

Evaporation du sol nu en zone semi-aride et en conditions hivernales. Relations avec l'albédo et la température de la surface du sol

CH. RIOU ⁽¹⁾, J. P. LAGOUARDE ⁽²⁾ et R. CHARTIER ⁽³⁾

⁽¹⁾ Laboratoire de bioclimatologie, I. N. A. de Tunisie 43, avenue Ch. Nicolle, Tunis

⁽²⁾ Institut agricole de Medjez-el-Bab, Tunis

⁽³⁾ Mission O. R. S. T. O. M. de Tunisie, section hydrologie 18, avenue Ch. Nicolle, Tunis

Résumé

L'évaporation d'un sol nu dans le Sud Tunisien au mois de novembre, est mesurée après une pluie, ainsi que son albédo, sa température de surface et celle d'une parcelle maintenue humide par irrigation.

Les mesures font apparaître une chute rapide de l'évaporation par rapport à l'évaporation potentielle, malgré l'existence d'une réhumectation nocturne.

L'albédo, très sensible d'abord, évolue ensuite lentement et rend mal compte des derniers stades du dessèchement du sol. L'écart entre les températures de surface des deux parcelles suit par contre fidèlement la chute de l'évaporation et peut donc être considéré comme un bon témoin de ce phénomène.

Introduction

Le problème de l'évaporation du sol nu est intéressant à plus d'un titre : les conditions hydriques et thermiques de la couche superficielle du sol interviennent dans la germination des graines, la diffusion des engrais ou pesticides, la réaction du sol à la pluie, l'importance relative enfin des flux de chaleur et de vapeur d'eau qui commandent l'économie de l'eau du sol.

En zone méditerranéenne, et en particulier dans le Sud Tunisien où de vastes espaces n'ont pendant de longues périodes ou en permanence qu'un taux de couverture végétale faible ou nul, l'évaporation remet en circulation dans le cycle de l'eau une fraction de la pluie ; l'importance de cette fraction conditionne les possibilités de développement de la végétation et de l'alimentation des nappes.

Quelques études ponctuelles ont été effectuées sur ce sujet ; leur multiplication dans l'espace est difficile, aussi, espère-t-on actuellement des techniques de télédétection, des renseignements utilisables.

Dans ce travail ⁽¹⁾, nous avons étudié, dans la région de Gabès (Sud Tunisien), l'évolution de l'évaporation d'un sol nu après une pluie au mois de novembre ; nous avons également suivi corrélativement l'évolution de deux paramètres de surface susceptibles d'être liés au phénomène évaporatoire : l'albédo et la température de la surface du sol.

Dispositif expérimental

Le site choisi se trouve à 16 km au Nord-Ouest de la ville de Gabès (33° 55' Nord-9°58' Est, 180 mm de pluie par an), au sein d'une zone à très faible couverture végétale. Le sol est du type « Sierozem » relativement homogène sur les 90 premiers centimètres, de texture sablo-limoneuse et de faible rétention d'eau (environ 0,12 cm³ d'eau/cm³ de sol).

L'évaporation est mesurée par deux méthodes : méthode du bilan d'énergie et calcul des transferts turbulents. A cet effet sont mesurés et enregistrés de façon systématique :

- les rayonnements global, réfléchi, atmosphérique, le rayonnement net ;
- les températures et pressions de vapeur d'eau aux niveaux 4 et 118 cm ;
- les vitesses du vent aux niveaux 22 - 32 - 56 - 100 - 200 et 400 cm ;
- les températures du sol aux profondeurs 0 - 2 - 4 - 7,5 - 14 - 27 - 51 et 100 cm

son de nuit du flux thermique du sol et du rayonnement net, pendant des périodes sans vent. Ce type de mesure nous a paru préférable à l'utilisation des fluxmètres.

La méthode du transfert turbulent est ici simplifiée par une instabilité souvent faible et des profils de vent logarithmiques (paramètre de rugosité : 0,5 à 0,6 cm) ; comparée dans ce cas à celle du bilan d'énergie, elle a fourni un très bon accord. Les résultats dont il sera fait état ici sont ceux obtenus par cette dernière méthode.

Toutes les mesures sont enregistrées dans une centrale à quarante-huit voies. Le pas de temps étant de 3 min.

Pendant le dessèchement du sol (parcelle 1), une parcelle de 20 m² (parcelle 2) est maintenue humide par des irrigations fréquentes (2 à 4 fois par jour). Les mesures de température de surface sont répétées sur la parcelle 2 par un dispositif analogue à celui de la parcelle 1.

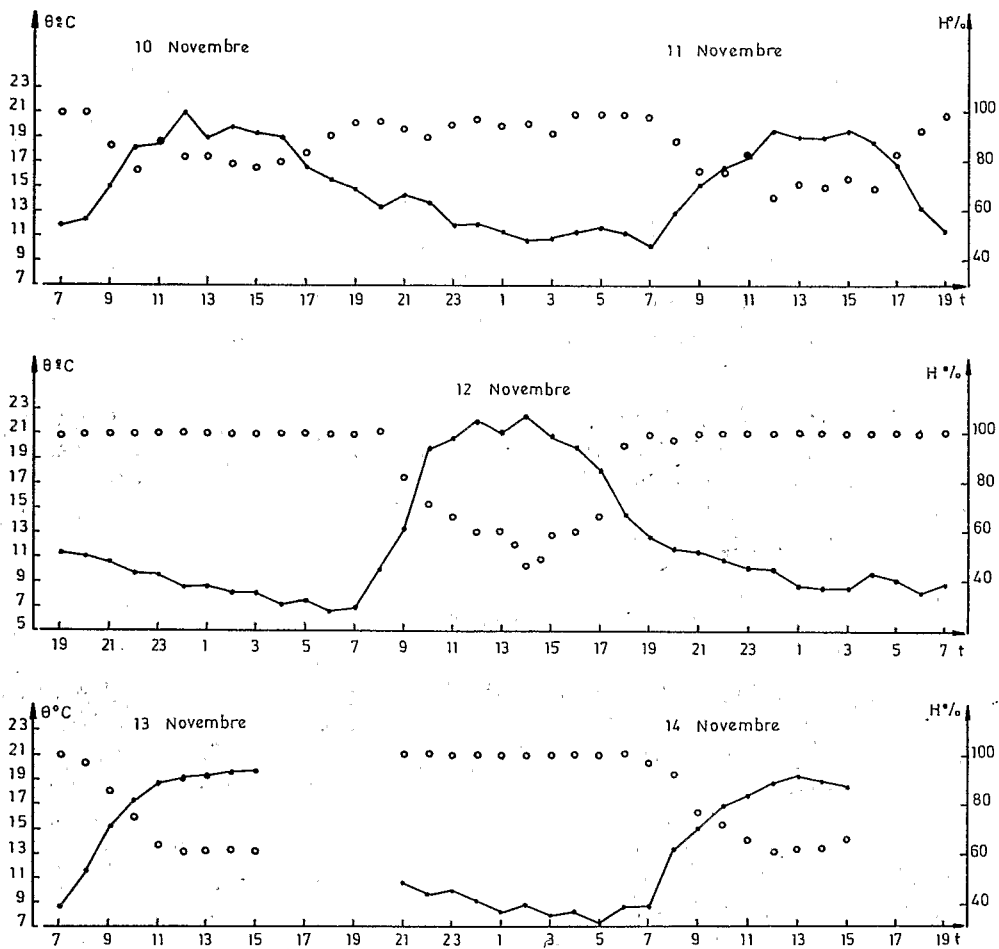
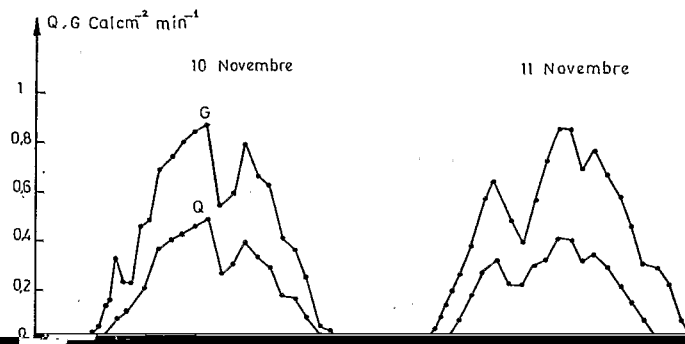


FIG. 1. — Température de l'air et humidité relative (1,18 m) du 10 au 14 novembre 1978

(θ ●—● température ; H : ○, humidité relative).

Temperature and relative humidity of air (1,18 m) from 10 to 14 November 1978

(θ ●—● temperature ; H : ○, relative humidity).



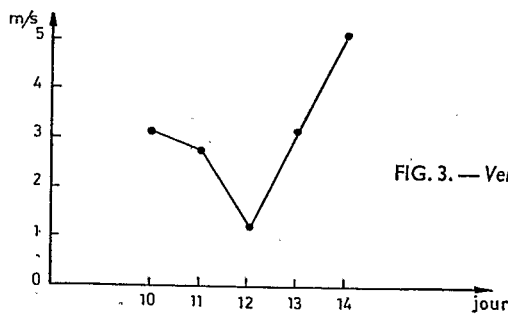


FIG. 3. — Vent moyen diurne à 2 m du 10 au 14 novembre.
Wind velocity (2 m).

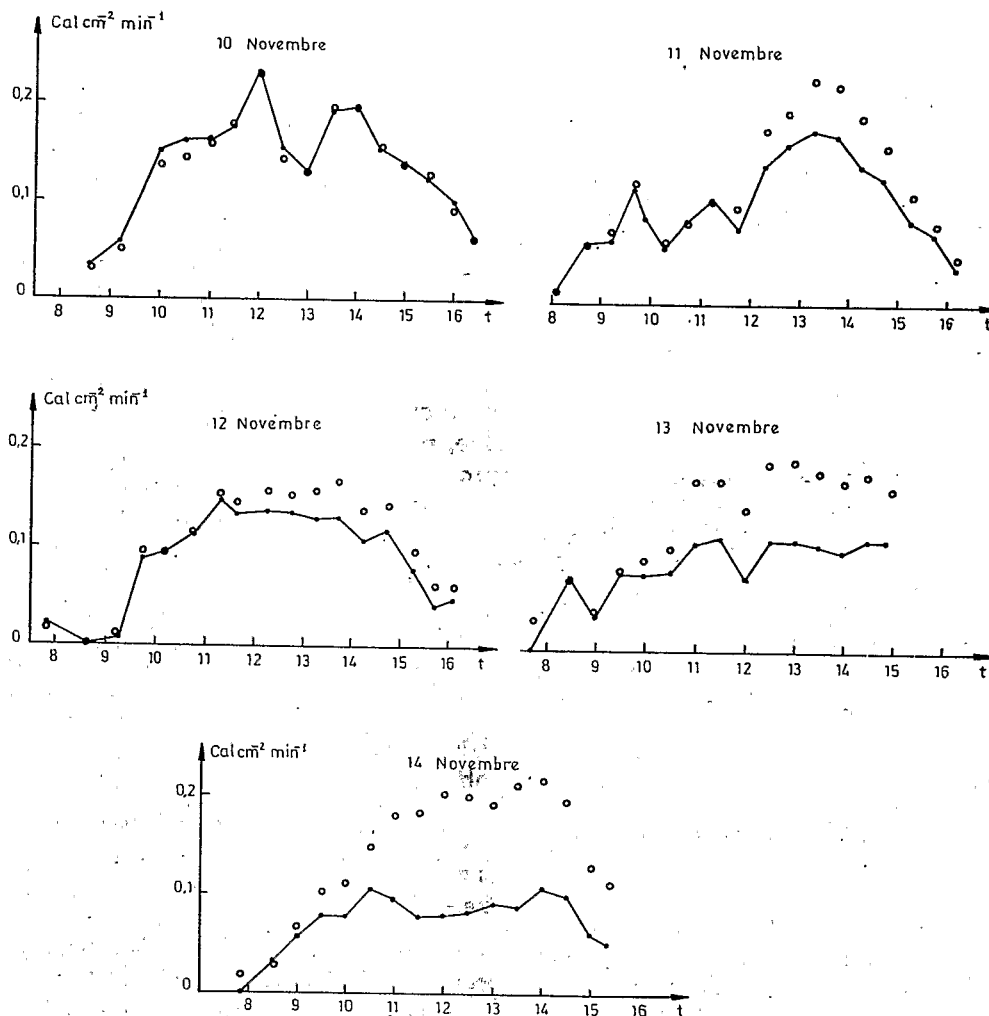


FIG. 4. — Evaporation du sol nu après la pluie du 8 au 9 novembre (—●—); ○ : valeurs de $(\delta/\delta + \gamma)(Q_H - S)$ calculées pour une surface irriguée.
Evaporation of the bare soil after the rain (8th and 9th of November) (—●—); ○ : values of $(\delta/\delta + \gamma)(Q_H - S)$ calculated for a wet surface.

d'une fonction de référence, proche de l'évaporation potentielle, nous avons calculé, pour les mêmes intervalles de temps, la fonction $E_r = (\delta/\delta + \gamma) (Q_H - S)^*$. Q_H représente la valeur du rayonnement net pour la surface maintenue humide, d'albédo 0,28 ; cette valeur est obtenue en corrigeant le rayonnement net mesuré pour la parcelle 1, d'une part en tenant compte de son albédo α , d'autre part de sa température superficielle θ_s , les corrections étant $G(\alpha - 0,28)$, où G est le rayonnement global, et $\varepsilon\sigma\theta_s^3(\Delta\theta)_s$, où ε est l'émissivité du sol (0,94 ici) et $(\Delta\theta)_s$ l'écart entre les températures de surface des parcelles 1 et 2. δ représente la dérivée de la pression de vapeur d'eau saturante en fonction de la température, prise ici pour la moyenne des températures de l'air et de la surface humide ; γ est la constante psychrométrique. S enfin, est le flux de chaleur dans le sol, que nous avons supposé identique pour les deux parcelles, ce qui n'est évidemment qu'une approximation, justifiée par les écarts relativement faibles des températures de surface.

La fonction E_r qui représente le premier terme de la formule de Penman peut être considérée comme proportionnelle à l'évaporation potentielle E_p ; le rapport E_p/E_r est de 1,28 d'après Priestley et Taylor (1972), de 1,27 pour Davies et Allen (1973) pour des surfaces cultivées, et Jackson *et al.* (1976) proposent $1,37 \pm 0,08$. Ces valeurs sont parfois données pour les totaux journaliers où S est négligeable.

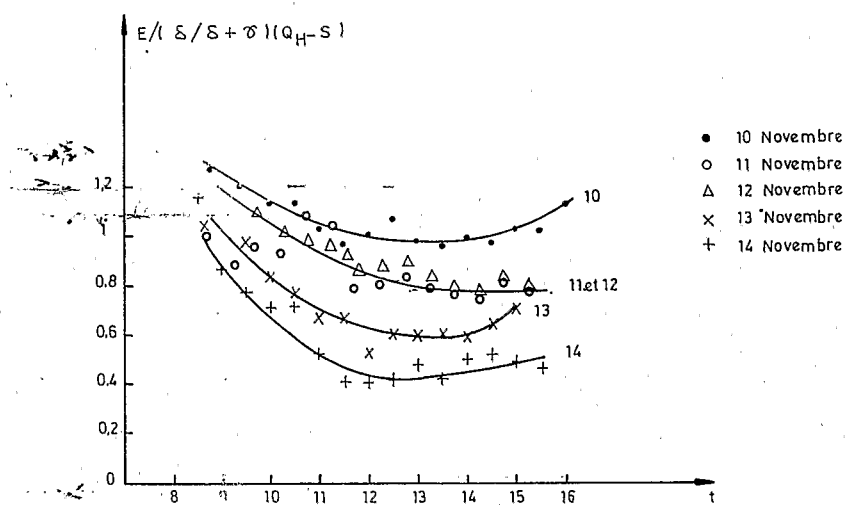


FIG. 5. — Evolution du rapport $E/(\delta/\delta + \gamma) (Q_H - S)$ après la pluie du 8 au 9 novembre.
Variation of the ratio $E/(\delta/\delta + \gamma) (Q_H - S)$ after the rain (8th and 9th of November).

Les valeurs de E_r ont été reportées sur la figure 4, et les rapports E/E_r exprimés en fonction du temps sur la figure 5. On voit ainsi qu'en début de matinée, le rapport E/E_r est supérieur à 1 (1 à 1,3) ; ce rapport décroît ensuite pour augmenter légèrement en fin de journée, la décroissance étant de plus en plus accusée au fil des jours.

* La fonction E_r peut être appelée « évaporation à l'équilibre ». Table ronde de Budapest, 1977.

Variations de l'albédo

Les différentes mesures de l'albédo ont été indiquées sur les figures 6 et 6 bis. Il s'agit de moyennes établies sur des intervalles de temps de 15 min.

Le premier graphique de la figure 6 indique les variations de l'albédo avant la pluie du 9 novembre, soit les 5, 7 et 8 novembre. Au lever du jour, l'albédo est d'environ 0,28 puis augmente rapidement pour atteindre 0,35 vers 9 h. Il augmente ensuite

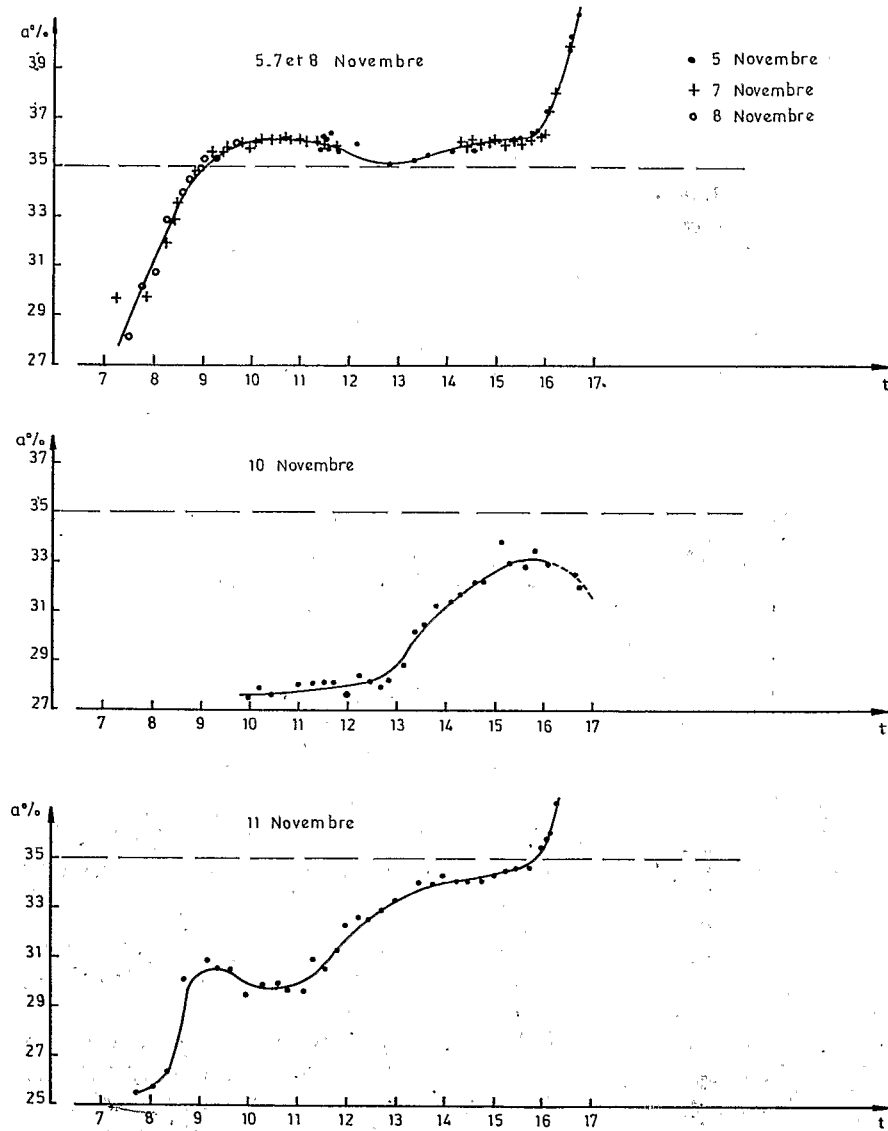


FIG. 6. — Variation de l'albédo avant et après la pluie du 9 novembre (du 5 au 11 novembre).
Variation of the albedo before and after the rain of the 9th of November (from the 5th to the 11th of November).

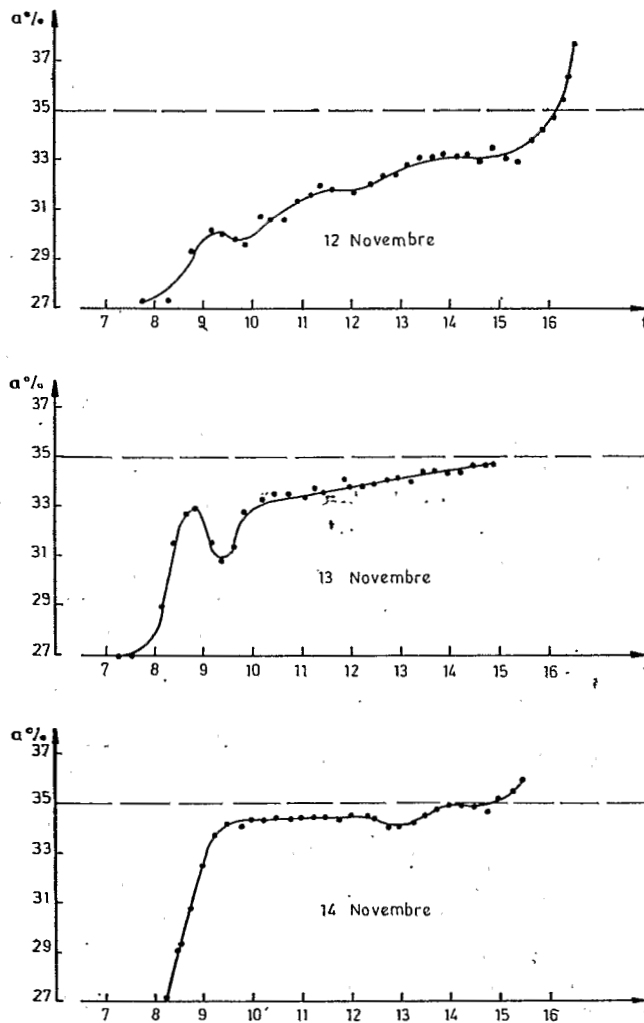


FIG. 6 bis. — Variation de l'albédo après la pluie du 9 novembre (12 au 14 novembre)
 Variation of the albedo after the rain of the 9th of November (from the 12th to the 14th of November).

lentement, passe par une légère dépression vers 12 h, et augmente à nouveau fortement après 16 h. Ces résultats comparables à ceux obtenus par d'autres auteurs (Idso *et al.*, 1974) peuvent être interprétés d'une part, par l'existence le matin d'une couche superficielle de sol humectée par les condensations nocturnes, rapidement desséchée, d'autre part, par l'effet sur l'albédo de l'inclinaison des rayons solaires sensible en fin de journée. Cet effet a été signalé par Idso *et al.* pour d'autres types de sols et ces auteurs ont pu « corriger » l'albédo pour le ramener à une valeur « normalisée » supprimant l'influence de la hauteur du soleil ; celle-ci ne dépasse guère 101. En novembre, 39° et une telle correction ne nous a pas paru nécessaire par la suite.

Les autres graphiques des figures 6 et 6 bis indiquent la variation d'albédo.

pendant les journées qui suivent la pluie du 9 novembre. L'albédo qui est d'environ 0,27 le matin, augmente et atteint 0,35 avant la forte remontée d'après 16 h, sauf le 10 où il ne dépasse pas 0,33. Cette remontée se produit de plus en plus rapidement : la valeur 0,32 est atteinte le 10 à 14 h 30, le 11 et le 12 à 12 h, le 13 avant 10 h et le 14 avant 9 h. On note une curieuse dépression le matin, qui s'amorce après 9 h. Une hypothèse non vérifiée pourrait attribuer ce phénomène à l'influence d'un flux d'eau dirigé vers la surface, après l'évaporation de la rosée.

Températures de surface des parcelles irriguée et non irriguée

Les figures 7 et 7 bis montrent l'évolution de la température de surface pour la



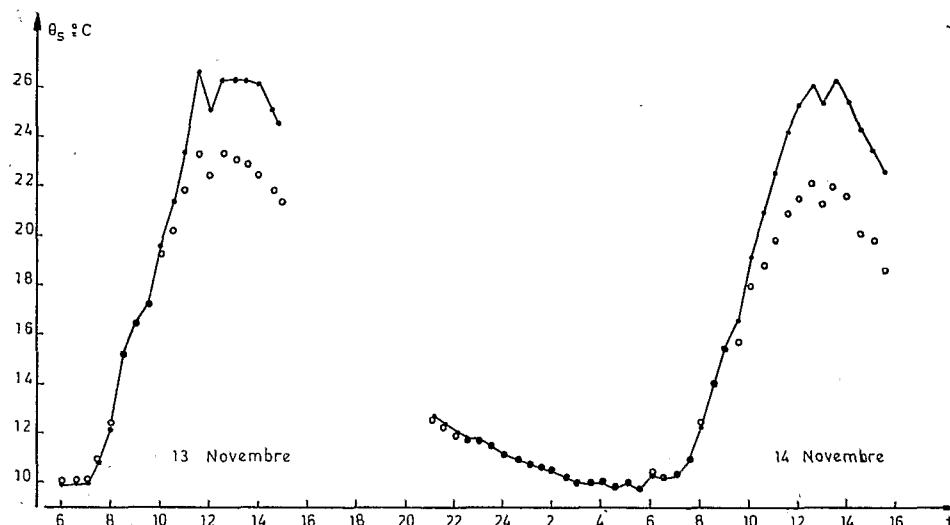


FIG. 7 bis. — Températures de surface (13 et 14 novembre) : Parcelle 1, en voie de dessèchement (●—●) ; Parcelle 2, maintenue humide par l'irrigation (○).

Surface temperature (13 and 14 November) : (●—●) Drying plot (plot 1) ; (○) Irrigated plot (plot 2).

température à un instant donné $(\Delta\theta)_s$ est nul ou faible le 10 novembre, où il ne dépasse pas 0,5 °C ; il augmente les jours suivants, et se produit de plus en plus tôt ; sa valeur maximum atteint 1,7 °C le 11, 2 °C le 12, 3,6 °C le 13, 4,2 °C le 14. Pendant la nuit les deux parcelles sont pratiquement à la même température.

Variation de l'albédo et rapport E/E_r

La comparaison entre l'albédo et le rapport E/E_r peut se faire à partir des figures 4, 6 et 6 bis. Sur la figure 8, le rapport E/E_r a été directement reporté en fonction des variations de l'albédo. On peut constater que l'albédo augmente d'abord de façon notable sans que le taux E/E_r ne soit affecté (10 novembre). Par la suite, l'augmentation d'albédo est de moins en moins rapide quand le rapport E/E_r décroît et le 13 et 14 novembre, on peut noter qu'au delà d'un certain seuil pour E/E_r , de l'ordre de 0,7, l'albédo ne varie pratiquement plus. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Idso *et al.*, qui sur un sol de limon, mettent en évidence une augmentation continue de l'albédo, après une irrigation.

Écart des températures de surface des parcelles 1 et 2 et rapport E/E_r

Les figures 4, 7, et 7 bis montrent une assez remarquable coïncidence entre l'écart des températures de surface $(\Delta\theta)_s$ et l'écart $E_r - E$. La figure 9 met en évidence cette coïncidence, en montrant l'évolution du rapport E/E_r en fonction de $(\Delta\theta)_s$, pour des intervalles de temps successifs de 2 h ; cette décomposition est effectuée pour tenir compte du déphasage entre l'évaporation et la température de surface du sol. La variation obtenue est pratiquement linéaire et les différentes droites sont parallèles entre elles.

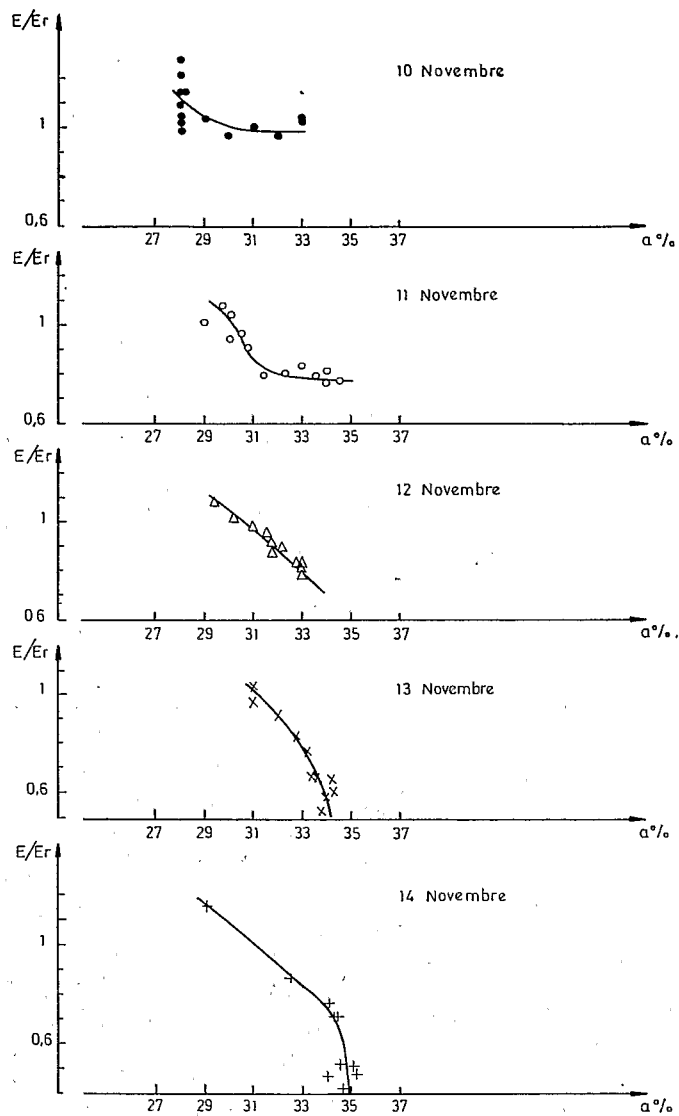


FIG. 8. — Rapport $E/(\delta/\delta + \gamma)$ ($Q_H - S$) et albédo, pour 5 jours suivant une pluie.
 Relations between the ratio $E/(\delta/\delta + \gamma)$ ($Q_H - S$) and the albedo, after a rain.

Analyse des résultats

Le premier point notable est la chute d'évaporation sensible peu de temps après la pluie du 8 au 9 novembre. L'évaporation journalière qui est de 1,15 mm le 10, diminue les jours suivants (comparables au 10) et devient 0,86 mm le 11, 0,78 mm le 12, 0,66 mm le 13, 0,59 mm le 14. La figure 5 traduit de manière plus précise ce phé-

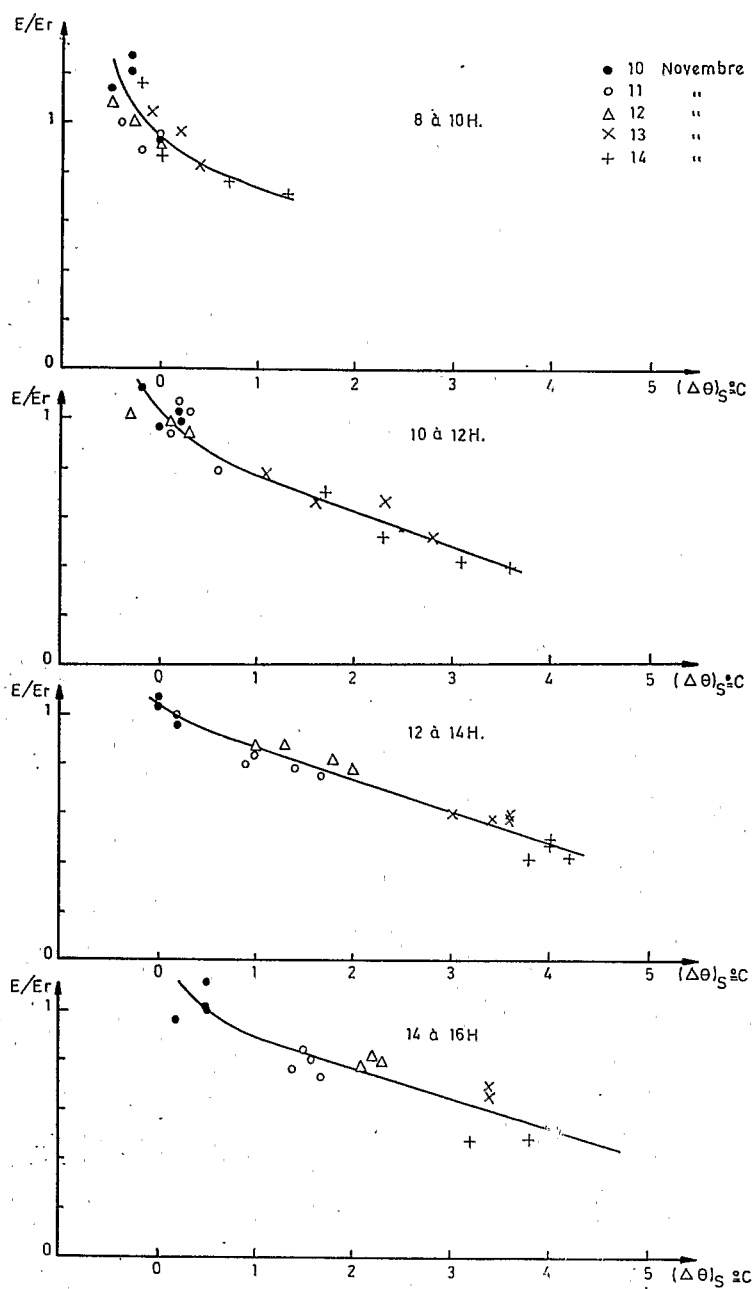


FIG. 9. — Rapport $E/(\delta/\delta + \gamma) (Q_H - S)$ et écart des températures de surface des parcelles 1 et 2 (10 au 14 novembre 1978).

Relations between the ratio $E/(\delta/\delta + \gamma) (Q_H - S)$ and the surface-temperature differences of the plots 1 and 2 (from the 10th to the 14th November 1978).

nomène, et l'on y voit le rapport E/E_r passer de 1 le 10 à 0,4 le 14, au milieu de la journée. Ainsi, bien que l'évaporation potentielle soit ici faible, un frein au dessèchement du sol se produit peu de temps après la réhumectation du sol par la pluie. Ceci est confirmé par les mesures effectuées le 8 novembre, soit 10 jours après la forte pluie de 51,2 mm enregistrée le 30 octobre, où pour une journée semblable à celles qui ont été étudiées ici, l'évaporation n'est plus que de 0,43 mm. On peut donc estimer qu'un tel sol nu ne perd en Novembre que de 6 à 7 mm en 10 jours. Il y a à Gabès en moyenne, à cette époque, 4 pluies par mois, totalisant 31 mm. Il n'est donc pas exclu, que même en année « normale », il puisse y avoir, en l'absence de végétation, une légère migration d'eau en profondeur.

Une autre remarque concerne la variation de l'albédo qui se reproduit chaque jour avec une même amplitude. On peut l'attribuer à la réflexion de la lumière sur le sol.

Conclusion

Ce travail avait deux objectifs : d'une part, évaluer l'évaporation du sol nu dans des conditions de faible évaporation potentielle qui sont en général celles de la région, pendant la période pluvieuse, d'autre part, essayer de mettre en évidence une relation entre le flux évaporatoire et des paramètres caractéristiques de la surface évaporante : l'albédo et la température.

Les résultats suggèrent trois remarques :

1) Malgré l'existence d'une réhumectation nocturne de la surface du sol par un flux d'eau ascendant s'ajoutant à la condensation, l'évaporation du sol nu étudié tombe au-dessous de l'évaporation potentielle durant faible. peu de temps après une

Trotz einer nächtlichen Wiederbefeuchtung ergeben die Messungen einen schnellen Abfall der Verdunstung im Verhältnis zu dem Verdunstungspotential.

Die Albedo, anfangs sehr stark, entwickelt sich nachher langsam und unterrichtet schlecht über den letzten Stand der Bodenaustrocknung. Der Unterschied zwischen den Oberflächentemperaturen der beiden Parzellen folgt jedoch genau dem Abfall der Verdunstung und kann somit als ein guter Zeuge dieser Erscheinung betrachtet werden.

РЕЗЮМЕ

Испарение голой почвой в полу-засушливой зоне, в зимних условиях. Соотношение с альбедо и температурой почвенной поверхности.

РИУ К., ЛАГУАРД Ж. П., ШАРТЬЕ Р.

Испарение голой почвой, альбедо этой почвы, температура ее поверхности и поверхностная температура почвы делянки поддерживавшейся в состоянии влажности, измерялись в Южном Тунисе в ноябре, после дождя.

Измерения эти показали быстрое ослабление испарения по отношению к испарению потенциальному, несмотря на существование ночного увлажнения.

Альбедо, сначала очень чувствительное, изменяется постепенно затем, и отдает поэтому плохо отчет о последних стадиях высыхания почвы.

Разница между температурами поверхности двух делянок, напротив, следует очень верно ослаблению испарения, и может, значит, рассматриваться как хороший показатель этого явления.

Références bibliographiques

- BRUCE R. R., THOMAS A. W., HARPER L. A. and LEONARD R. A., 1977. Diurnal soil water regime in the filled plow layer of a warm humid climate. *Soil Sci. Amer. J.*, **41**, 455-460.
- COLOMBANI J., 1978. Utilisation de la sonde à neutrons pour la caractérisation d'un profil de sol du sud Tunisien simultanément à l'emploi de mesures tensiométriques et de traçages isotopiques et salins. Journées Scientifiques du Groupe Français d'Humidimétrie neutronique, 21-22 nov. 1978, Cadarache.
- DAVIES J. A. and ALLEN C. D., 1973. Equilibrium, potential and actual evaporation from cropped surfaces in southern Ontario. *J. Appl. Meteorol.*, **12**, 649-657.
- IDSO S. B., REGINATO R. J., JACKSON R. D., KIMBALL B. A. and NAKAYAMA F. S., 1974. The three stages of drying of a field soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **38**, 831-837.
- IDSO S. B., JACKSON R. D., REGINATO R. J., KIMBALL B. A. and NAKAYAMA F. S., 1975. The dependence of bare soil albedo on soil water content. *J. Appl. Meteorol.*, **14**, 109-113.
- ITIER B. et PERRIER A., 1974. Thermographie et détermination de l'évapotranspiration réelle des surfaces naturelles. Congrès de thermographie, Pays-Bas.
- JACKSON R. D., IDSO S. B. and REGINATO R. J., 1976. Calculation of evaporation rates during the transition from energy limiting to soil limiting phases using albedo data. *Water Resour. Res.*, **12** (1), 23-26.
- LAGOUARDE J. P., 1979. *Mesure de la température de surface du sol et son application en micrométéorologie*. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Grenoble, à paraître.
- PENMAN H. L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London Ser. A*, **193**, 120-145.
- PRIESTLEY C. H. B. and TAYLOR R. J., 1972. On the assessment of soil heat flux and evaporation using large parameters. *Mon. Weather Rev.*, **100**, 81-92.
- RIOU Ch., 1975. *La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale*. Mémoire ORSTOM n° 80, 236 p.