

N O T I C E

THIS DOCUMENT HAS BEEN REPRODUCED FROM
MICROFICHE. ALTHOUGH IT IS RECOGNIZED THAT
CERTAIN PORTIONS ARE ILLEGIBLE, IT IS BEING RELEASED
IN THE INTEREST OF MAKING AVAILABLE AS MUCH
INFORMATION AS POSSIBLE

Available under NASA sponsorship
for a number of years, and wide dis-
tribution of Earth Resources Survey
Product information and without liability
if the size needed is not.

RECEIVED

OCT 8 1980

520-00

520-005

Type II

(E81-10039) THE EVALUATION OF EVAPORATION N81-12521
BY INFRARED THERMOGRAPHY: A CRITICAL
ANALYSIS OF THE MEASUREMENTS ON THE CRAU
TEST SITE (Institut National de la Recherche Agronomique) 15 p HC A02/MF A01 CSCL 05B G3/43 00039
Unclas

NEWSLETTER
16

TELLUS PROJECT

UTILISATION DE LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE POUR L'ESTIMATION
DE L'EVAPORATION . ANALYSE CRITIQUE DES RESULTATS DES MESURES
SUR LE SITE DE LA CRAU

(The Evaluation of Evaporation by Infrared Thermography : A Critical Analysis of
the Measurements on the Crau Test Site)

by : B. Seguin

Station de Bioclimatologie I.N.R.A. Centre de Recherches d'Avignon
F - 84 140 Montfavet, France

and

V. Petit

Centre d'Informatique Géologique. Ecole des mines de Paris
F - 77 305 Fontainebleau, France

with the collaboration of

R. Devillard, P. Reich and G. Thouy

Correspondence regarding this series of newsletters should be addressed to:

*P. REINIGER Commission of the European Communities
JOINT RESEARCH CENTRE
I - 21020 Ispra (Varese) - Italy*

ABSTRACT

Continuous measurements of the energy balance and of the radiometric surface temperature have been carried out for two years, simultaneously in the irrigated and dry zone of the Crau test site. The measurements covered the period July - October 1978 and April 1979 - March 1980.

Evapotranspiration was calculated for both the dry and irrigated zone by four methods which were compared with the energy balance method serving as a reference.

Two of the four methods did not involve the surface temperature. They are $ET_{Rn} = R_n$, liable to be valid under wet conditions and $ET_{eq} = (\Delta/\Delta+\gamma)R_n$ i.e. the first term of Penman's equation, adapted to moderately dry conditions.

The methods using surface temperature were the combined energy balance-aerodynamic approach (ET_{TS}) and a simplified approach proposed by Jackson et al. (ET_{JT}).

The tests showed the two surface temperature methods to give relatively satisfactory results both in the dry and wet zone, with a precision of 10-15% compared with the reference method. As was to be expected, ET_{eq} gave satisfactory results only in the dry zone and ET_{Rn} in the irrigated zone.

Although thermography increased the precision in the estimate of ET relative to the most suitable "classical" method by only 5-8%, its great advantage lies in its equal suitability for both dry and wet conditions. The use of the ET_{JT} method was found to be especially attractive as it does not require extensive ground measurements and the evaluation of the surface roughness.

I - INTRODUCTION

Les méthodes possibles d'estimation, ainsi que l'intérêt, de l'évapotranspiration réelle ETR à l'échelle d'espace dite "régionale" (intermédiaire entre l'échelle purement locale de qq m² et l'échelle globale des grands bassins versants de l'ordre de 10⁵ à 10⁶ km²) ont été présentés et discutés dans des publications précédentes (SEGUIN 1979, SEGUIN 1980). Dans ces mêmes publications a été analysée, de façon détaillée, la méthodologie possible d'utilisation de la thermographie I.R. dans l'optique d'une application opérationnelle de la télédétection par satellite. Cette méthodologie a pu être testée, dans le double cadre du projet européen TELLUS d'utilisation du satellite HCMH, coordonné par le CCR de la Commission des Communautés Européennes d'Ispra (Italie), et de l'ATP - DGRST "maîtrise de l'eau en milieu méditerranéen", sur le site de la Crau dans le Sud-Est de la France.

Les particularités de ce site ont été décrites par ailleurs (SEGUIN 1980). La présence de zones très contrastées du point de vue hydrique et, par ailleurs, de dimensions largement suffisantes pour l'application de la télédétection par satellite (de l'ordre de 100 km² pour la zone sèche et de 10 à 30 km² pour les zones irriguées) ont permis d'aborder réellement le problème de l'utilisation de ces données. Les résultats obtenus par le CTAMN de l'Ecole des mines à Sophia Antipolis, à partir des données de NOAA - 5, sont publiés par ailleurs (thèse de S. BAELZ, en cours de rédaction). Quant aux données d'HCMH, elles sont en cours d'étude à l'heure actuelle.

Parallèlement à ces travaux, l'analyse des mesures au sol effectuées pendant les années 1978 et 1979, en utilisant la température de surface T_s déterminée par un radiothermomètre I.R. à 2 m du sol, permet de préciser la méthodologie qui doit être mise en oeuvre pour l'utilisation de ces données de satellite, indépendamment de tous les problèmes spécifiques à celles-ci (calibration, fréquence de passage, résolution spatiale, etc...).

Le but de cet article est de présenter les principaux résultats obtenus et les premières conclusions qu'il est possible d'en tirer en vue d'une application opérationnelle ultérieure de la télédétection.

II - LES MESURES AU SOL

Les mesures au sol ont été effectuées sur deux stations identiques d'enregistrement automatique des paramètres du bilan d'énergie installées, l'une en zone irriguée (Z.I), l'autre en zone sèche (Z.S). Pour chaque site étaient enregistrés, au rythme d'une scrutation toutes les 10 minutes, sur un dispositif Schlumberger Solartron 3430 A à bandes magnétiques sur cassettes, les paramètres suivants : rayonnement net R_n, flux de chaleur dans le sol S, températures sèche et humide T_a et T_h de l'air à 0.30 et 2.00 m, température de surface T_s par radiothermomètre HEIMANN KT - 24, vitesse du vent U à 2 m, ainsi que les températures dans le sol à - 10 cm et - 50 cm. Les données recueillies étaient ensuite traitées sur l'ordinateur de la Station de Biométrie I.N.R.A. du Centre d'Avignon pour en déduire des valeurs élaborées à l'échelle horaire, obtenues par la moyenne des 6 valeurs instantanées.

Les deux sites ont été suivis simultanément durant 4 mois au cours de l'été 78 (début juillet à mi-octobre) et durant une année entière d'avril 79 à mars 80. Pour ce travail méthodologique, seules ont été considérées les données de la période estivale (fin mai à début septembre) de cette dernière année, de façon à pouvoir travailler sur des périodes de fort rayonnement solaire et de contraste hydrique maximum.

L'ensemble de ces deux périodes de 4 mois pour les étés 78 et 79 n'est malheureusement pas complètement disponible, du fait des divers incidents de fonctionnement suivants :

- en grande majorité, enregistrement défaillant par la suite du fonctionnement defectueux de l'acquisition de données (rejet de cassettes, en particulier) introduisant des journées manquantes en totalité ou partie ;
- par épisodes, valeurs subitement aberrantes de la mesure de R_n ;
- en quelques occasions, défaillance d'alimentation en eau des psychromètres.

Afin d'éviter d'introduire des risques d'erreur, toute journée d'enregistrement pour lequel en défaut sur l'un ou l'autre des paramètres a été constaté, a été systématiquement rejetée. Compte-tenu de cette sélection, il se trouve que les journées disponibles portent surtout sur la zone irriguée (Z.I) en 78 et sur la zone sèche (Z.S) en 79.

Pour 78, du 29 juin au 14 octobre (108 jours), 97 journées sont disponibles en Z.I et 33 en Z.S. Pour 79, du 11 avril au 28 avril (137 jours), 98 journées sont disponibles en Z.S et 33 en Z.I.

Compte-tenu de la nécessité, d'une part, de disposer d'un grand nombre de journées, d'autre part, que celles-ci appartiennent, le plus possible, à une série continue dans l'optique d'obtenir des valeurs d'évaporation à l'échelle la plus adaptée aux utilisations d'ordre agrométéorologique ou hydrologique (c'est-à-dire la semaine ou, plus couramment, la décade), l'analyse des résultats porte donc essentiellement sur l'été 78 en Z.I et l'été 79 en Z.S.

III - LES METHODES MISES EN COMPARAISON

Les méthodes possibles d'utilisation de la thermographie I.R ont été décrites et discutées par ailleurs (SEGUN 1979). Dans la mesure où le concept d'inertie thermique apparaît plein d'enseignements pour une discrimination qualitative de l'état de sécheresse des différentes surfaces, mais ne peut être relié que tout à fait empiriquement au niveau quantitatif de l'évaporation, c'est essentiellement l'approche basée sur l'utilisation du bilan d'énergie qui a été approfondie.

3.1. L'évaporation calculée à partir de Ts ET_{TS}

L'équation du bilan d'énergie s'écrit :

$$ET = R_n - S - \rho C_p h (T_s - T_a) \quad (1)$$

Les mesures au sol ont été utilisées pour calculer en permanence, au même rythme de scrutation que les autres paramètres l'évaporation ET_{TS} basée sur l'application de l'équation (1) avec

- R_n, S, T_s et T_a mesurés
- le coefficient d'échange turbulent h estimé d'après les lois courantes de la couche de surface, se traduisant par la relation

$$h = \frac{k u_*}{\text{Log} \frac{z-d}{z_0}} F_2 \left(\frac{z}{L} \right)$$

où u* est la vitesse de frottement dérivée de la vitesse du vent U mesurée à 2 m par la relation $u(z) = \frac{U_*}{k} \text{Log} \frac{z-d}{z_0} F_1 \left(\frac{z}{L} \right)$, k la constante de Von Karman = 0.4, z₀ le paramètre de rugosité et d la hauteur de déplacement de la surface. F₁ (z/L) et F₂ (z/L) sont les corrections de stabilité en fonction de la longueur de MONIN-OBLIKHOV L couramment appliquées dans ce domaine (voir, par exemple, SOER 1977).

Ainsi qu'il a été précisé dans la publication II, l'estimation d'ET_{TS} est particulièrement sensible à la valeur choisie du paramètre de rugosité z₀, et ceci d'autant plus que la surface est sèche. L'estimation retenue de z₀ est z₀ = 0.1 H, avec d = $\frac{2}{3}$ H, H étant la hauteur moyenne du couvert végétal. En Z.I, pour l'été 78, celle-ci a été mesurée à différentes périodes et son évolution reconstituée approximativement par une relation linéaire entre deux mesures. Pour Z.S, la valeur choisie de H a été 1 cm. Des mesures spécifiques de profils de vent, effectuées en juillet 79, ont confirmé la validité de ce choix, la valeur moyenne de z₀ obtenus sur 9 profils durant 10 minutes étant de 2 mm.

Les valeurs journalières d'ET_{TS} sont dérivées de l'intégration des valeurs instantanées basées sur les paramètres mesurés à cette même échelle de temps. Une telle méthode ne pourrait donc être directement appliquée à la télédétection que dans le cas de données satellitaires disponibles de façon permanente à cette échelle de temps, c'est-à-dire pratiquement dans le cas de satellites géostationnaires tels que Météosat, par exemple. Dans le cas contraire, où les données sont disponibles seulement une fois par jour (NOAA, TIROS-N) ou même moins (HCMA), cette procédure de calcul d'ET_{TS} ne peut être mise en oeuvre que pour obtenir une valeur instantanée, au moment du passage du satellite, et des procédures relativement complexes devront être mise en oeuvre pour reconstituer la valeur journalière à partir de cette indication ponctuelle.

C'est ce qui a conduit JACKSON et al. (1977) à proposer une procédure simplifiée permettant d'obtenir directement la valeur journalière.

3.2. L'évaporation journalière par thermographie d'après JACKSON et al ET_{JT}

L'approche simplifiée présentée par JACKSON et al (1977) est basée sur l'équation suivante (2)

$$ET_j = Rn_j - B (T_s - T_a)$$

où l'évaporation à l'échelle journalière ET_j est calculée à partir du rayonnement net journalier Rn et de la valeur instantanée de $T_s - T_a$, de préférence au voisinage du maximum de température (par exemple à 13 H 00 TU).

Elle revient, en fait, à supposer :

- 1 - qu'une valeur instantanée du flux de chaleur sensible H est suffisamment représentative, en moyenne sur un échantillon de plusieurs jours, du flux H_j correspondant à l'échelle de la journée ;
- 2 - que, de plus, et toujours en valeur moyenne, le coefficient d'échange h peut être assimilé à une constante B .

Des mesures préliminaires, effectuées sur une parcelle de gazon à Avignon au cours de l'année 1977, nous avaient permis d'établir (SEGUN 1979) que le principe de la procédure n'était pas irréaliste, mais que le principal problème résidait dans la connaissance du paramètre B , celui-ci risquant de dépendre à la fois du type de climat et du couvert végétal considéré. Une valeur beaucoup plus faible de B , en particulier, avait été obtenue (pour des résultats exprimés en $mm \cdot j^{-1}$ d'évaporation, de l'ordre de 0.05 contre 0.64 sur le blé à Phoenix dans l'expérience de JACKSON et al).

Il était donc intéressant d'utiliser les données de la Crau pour tester cette approche : c'est ce qui a été fait sur des mesures de l'été 78, en sélectionnant les journées où l'ensemble des mesures était disponible simultanément sur la Z.S et la Z.I. 32 journées ont ainsi pu être traitées, les résultats obtenus étant reportés sur la figure 1.

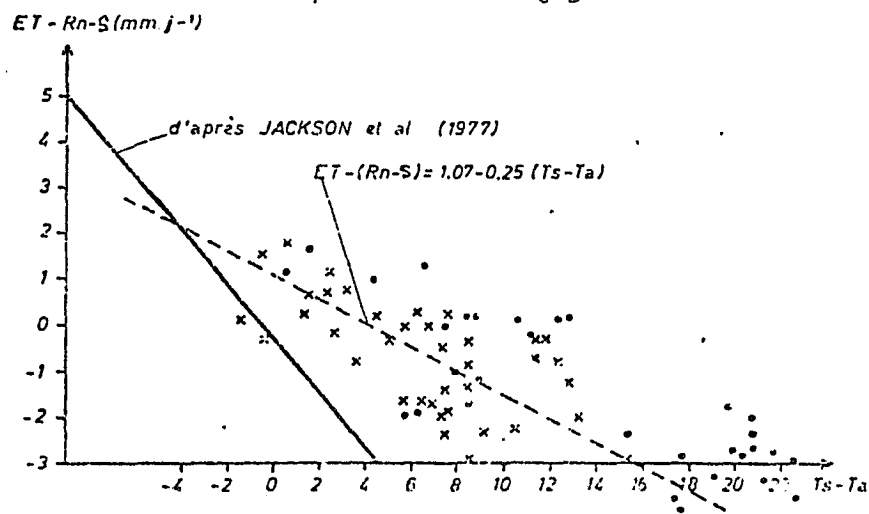


Fig. 1 - Relation entre $ET - (Rn - S)$ et $T_s - T_a$ pour 32 journées de l'été 78 sur le site de la Crau (x Z.I., • Z.S)

Il doit être précisé que la valeur d' ET pris en compte est la valeur de référence, déterminée par la méthode classique du rapport de BOWEN et donc indépendante de la thermographie I.R.

L'examen de la figure 1, appelle plusieurs commentaires.

- En premier lieu, sur le jeu de données disponibles, le bien fondé de cette procédure simplifiée est confirmé. En dépit d'une dispersion inévitable (le coefficient de corrélation r est égal à 0.67), l'utilisation de la droite de régression qui s'établit ainsi :

$$ET_{JT} = R_n - S + 1.0 - 0.25 (T_s - T_a) \quad (3)$$

(la valeur des flux étant exprimée en $\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}$) permet l'approximation des valeurs individuelles journalières à $\pm 1.5 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$.

Il faut noter que la relation obtenue fait intervenir une ordonnée à l'origine de $1.0 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$, contrairement à celle établie par JACKSON et al, qui avaient introduit la condition de passage par $ET = 0$ quand $T_s - T_a = 0$. Cette condition ne nous semble pas obligatoire, dans la mesure où $T_s - T_a = 0$ implique un flux de chaleur sensible $H = 0$ durant la journée, mais la période de nuit, à elle seule, peut effectivement introduire un écart entre ET et R_n de l'ordre de $1 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$.

- Le point intéressant à noter, pour cette relation, est qu'elle incorpore à la fois les données de Z.S et de Z.I. Elle intègre donc, non seulement une gamme de contraintes hydriques étendue, mais également deux surfaces très différentes : un couvert continu herbacé de prairie de hauteur évoluant entre 10 et 50 cm au cours de la saison en Z.S, un sol nu caillouteux recouvert de végétation éparse et rase.

Sans prétendre donc que la relation soit valable pour tous les types de couverts (cas des formations arbustives et des forêts, par exemple), il est au moins intéressant de constater qu'elle s'applique à ces deux types de couverts.

- Enfin, les valeurs obtenues sont très différentes de celles de JACKSON et al, qui s'exprimaient, rappelons-le, par la relation $ET = R_n - 0.64 (T_s - T_a)$. Un tel écart peut s'expliquer par la variation de climat et de couvert végétal entre les deux séries d'expériences. Une analyse approfondie des conditions d'expérimentation de Phoenix conduit cependant à penser que les valeurs rapportées par JACKSON et al sont, en grande partie, influencées par des conditions d'advection locale résultant de la faible dimension des parcelles élémentaires ($12 \text{ m} \times 90 \text{ m}$). En particulier, la gamme d'écart $T_s - T_a$ observés se situe dans le domaine de $T_s - T_a < 0$, qui doit représenter une situation tout à fait exceptionnelle dans le cas des parcelles homogènes de grande étendue (de l'ordre minimal de $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$) repérables en télédétection à l'heure actuelle.

Il est donc possible de supposer que la relation établie sur les sites de la Crau serait beaucoup plus représentative des surfaces naturelles à prendre en compte pour la télédétection que celle de JACKSON et al. mais cette hypothèse demande à être vérifiée sur d'autres sites.

Quoiqu'il en soit, la relation (2) a ensuite pu être testée sur les séries de données précisées plus haut, qui constituent un ensemble indépendant de celui sur lequel elles ont été établies.

3.3. Les estimations sans apport de la thermographie ET_{RN} et ET_{eq}

Pour établir, sur les sites de la Crau, la validité des deux méthodes incorporant l'apport de la thermographie ET_{TS} et ET_{JT} , les estimations journalières correspondantes ont été comparées aux valeurs de référence mesurées sur les sites par la méthode du bilan d'énergie ET_{BE} .

Il est apparu, en outre, souhaitable d'effectuer la comparaison avec les estimations simplifiées qui peuvent être utilisées en hydrologie, de façon à réellement établir la portée de l'apport spécifique éventuel que l'on peut espérer de la télédétection. Dans cette optique, et en excluant le calcul d'ET par des modèles de bilan hydrique (qui supposent connues les réserves utiles RU des surfaces concernées, ainsi que les apports d'irrigation dans la Z.1), deux approximations sont envisageables.

- Soit $ET = R_n$ (HLAVEK et al 1974), reprise dans l'optique de la télédétection par VUILLAUME et al (1976), et dont il est possible de penser, a priori, par l'analyse des connaissances courantes dans ce domaine, qu'elle risque d'être satisfaisante dans des conditions proches de l'ETP, mais très surestimée en conditions sèches ;
- Soit $ET = ET_{eq} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n$ (PERRIER 1977), qui correspond à la définition de l'"évaporation à l'équilibre", équivalente au 1er terme de l'équation de PENMAN, et dont différents auteurs ont montré, ces dernières années, qu'elle constituait une approximation valable en conditions modérément sèches.

Ces deux estimations, appelées respectivement ET_{RN} et ET_{eq} , ont donc été introduites dans la comparaison portant sur les séries de l'été 78 en Z.1 et 79 en Z.S.

IV - ANALYSE DES RESULTATS ET CONCLUSIONS

Les valeurs journalières obtenues par ces 4 méthodes d'estimation sont comparées aux valeurs de référence ET_{BE} dans les figures II (Eté 78 Z.1) et III (Eté 79 Z.S).

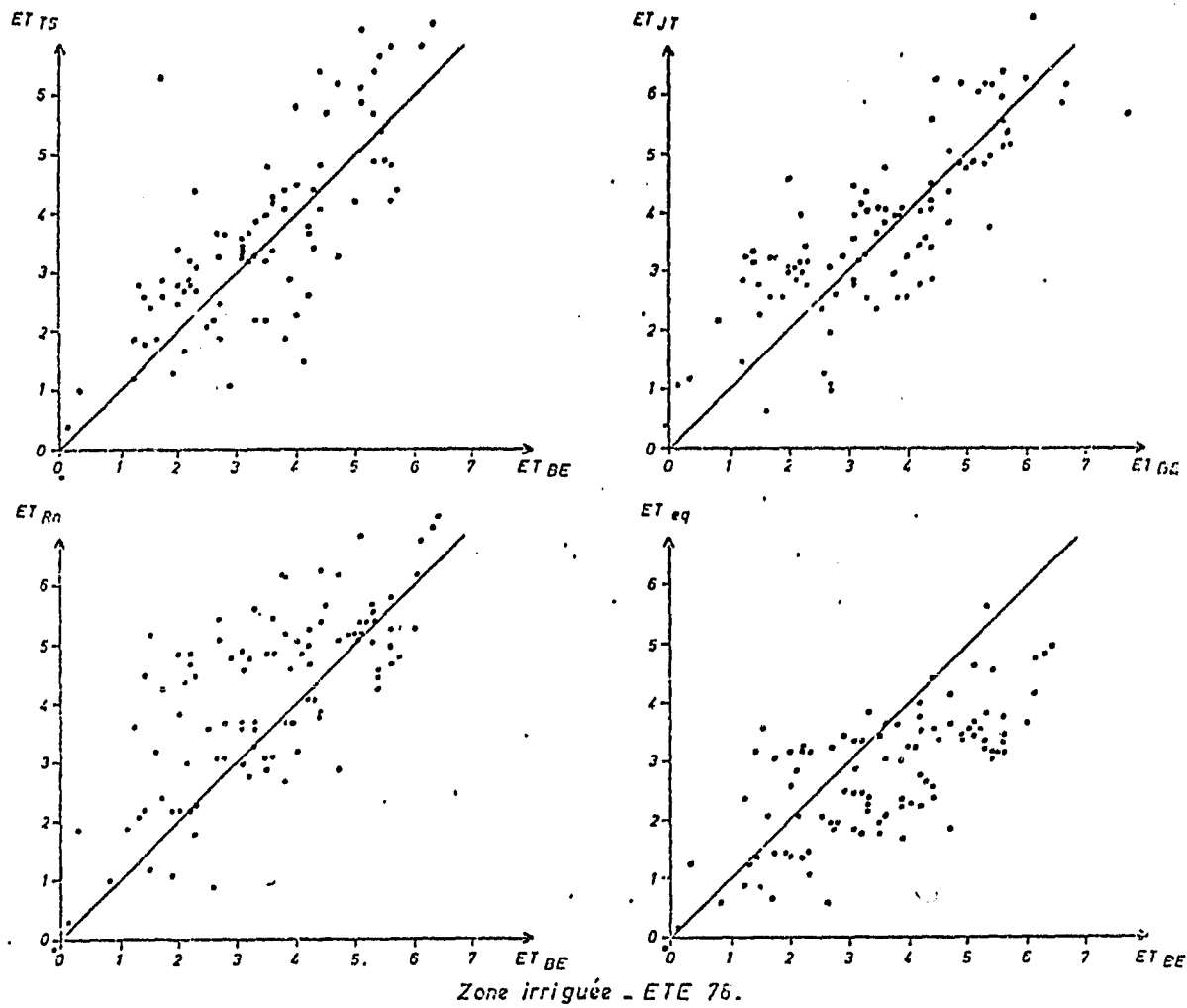


Fig. 1 - Comparaison des valeurs journalières obtenues par les différentes méthodes d'estimation (a) ET_{TS} b) ET_{JT} c) ET_{RN} d) ET_{eq} pour 97 journées de l'été 78 en Z.I.

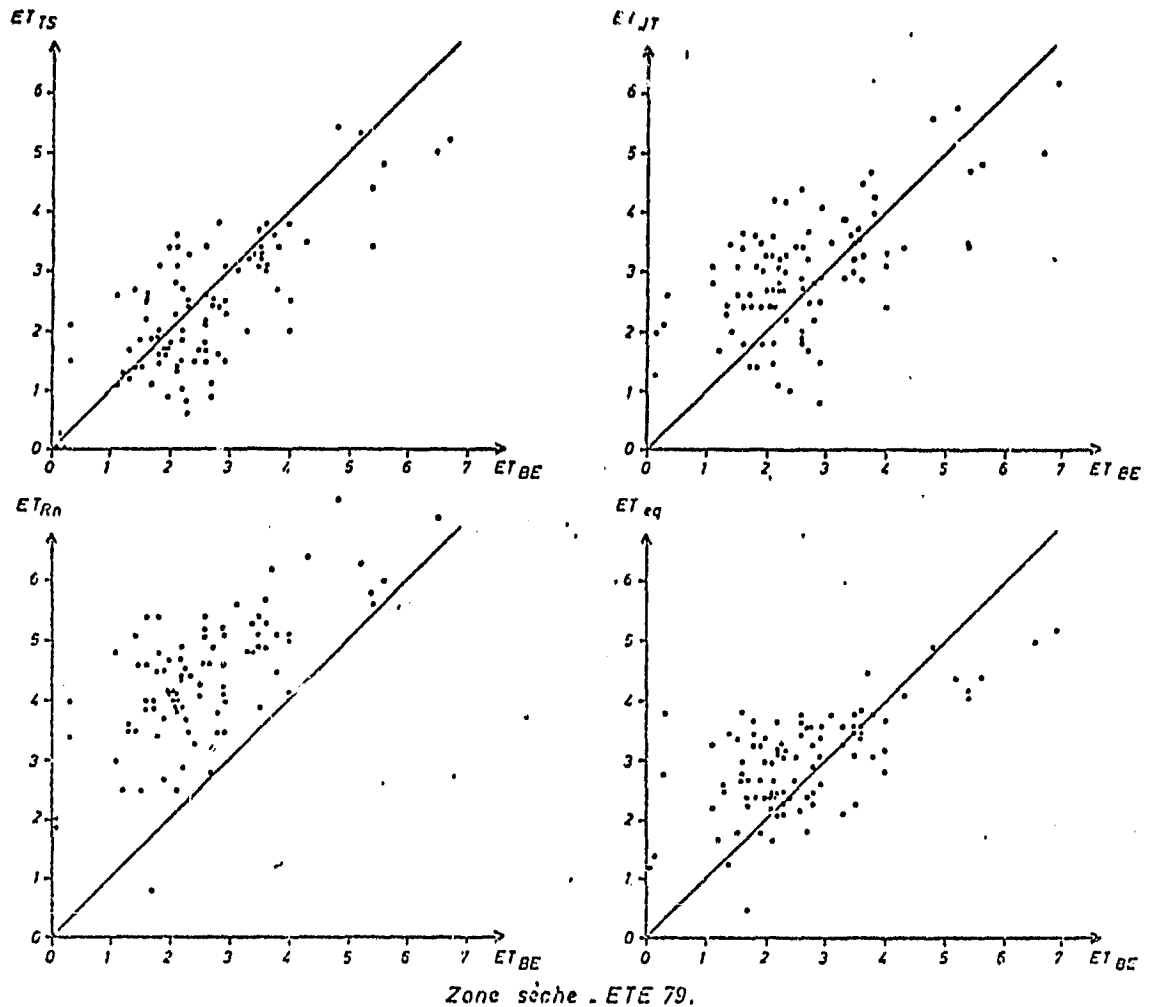


Fig. III - Comparaison des valeurs journalières obtenues par les différentes méthodes d'estimation (a) ET_{TS} b) ET_{JT} c) ET_{RN} d) ET_{eq}) pour 98 journées de l'été 79 en Z.S.

Au vu de ces comparaisons, il apparaît :

- d'une part que les deux méthodes basées sur la thermographie I.R ET_{TS} et ET_{JT} donnent des résultats relativement satisfaisants, en dépit d'une dispersion assez élevée des valeurs individuelles, et ceci sur les deux zones. Aucune des deux n'apparaît réellement plus performante que l'autre ;

- d'autre part, pour les méthodes plus classiques, des résultats d'une précision comparable à celle de ces deux méthodes peuvent être obtenues avec l'estimation $ET = R_N$ en zone irriguée et $ET = E_{eq}$ en zone sèche. Par contre, l'approximation ET_{RN} surestime nettement en zone sèche, alors que E_{eq} sous-estime en zone irriguée.

Ces appréciations peuvent être précisées et quantifiées par le calcul des valeurs cumulées sur l'ensemble de la période de mesures (les journées manquantes ayant été éliminées), ainsi que le montrent les figures IV et V, où ont été portées en plus les valeurs de l'ETP calculées par la formule de PENMAN à titre de référence.

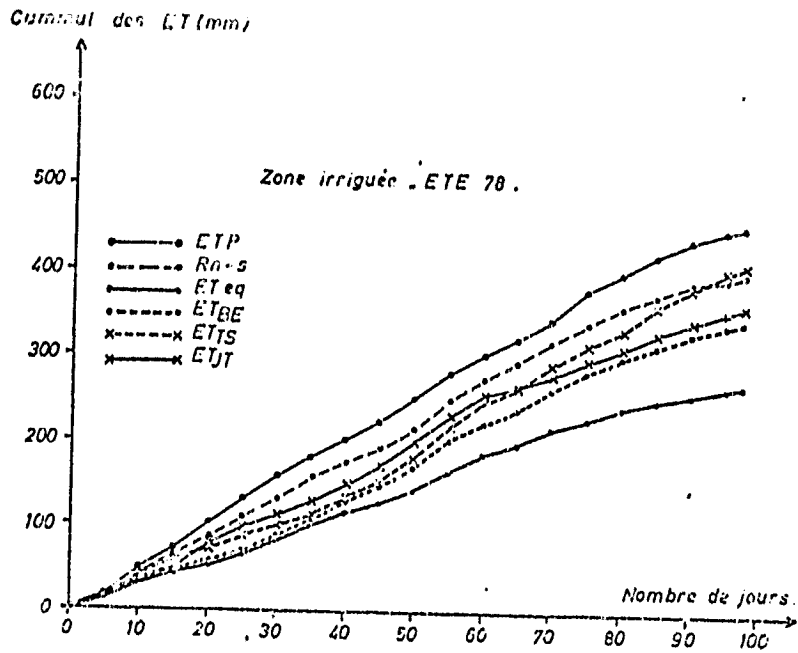


Fig. IV - Cumul des valeurs d'évaporation sur la série journalière de l'été 78 Z.I.

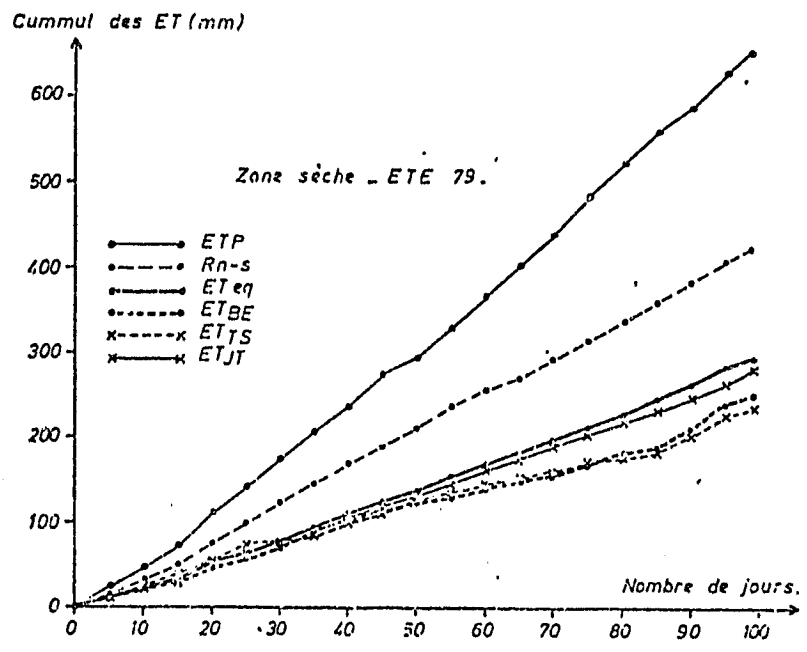


Fig. V - Cumul des valeur d'évaporation sur la série journalière de l'été 79 Z.S.

Dans le cas de la zone irriguée, seule l'approximation ET_{JT} donne une précision satisfaisante sur le cumul (+ 12 %). ET_{TS} dérive à partir de la moitié de la période de mesures pour aboutir à une surestimation de 20 %, comparable à celle de ET_{RN} , alors que ET_{eq} sous-estime nettement et de façon permanente (- 22 %).

Pour la zone sèche, aussi bien ET_{JT} qu' ET_{TS} donnent des ordres de grandeur acceptables (+ 13 % et - 8 % respectivement), ainsi qu' ET_{eq} (+ 16 %), alors qu' ET_{RN} apparaît tout à fait inadapté.

Ces résultats chiffrés peuvent être déduits du tableau ci-après, où sont présentées les valeurs cumulées sur l'ensemble de la période, ramenées en $mm \cdot j^{-1}$ à titre de comparaison.

	ETP	ET_{BE}	ET_{TS}	ET_{JT}	ET_{RN}	ET_{eq}
Été 78	2.1	4.7	3.5	4.2	4.0	4.1
Été 79	2.5	6.7	2.6	2.4	2.9	4.4

Ces résultats amènent les conclusions provisoires suivantes, valables évidemment uniquement pour le site de la Crau et demandant à être confirmées par la suite.

- L'utilisation de la thermographie I.R à l'aide d'un dispositif complémentaire important au sol permet d'obtenir une estimation satisfaisante de l'évaporation journalière, avec une précision de l'ordre de 10 à 15 % par rapport à la mesure de référence fournie par le bilan d'énergie. Il ne faut pas oublier que celle-ci, elle-même, ne peut raisonnablement pas être estimée avec une précision plus importante.

- Compte-tenu des résultats comparables obtenus avec les deux méthodes, et dans une optique opérationnelle, la procédure simplifiée de JACKSON et al apparaît beaucoup plus indiquée. L'estimation par le biais d' ET_{TS} , qui met en jeu une mesure continue de tous les paramètres et, par ailleurs, fait apparaître une très forte sensibilité au paramètre Z_0 , difficilement estimable en routine, n'apparaît pas réellement supérieure. Dans ces conditions, elle doit être considérée beaucoup plus comme un outil méthodologique, pouvant servir de support à des modèles d'interprétation du type TELLUS (ROSLER et al 1978) que comme une méthode opérationnelle.

Par contre, la méthode donnée de la procédure de JACKSON et al pourrait déjà être utilisée opérationnellement sur le site de la Crau. Il reste, pour affirmer sa réelle valeur pratique, à évaluer la gamme de variation du coefficient B sur des surfaces naturelles variées et sous différents climats, en évitant d'effectuer les mesures correspondantes sur des surfaces de trop faibles dimensions.

11.

- De façon plus générale, le gain de précision apportée par la thermographie I.R par rapport aux méthodes beaucoup plus simplifiées n'est pas énorme : 5 à 8 % d'amélioration par rapport à ET_{RN} en zone irriguée et ET_{eq} en zone sèche. Cependant, son gros avantage est de pouvoir s'appliquer à l'une et l'autre zones, alors que l'une ou l'autre des estimations ET_{RN} et ET_{eq} ne s'applique qu'à une seule situation. C'est donc le principal intérêt de la thermographie I.R et son apport spécifique : s'appliquer avec le même ordre de grandeur de précision (10 à 15 %) aux différentes situations, ce qui n'est pas le cas des approximations $ET = R_n$ tout à fait fautive en conditions sèches ou $ET = E_{eq}$ nettement insuffisante en conditions irriguées.

Il reste à établir si cet avantage reste acquis lors du passage opérationnel à la télédétection, avec un minimum de mesures au sol. C'est le but des études en cours dans le cadre du programme Tellus et, en prolongation de l'ATP - DGRST, en liaison avec le CTAMN du Sophia - Antipolis.

§ § §

§

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

- HLAVEK R. et al, 1974 - Essai d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant : considérations théoriques et applications pratiques. Bull. AIMS, Vol 19, n° 4, p. 449-485.
- JACKSON R.D., REGINATO R.J. et IDSO S.B., 1977 - Wheat canopy temperature : a practical tool for evaluating water requirements. Wat. Res. Res Vol 13, n° 3, p. 651-656.
- PERRIER A., 1977 - Projet de définition concernant l'évapotranspiration en fonction de considérations théoriques et pratiques. La météorologie, VIe série, n° 11, p. 7-16.
- ROSEMA A. et al, 1978 - "Tell-us", a combined surface temperature, soil moisture and evaporation mapping. 12th Int. Symp. Rem. Sens. of Environment Manille, Philippines. Avril 1978.
- SEGUN B., 1979 - Application de la télédétection dans l'IR thermique à la détermination de l'évaporation et de l'humidité du sol. Cours FAO/OMM/ASE. Rome. Oct. 79, 11 pp.
- SEGUN B., 1980 - Détermination de l'évapotranspiration réelle ETR dans les bilans hydrologiques par télédétection en thermographie I.R. A paraître dans le Bull. AIHS.
- SOER G.J.R., 1977 - The Tergra model, a mathematical model for the simulation of daily behaviour of crop surface temperature and actual evapotranspiration. NIWARS Publ. n° 46, Delft - Pays Bas.
- VUILLAUME Y., BOSSARD R. et D. CHENOT, 1976 - Emploi du détecteur multispectral pour l'évaluation de l'évapotranspiration. Comm. présentée aux journées du GDPA, Toulouse, Sept. 1976, 15 pp.

§ § §

§