement externe	:	287 MDH
* Autres (électricité, centres d'encadrement, etc.)	:	145 MDH
* Etudes et surveillance	:	137 MDH

Total (TTC. Prix Janv. 1988) **4.966 MDH**

4.2. Production additionnelle

Le projet prévoit le remplacement d'une production à faibles rendements en sec par une production végétale et un élevage intensifs en irrigué, incluant une forte augmentation des productions sucrières, céréalières et laitières qui contribueront à l'auto-satisfaction des besoins alimentaires de base du Maroc.

En période de croisière, les productions additionnelles seront les suivantes :

- * Blé : 72.645 tonnes
- * Maïs : 18.385 tonnes
- * Betterave sucrière : 1.202.095 tonnes, soit 216.375 tonnes de sucre
- * Soja : 1.917 tonnes
- * Maraîchage : 387.250 tonnes
- * Lait : 138 millions de litres
- * Viande : 7.938 tonnes

4.3. Intérêt économique du projet

L'intérêt économique du projet est apprécié à travers trois rubriques qui sont l'emploi, la rentabilité des investissements et la balance des paiements.

a) L'emploi

La réalisation du périmètre permettra la création des emplois supplémentaires suivants :

	Emplois saisonniers	Emplois permanents
- Agriculture-élevage	22.900	10.100
- ORMVAD-secteurs coopératifs	-	900
- Agro-industries	600	650
	-----	-----
Total	23.500	11.650

En plus des emplois générés par le projet dans les branches du commerce et des services annexes.

Le projet contribuera donc à réduire largement le sous-emploi existant dans le secteur agricole, dans les deux provinces concernées, et à réduire, en conséquence, l'exode rural.

b) Rentabilité économique

La rentabilité économique du projet pour la Collectivité Nationale a été appréciée en calculant le Taux de Rentabilité Interne Economique (T.R.I.E.) du projet. Celui-ci résulte de la prise en compte de tous les coûts du projet à l'exception de ceux qui sont imputables pour partie ou en totalité à d'autres projets, tel que :

- protection contre les crues d'El-Jadida : non imputé au projet,

- assainissement externe : étant donné que les effets indirects des ouvrages d'assainissement se font sentir à la fois sur le périmètre Bas-Service et les zones bour situées à l'aval et permettant la création de 1.500 ha de petite et moyenne hydraulique, les coûts de cette composante sont pris en compte dans le projet à hauteur de 50%.

- galerie de liaison Haut-Service/Bas-Service : cette galerie, qui permet d'alimenter le périmètre Bas-Service et la ville de Safi en cas de défaillance ou de réfection sur le tunnel d'Im'Fout, n'est pas imputée au projet.

Les coûts économiques utilisés sont obtenus en diminuant les coûts financiers du montant des taxes et droits de douane, soit

entre 14 et 21% du coût TTC. Ces coûts sont ventilés en dirhams et en devises.

Les bénéfices du projet ont été estimés en fonction des dates de mise en eau des différentes tranches et en supposant une montée en régime de 5 ans pour les productions végétales et de 10 ans pour les productions animales (constitution d'un cheptel de race croisée) après la mise en eau.

Les charges et productions des exploitations ont également été évaluées en prix économiques par la prise en compte des prix de substitution sur le marché mondial.

Les tests de sensibilité du T.R.I.E. à différents paramètres sont résumés dans ce qui suit :

- Solution de base : 13,2%
- Rythme d'équipement ralenti de 3 ans : 11,7%
- Coûts d'investissement + 10% : 11,9%
- Energie augmentée de 25% : 13,1%
- Rendements ou prix diminués de 10% : 11,5%
- Retard dans la montée en régime : 12,7%

L'ensemble de ces résultats traduit une bonne rentabilité du projet. Il apparaît clairement que l'atteinte des objectifs agricoles joue un rôle prépondérant dans la réussite du projet.

c) Balance des paiements

La réalisation du projet se traduit par une couverture accrue des besoins alimentaires nationaux et par une réduction des importations alimentaires. Comme les investissements comportent essentiellement du génie civil dont la part en devises est moyennement importante, le projet se traduit donc globalement par une forte rentabilité de la part en devises (20,6%) et par un effet positif sur la balance des paiements (750 MDH/an en régime de croisière).

V/ CONCLUSION

L'équipement hydro-agricole du Périmètre Haut-Service des ABDA-DOUKKALA a fait l'objet d'une première étude de facilité en 1981. Celle-ci a abouti à une faible rentabilité économique du projet (T.R.I.E. = 5,4%).

La conclusion de la présente étude est nettement plus favorable et ce pour deux raisons essentielles :

- L'augmentation de la dotation du périmètre à 550 Hm³ permet de mieux rentabiliser les ouvrages de tête morte.

- L'adoption de l'irrigation gravitaire diminue les charges annuelles.

- L'équipement touche une zone plus étendue en particulier dans la province de SAFI où des potentialités agricoles importantes nécessitent le recours à l'irrigation.

L'obtention des objectifs à ce projet nécessite cependant un effort soutenu de la part des pouvoirs publics concernant la mobilisation de ressources financières et humaines, ainsi qu'un effort d'encadrement et de vulgarisation agricole de la part de l'ORMVAD permettant aux agriculteurs de bien valoriser les équipements mis à leur disposition.



الشركة المركزية لتجهيز البلاد المغرب
SOCIÉTÉ CENTRALE POUR L'ÉQUIPEMENT DU TERRITOIRE - MAROC

SCET.MAROC

Société anonyme au capital de 3 800 000 DH.

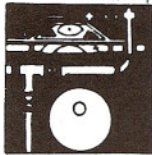
RABAT Tel (07) 320 22 / 320 23 / 304 49 / 53. 20

30, Charia Al Alaouyne - RABAT - Telex n° 31 9037 M

Filiale CAISSE DE DEPOT ET DE GESTION - C.D.G.

NIVEAU DES ETUDES

Etude Générales. Plans Directeurs
Factibilité Avant-projet sommaire
Avant-projet détaillé. Projet d'exécution



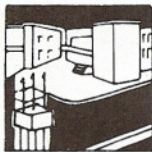
DEPT. INFRASTRUCTURES URBAINES

Alimentation en eau potable
(Adduction, distribution)
Assainissement. Traitement d'eau potable
et usée. Stations de pompages. Equipement
de lotissements VRD



DEPT. DEVELOPPEMENT AGRICOLE ET RESSOURCES EN EAU

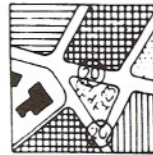
Inventaire des ressources en eau
Pédologie et classement des sols Inventaires
culturels. Etudes agroéconomiques. Aména-
gements hydroagricoles. Barrages collinaires
Ouvrages hydrauliques



DEPT. BATIMENT - BETON ARME

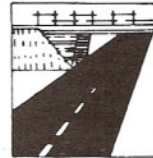
Toutes études bâtiments tous corps d'état.
Ensembles immobiliers. Complexes. Hôtelliers
et touristiques. Ensembles Hospitaliers -
Ensembles Industriels Programmes -
Education: Lycées techniques -
Facultés E.N.S.

Dossiers de consultation des entreprises
Contrôle général des travaux
Ordonnancement, pilotage et coordination



CELLULE URBANISME

Schéma. Directeurs d'aménagement et
d'urbanisme. Aménagement de quartiers.
Etudes de plans masse et de lotissement



CELLULE TRAVAUX PUBLICS ET OUVRAGES D'ART

Etudes routières routes nouvelles.
Confortement et réaménagement routes
existantes. Carrefours. Ouvrages portuaires
et ferroviaires. Ouvrages d'art



CELLULE INFORMATIQUE

Réalisation et exploitation de logiciels
en gestion et calcul scientifique. Mise
en place de systèmes organisationnels
et informatiques.