

## Bioclimatologie des oasis

Riou C.

*in*

Dollé V. (ed.), Toutain G. (ed.).  
Les systèmes agricoles oasiens

Montpellier : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 11

1990

pages 207-220

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI901496>

To cite this article / Pour citer cet article

Riou C. **Bioclimatologie des oasis**. In : Dollé V. (ed.), Toutain G. (ed.). *Les systèmes agricoles oasiens*. Montpellier : CIHEAM, 1990. p. 207-220 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 11)



<http://www.ciheam.org/>  
<http://om.ciheam.org/>

# Bioclimatologie des oasis

Charles RIOU

Institut National de La Recherche Agronomique  
Station de Bioclimatologie, Bordeaux (France)

## I. - Introduction

L'oasis est une zone nettement différente de l'espace environnant et le changement des propriétés de surface s'accompagne d'un changement des propriétés de la basse-atmosphère au contact de l'oasis ; il y a donc modification locale du climat environnant qui est le plus souvent chaud et sec (avec de fortes amplitudes thermiques), à cause d'un fort rayonnement solaire et de la rareté des pluies ; la vitesse du vent est également souvent élevée à l'extérieur de l'oasis, en raison notamment de la relativement faible rugosité du désert.

L'oasis modifie en fait trois éléments :

- ~ a) La teneur en eau à la surface du sol, plus élevée ici en raison de la nappe d'eau proche ou de l'irrigation.
- ~ b) La rugosité dynamique (ou la force de frottement du vent) augmentée par la présence des arbres et parfois de plusieurs niveaux de végétation.
- ~ c) La répartition verticale de l'énergie rayonnante qui est distribuée dans l'oasis en fonction des strates végétales.

On admettra donc facilement que le «climat» de l'oasis (microclimat ou mésoclimat, suivant la terminologie adoptée) dépendra non seulement de la dimension spatiale de l'hétérogénéité ainsi créée au sein du désert, mais aussi de la densité de la végétation ; on admettra de même que ce climat variera horizontalement et verticalement. Il est donc plus juste de parler des microclimats des oasis plutôt que de tenter de caractériser le climat de l'oasis.

Dans ce qui suit, on analysera d'abord chacune des trois grandes modifications apportées par la présence de l'oasis. Un dernier paragraphe examinera quelques résultats de mesures des éléments principaux du climat, effectuées dans différentes oasis ; leur hétérogénéité s'expliquera par ce qui précède.

## II. - «L'effet d'oasis» :

Une modification de la concentration en eau de la surface entraînant une variation progressive des flux de chaleur et de vapeur d'eau.

Le fait de créer, au sein d'une zone sèche, une «tache» d'humidité, modifie évidemment l'évaporation et en conséquence tout le bilan énergétique ; ces modifications ont fait l'objet de modèles analytiques comme celui de Itier et Perrier (1976). Les auteurs traitent le problème en deux dimensions, dans un plan comprenant le vecteur vent et supposent une zone en amont de l'oasis, aux propriétés constantes en tout point et une zone en aval, où les paramètres vont évoluer en fonction de l'altitude  $z$  et de la distance au bord d'attaque du vent  $x$ . Ces paramètres sont en particulier : les concentrations en chaleur et en vapeur d'eau et les flux de chaleur sensible et de chaleur latente. Le profil de vent est supposé rester le même en amont et en aval.

Le problème à résoudre est la détermination des concentrations et des flux dans la zone aval quand on connaît les valeurs prises par ces grandeurs dans la zone amont ; une des solutions qui nous intéressent directement ici concerne le cas où la température en aval est constante et nettement plus faible que la température en amont, comme c'est le cas en présence d'eau disponible en surface intervenant à la fois pour augmenter l'évaporation et améliorer la conductivité hydrique du sol. Les **Figures 1 et 2** montrent comment évolue le profil de température, au fur et à mesure qu'on pénètre dans la zone humide, depuis le bord d'attaque  $x = 0$ . On voit que le profil présente d'abord un maximum à une certaine hauteur, ce qui correspond à l'existence de deux flux de chaleur en sens opposé, puis évolue vers une forme plus simple ou c'est la surface qui cède de la chaleur à l'atmosphère au lieu d'en recevoir. Sur la **Figure 1**, une courbe sépare la «zone modifiée» de l'environnement ; c'est la trace de la couche limite, qui définit l'enveloppe des modifications climatiques.

La **Figure 3** donne l'évolution du flux de chaleur sensible quand on pénètre dans la zone humide ; celui-ci diminue d'abord fortement puis s'inverse et diminue alors très lentement ; ceci traduit le fait que près du bord d'attaque, à l'énergie rayonnante s'ajoute un flux de chaleur sensible notable, dû à l'air environnant plus chaud que la surface évaporante ; plus loin, ce flux diminue (l'air en contact se refroidit au fur et à mesure qu'il pénètre à l'intérieur de l'oasis), et change de signe quand c'est la surface évaporante elle-même qui cède de la chaleur à l'air. Le flux de chaleur latente aurait une variation du même type.

Cette analyse obtenue grâce à un modèle est confirmée par des mesures ; les **Figures 4 et 5** montrent des profils de température et d'humidité obtenus par Rider *et al.* (1963), pour différentes distances du bord d'attaque, quand on passe d'un sol nu et sec à un gazon court bien irrigué. De ces travaux, on peut tirer quelques informations importantes.

- A – La présence d'une zone humide entraîne un refroidissement et une humidification de l'air qui augmente au fur et à mesure que l'air pénètre dans la zone et que l'on se rapproche du sol.
- B – La hauteur de la tranche d'air modifiée ainsi est nettement plus faible que la distance au bord d'attaque. Ceci traduit la grande différence d'échelle entre la surface horizontale modifiée et la perturbation de l'atmosphère qu'elle entraîne au-dessus d'elle. Dans l'exemple utilisé pour les **Figures 1, 2 et 3**, à 2 m d'altitude (altitude des mesures sous abri), l'écart entre température de l'air en amont et en aval à 88 m du bord d'attaque n'est que de 1° C, pour un écart de 10°C à la surface ; il est seulement de 1°C à 4 m d'altitude à 207 m en aval. L'effet thermique de l'oasis est donc surtout sensible près du sol.
- C – Les flux énergétiques, et en particulier l'évaporation, diminuent d'abord rapidement puis très lentement ; dans l'exemple choisi, l'évaporation est à peu près stationnaire à partir de 30 m du bord.

Ces valeurs mettent en évidence les limites d'une modification du climat induite par un aménagement local, en particulier, le gain (relativement faible) de consommation d'eau dû à une extension des périmètres irrigués. Il faut noter enfin que les hypothèses du modèle (et les vérifications expérimentales) correspondent au cas où la rugosité de la zone humide n'a pratiquement pas varié ; ce n'est pas le cas de l'oasis et il ne faut donc pas transposer directement les données dont on a fait état dans le cas réel. L'analyse de «l'effet d'oasis» ainsi modélisé fournit cependant des indications de tendance fort intéressantes. L'augmentation de la rugosité due à l'oasis va avoir, en fait, un double effet : augmenter la turbulence au-dessus de l'oasis, réduire la vitesse du vent à l'intérieur.

### III. - L'effet brise-vent de l'oasis

#### 1. - La turbulence au-dessus de l'oasis

Il y a peu de mesures effectuées au-dessus des oasis, mais on peut ici faire état de résultats obtenus sur des peuplements forestiers ou des vergers.

La présence des arbres se traduit par une forte rugosité et un déplacement du plan de référence qui n'est plus le sol, mais pour un couvert dense, de hauteur  $h$ , un plan d'altitude  $2h/3$  environ. Tout ceci se traduit par une forte turbulence au-dessus des arbres, phénomène qui favorise les échanges d'énergie et de vapeur d'eau. Ceci doit cependant être nuancé quand la densité des arbres diminue ; la turbulence devient moins forte au-dessus et les échanges de vapeur d'eau se réduisent car le feuillage diminue. Les deux effets – augmentation de la rugosité, couvert discontinu – qu'entraîne la présence des arbres, et qui jouent en sens inverse, conduisent en conditions hydriques non limitantes à une évaporation des arbres qui est en général assez proche de celle d'un gazon, et parfois inférieure. En fait, on s'intéressera davantage ici à la réduction du vent à l'intérieur de l'oasis, où joue l'effet brise-vent des arbres ; beaucoup d'oasis combinent, en effet, la production de dattes et des cultures basses : fourrages, cultures maraîchères...

## 2. - L'effet sur la vitesse du vent

### →A. Cas d'un brise-vent isolé

Les **Figures 6 et 7** mettent en évidence l'action d'un brise-vent isolé sur la vitesse du vent à différents niveaux, pour deux porosités différentes. Le vent près du sol est encore réduit de 50% environ à une distance égale à dix fois la hauteur du brise-vent poreux ; ce même résultat est atteint à huit fois la hauteur pour un brise-vent moins poreux et donc moins efficace. Dans le cas de l'oasis, il y a, en fait, soit une succession de brise-vent ayant une ou deux orientations privilégiées, soit un ensemble d'arbres en quinconces.

### →B. Cas d'une succession de brise-vent

La **Figure 8** montre l'effet d'une telle succession avec trois espacements différents. Dans le cas d'un espacement de 15 fois la hauteur, la vitesse moyenne du vent (entre une distance 0 et 50 fois la hauteur) est multipliée par 0,44 ; cette réduction est de 0,41 pour un espacement de 10 fois la hauteur ; dans ce dernier cas, le gain sur la réduction de vitesse est donc relativement faible, au vu de l'accroissement de la surface occupée par le brise-vent.

### →C. Cas des arbres sans alignement privilégié

Cionco (1965) a proposé dans ce cas, une formulation de la vitesse horizontale du vent  $U_z$ , en fonction du niveau  $Z$ , de la forme :  $U_z = U_h \exp [-a(1 - Z/h)]$  (1) où  $h$  est la hauteur des arbres et  $a$  un coefficient d'extinction variant de 0,4 pour des arbres dispersés à 3 pour des éléments souples à forte densité comme une culture de blé.

A. Amami (1982), étudiant le microclimat de deux types d'oasis de la région de Kebili a mesuré les vitesses du vent à plusieurs niveaux dans une oasis traditionnelle (Jemna) à forte densité de végétation (palmiers, petits arbres fruitiers, végétation basse) et dans une oasis industrielle ayant des palmiers plus vieux et plus élevés (17 m au lieu de 10 m), avec un écartement des arbres plus important que dans l'oasis traditionnelle (12 m au lieu de 8 m), sans végétation à l'étage inférieur.

A Jemna, le profil du vent, correspond bien au modèle de Cionco, avec  $a = 1,8$ .

Pour l'oasis moderne, un anémomètre mettait en évidence une réduction nette de la vitesse du vent au niveau des palmiers qui est inférieure aux vitesses mesurées plus près du sol. Ces dernières correspondent à peu près à un facteur  $a$  de 0,55. Ces deux valeurs séparent bien les deux milieux. En adoptant ces valeurs, on voit que pour un vent au sommet de l'oasis de 6m/s, on a, à 2 m d'altitude, un vent de 1,42 m/s à Jemna, pour une vitesse de 3,86 m/s dans l'oasis de la STIL (Société Tunisienne d'Industrie Laitière, société possédant des palmeraies industrielles).

### →D. Comparaison des vitesses de vent au-dessus du désert et dans l'oasis

Cette comparaison est souvent faite dans la littérature scientifique. On a vu que la vitesse du vent peut souvent être exprimée à l'intérieur de l'oasis par le modèle de Cionco ; au-dessus de l'oasis, la vitesse du vent  $U_z$  (quand elle est élevée) peut s'exprimer par :

$$U_{z,o} = Cte \log [(Z - d)/Z_{o,o}] \quad (2)$$

où  $Z$  est l'altitude,  $d$  la hauteur de déplacement ( $d \neq 2h/3$ ),  $Z_{o,o}$  la hauteur de rugosité ( $Z_{o,o} \neq h/10$ ). Au-dessus du désert, en général «lisse», on a plus simplement :

$$U_{z,d} = Cte \log (Z/Z_{o,d}) \quad (3)$$

Ces différentes formulations permettent de comparer les vitesses du vent mesurées à un niveau donné (souvent 2m) sur le désert et dans l'oasis. A. Amami a par exemple montré que la vitesse à 1,5 m de haut, au-dessus du désert  $U_{1,5,d}$  était un peu supérieure à la vitesse du vent mesurée à 11,5 m au-dessus de l'oasis de Jamna, soit :

$$U_{1,5,d} = 1,18U_{11,5}$$

Avec les valeurs  $h = 10$ ,  $Z_{o,o} = 1,25$ ,  $d = 6,7$ ,  $Z_{o,d} = 0,005$ , on en déduit d'après (2), pour Jemna

$$U_{10} = 0,76U_{11,5}$$

et en combinant ce résultat et (1) :

$$U_{2,o} = 0,18 U_{11,5}$$

La relation (3) fournit :

$$U_{2,d} = 1,05 U_{1,5,d}$$

soit finalement pour l'oasis traditionnelle :

$$U_{2,o}/U_{2,d} = 0,15$$

Pour l'oasis de la STIL, les mesures donnent :

$$U_{1,5,s} / U_{1,5,d} = 0,43$$

Soit en utilisant (1) et (2) :  $U_{2,s} / U_{2,d} = 0,42$

Nous verrons que ces valeurs rejoignent d'autres mesures.

### 3. - L'effet de réduction de vent sur l'évaporation : les profils de température et d'humidité

La réduction du vent permet de prévoir une diminution notable de l'évaporation quand il y a une forte advection (supplément d'énergie apportée par l'air chaud et sec vers les surfaces humides plus froides). En fait, cette réduction est moins forte qu'on a pu le penser et elle est même souvent difficile à mettre en évidence. En revanche, la diminution de la turbulence sans diminution importante des flux peut entraîner un ralentissement de la dissipation de la chaleur (le jour) ou du froid (la nuit) et amener des températures plus élevées le jour et plus basses la nuit (et donc une amplitude thermique plus forte) dans la zone abritée que dans la zone ouverte (supposée ici également humide et de même rugosité). C'est ce que montre la Figure 9.

On voit ainsi que l'effet d'abri contre le vent compense en partie «l'effet d'oasis» qui tend lui à abaisser les températures dans la journée.

## IV. - Une nouvelle répartition de l'énergie rayonnante

L'association d'arbres et de cultures basses peut se faire de plusieurs façons. Quand les arbres constituent des rangs assez distants, certains rayons solaires peuvent atteindre directement le sol et l'énergie totale qui parvient à l'étage inférieur dépend de l'ombre portée par les arbres et de leur porosité. Quand les feuillages des arbres se rejoignent, c'est l'ensemble des rayons lumineux qui subissent une réflexion ou une absorption par les feuilles, avant de parvenir au sol.

### 1. - Cas des cultures en rangs

La **Figure 10** indique comment varie l'énergie absorbée par la végétation haute et l'énergie transmise au sol dans un cas simple, où le feuillage des arbres peut être assimilé à un parallélépipède de porosité  $p$  pour les faces verticales, les faces horizontales étant supposées pleines (un tel modèle convient bien à la vigne et aux cultures en rang de faible surface foliaire; Riou *et al.*, 1989). Pour se rapprocher du cas des palmiers, on a pris comme données : largeur du feuillage  $L$ , hauteur du feuillage  $3L/2$ , écartement des arbres  $L$ , porosité du feuillage  $0,5$ , orientation Nord-Sud des rangs, et simulé les énergies solaires absorbées par les arbres et transmises au sol supposé de sable nu, pendant une journée de la mi-juillet dans le Sud Tunisien ; l'énergie absorbée représente 47% de l'énergie solaire incidente et l'énergie transmise 30%, les valeurs maximum sont du même ordre dans les deux cas. La photosynthèse pouvant avoir lieu à de faibles niveaux d'énergie lumineuse, on voit que, dans le cas simulé, il n'y a pas d'obstacle au développement d'une végétation basse.

### 2. - Cas d'un couvert continu

En présence de végétation dense formant plusieurs strates et interceptant tout rayon lumineux, comme c'est le cas dans l'oasis traditionnelle, l'énergie solaire qui arrive au sol va dépendre de l'indice foliaire ou LAI (Indice foliaire ou surface de feuilles par unité de surface horizontale) suivant une loi d'absorption, classique en physique, de la forme :  $t = \log(I/I_0) = -K.LAI$  (4) où  $I_0$  est l'énergie incidente et  $I$  l'énergie transmise ; le «facteur d'extinction»  $k$  caractérise le feuillage. La forme de l'équation (4) montre que  $I$  diminue très vite quand LAI augmente ; par exemple, si  $t = 0,6$  pour LAI = 1, on aura  $t = 0,13$  pour LAI = 4.

Faute de mesures sous couvert de palmes, on peut citer ici les résultats obtenus par C. Baldy (1986) sous des oliviers, où le facteur  $t$  est pratiquement indépendant de la position du soleil et voisin de 0,65.

### 3. - Modification du spectre de la lumière après sa traversée du feuillage

Quand un rayon lumineux a subi une ou plusieurs réflexions à la surface des feuilles ou traversé une ou plusieurs feuilles, la composition spectrale de la lumière s'est modifiée, pour la raison simple que la part d'énergie réfléchie ou transmise (et donc de l'énergie absorbée) dépend de la longueur d'onde ; il y a donc un effet de filtre et la lumière qui parvient au sol est qualitativement différente de la lumière incidente. La **Figure 11** montre ce changement qualitatif quand le rayonnement solaire traverse un feuillage d'oliviers ; la lumière s'est enrichie dans le proche Infra-rouge, par suite d'une bonne transmission et réflexion par les feuilles (notamment du rayonnement venant du sol) dans cette gamme de longueurs d'onde ; le visible est par contre diminué, et par conséquent les radiations bleu et rouge, les plus actives dans la photosynthèse, ont un moindre niveau d'énergie.

## V. - Quelques données climatiques mesurées dans les oasis

Dans tout ce qui précède, on a analysé les effets d'une oasis sur les processus énergétiques qui sont à l'origine du climat : refroidissement et enrichissement en vapeur d'eau près du sol, freinage du vent, diminution et changements qualitatifs de l'énergie solaire arrivant au sol. On a tiré de cette analyse quelques résultats qui montrent l'importance du **niveau** des mesures (les mesures sous-abri sont souvent trop hautes pour traduire l'effet d'oasis) de la **distance** au bord d'attaque du vent, de la **structure** de l'oasis à végétation plus ou moins dense, de l'**état de surface** où l'on peut constater quelquefois une humidité importante et continue dans l'espace et dans le temps (végétation basse fréquemment irriguée, ou nappe proche de la surface) mais aussi, dans d'autres cas, peu de changement par rapport au désert environnant : arbres fortement écartés et sans végétation intercalaire, avec irrigation localisée ou nappe relativement profonde. Nous avons noté également que l'effet brise-vent compense «l'effet d'oasis» proprement dit et que, pour de faibles écarts thermiques à la surface du sol entre l'oasis et le désert, il peut entraîner une augmentation de l'amplitude thermique. Il ne faut donc pas s'étonner si les quelques mesures faites dans des oasis parfois très différentes, et dans des conditions difficilement comparables, ne sont pas toujours cohérentes.

### 1. - Températures

Les quelques données climatiques obtenues en Tunisie font état de mesures de température sous-abri effectuées dans l'oasis et sur le désert environnant. On les a résumées dans le **Tableau 1**.

**Tableau 1 : Mesure des températures dans les oasis tunisiennes**

| Noms                        | Caractères                                  | Températures<br>(comparaison désert-oasis)  |
|-----------------------------|---|---|
| Jemna <sup>(1)</sup>        | oasis traditionnelle<br>peu ouverte         | maximum plus faibles dans l'oasis<br>minimum identique<br>écart extrême - 2,8°C                                 |
| Bou Chemma <sup>(4)</sup>   | oasis traditionnelle<br>moyennement ouverte | maximum un peu plus élevés dans l'oasis<br>minimum un peu plus faibles<br>écarts extrêmes + 1,5°C, -2°C         |
| Ksar Ghilane <sup>(1)</sup> | petite oasis,<br>ouverture moyenne          | maximum plus élevés dans l'oasis<br>minimum plus faibles :<br>les écarts peuvent atteindre + 1° C               |
| STIL-Kébili <sup>(2)</sup>  | oasis ouverte<br>palmiers seuls             | températures proches dans l'oasis et<br>hors oasis<br>maximum un peu plus faibles<br>minimum un peu plus élevés |
| Negev <sup>(3)</sup>        | oasis d'eucalyptus<br>ouverte               | températures identiques   |

Sources : (1) C. Baldy (1987)

(2) A. Amami (1983)

(3) G. Shiller, R. Karschon (1974)

(4) S. El Amami, J.C. Laberche (1973)

## 2. - Humidité

- Jemna** : Humidité relative un peu plus élevée la nuit que celle du désert (+ 11% en octobre, + 6% en mai) et le jour (+ 6% en octobre, + 16% en mai).
- Ksar Ghilane** : Température du point de rosée systématiquement plus élevée dans l'oasis surtout en été où l'écart atteint 3° C à 18 heures. L'écart à 6 heures le matin reste assez faible (< 1,5° C).
- Stil-Kebili** : Humidité relative voisine la nuit (+ 5% en octobre, + 2% en mai) et le jour (+ 1% en octobre, + 3% en mai) de celle du désert.
- Negev** : Pas d'écart notable.

Pour Jemna et Stil-Kebili l'étude de A. Amami a montré à quel point le vent intervenait dans les mesures, en homogénéisant l'humidité, comme le montre le tableau suivant :

**Tableau 2 : Humidité relative (%)**

|             | Moyenne Nuits sans vent | Moyenne Nuits avec vent | Moyenne Jours sans vent | Moyenne Jours avec vent |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Jemna       | 65                      | 57                      | 38                      | 45                      |
| STIL-Kébili | 60                      | 53                      | 27                      | 42                      |
| Désert      | 48                      | 54                      | 25                      | 41                      |

A travers la réduction de la vitesse du vent, on voit nettement apparaître le rôle de la structure de l'oasis, plus ou moins ouverte à l'influence extérieure.

## VI. - Conclusion

Parmi toutes les modifications des éléments du climat qu'on constate dans l'oasis, celle qui porte sur la vitesse du vent est la plus marquée ; elle est en fait liée à la structure de l'oasis et à son degré «d'ouverture» vers l'extérieur. Une pénétration aisée du vent se traduit par une homogénéisation des températures et de l'humidité qui ne sont alors modifiées que près du sol, quand l'état de surface de l'oasis est très différent de celui de la zone environnante. Au contraire, une végétation plus dense, va se traduire par un certain confinement de l'air pouvant entraîner dans l'oasis, au niveau de l'abri, des températures diurnes parfois plus élevées qu'à l'extérieur (le contraire ayant lieu la nuit) et une humidité plus élevée ; pour l'oasis traditionnelle, à plusieurs strates de végétation, l'interception du rayonnement solaire va accentuer le refroidissement près du sol.

On constate donc que les caractéristiques climatiques de l'oasis dépendent des activités agricoles qui s'y développent et finalement de sa raison d'être. Inversement, on peut penser que les moyens d'analyse actuels, et notamment les différents modèles microclimatiques qui ont été cités ici, pourraient servir à optimiser l'aménagement de l'oasis, une fois définie sa vocation : production de dattes seules, association palmiers dattiers-fourrage, cultures maraîchères sous palmiers, etc... Le microclimat de l'oasis pourrait alors être pensé selon sa fonction plutôt qu'être subi comme une conséquence inévitable.

## Bibliographie

- EL AMAMI (S.), LABERCHE (J.C.), 1973. Climat et microclimats des oasis de Gabes comparés à l'environnement désertique. In : *Annales de l'INRAT* **46**, (3), pp. 1-20.
- AMAMI (A.), 1983. *Présentation des résultats obtenus après une année de mesures concernant le microclimat des oasis du Sud-Ouest Tunisien (KEBILI)*. Laboratoire de Bioclimatologie E.S. de Chott Mariam (ronéoté).
- BALDY (C.). *Climatologie et bioclimatologie de l'Oasis de Ksar Ghilane*. Service pédologique de Tunisie (Rapport E.S. 66).
- BALDY (C.), 1986. *Agrométéorologie et développement des régions arides et semi-arides*. INRA 61-62
- BRUTSAERT (W.), 1984. *Evaporation into the atmosphere*. D. Reidel, Publishing Company, pp. 187-188.
- CIONCO (R.), 1985. A mathematical model for air flow in a vegetative canopy. In : *J. Appl. Meteorol*, **4**, 517-522.
- GUYOT (G.), 1983. *Manuel sur l'utilisation des brise-vent dans les zones arides*. Avignon : INRA, pp. 58-81, 113 et 123-138.
- ITIER (B.), PERRIER (A), 1976. Présentation d'une étude analytique de l'advection. I-Advection liée aux variations horizontales de concentration et de température. In : *Ann. Agron.* **27** (2), pp. 11-140.
- RAO (K.S.), WYNGAARD (J.C.), COTE (O.R.), 1974. Local advection of momentum, heat and moisture in micrometeorology. In : *Boundary layer Meteorol.* **7**, pp. 331-348.
- RIDER (N.E.), PHILIP (J.R.) BRADLEY (E.F.), 1963. The horizontal transport of heat and moisture. A micrometeorological study. In : *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **89**, pp. 507-531.
- RIOU (C.), VALANCOGNE (C.), PIERI (P.), 1989. Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne. Vérification expérimentale. A paraître dans *Agronomie*.

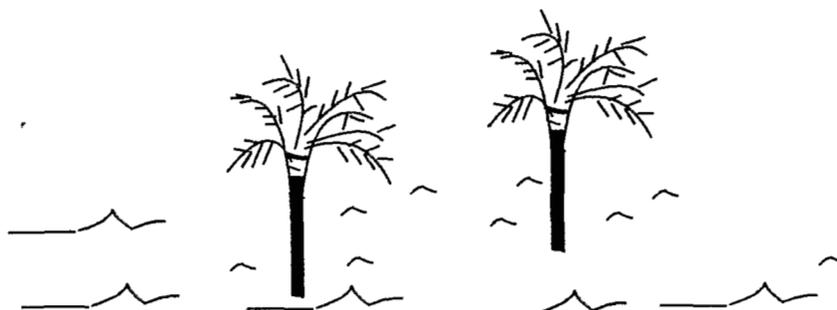




Figure 3 : Evolution du flux de chaleur sensible en fonction de la distance  $x$  du bord d'attaque (conditions identiques à la figure précédente)

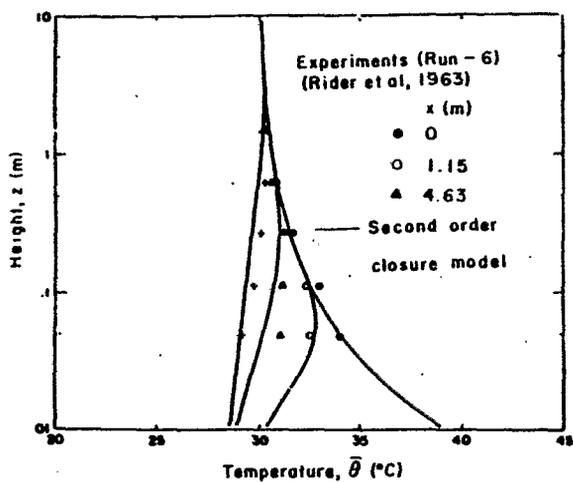
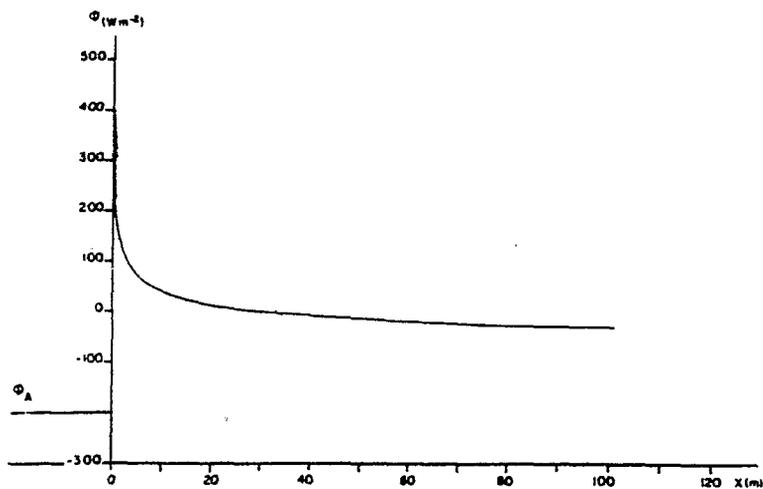


Figure 4 : Profils de température à différentes distances  $x$  du bord d'attaque

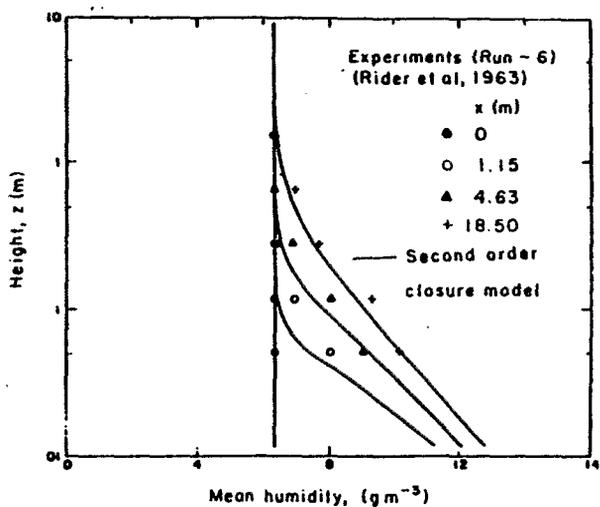


Figure 5 : Profils d'humidité à différentes distances  $x$  du bord d'attaque

D'après Brutsaert, 1984

Figure 6 : Influence d'un brise-vent perméable de 2,2 m de haut, constitué par une claie de roseaux, sur la vitesse réduite du vent à différents niveaux

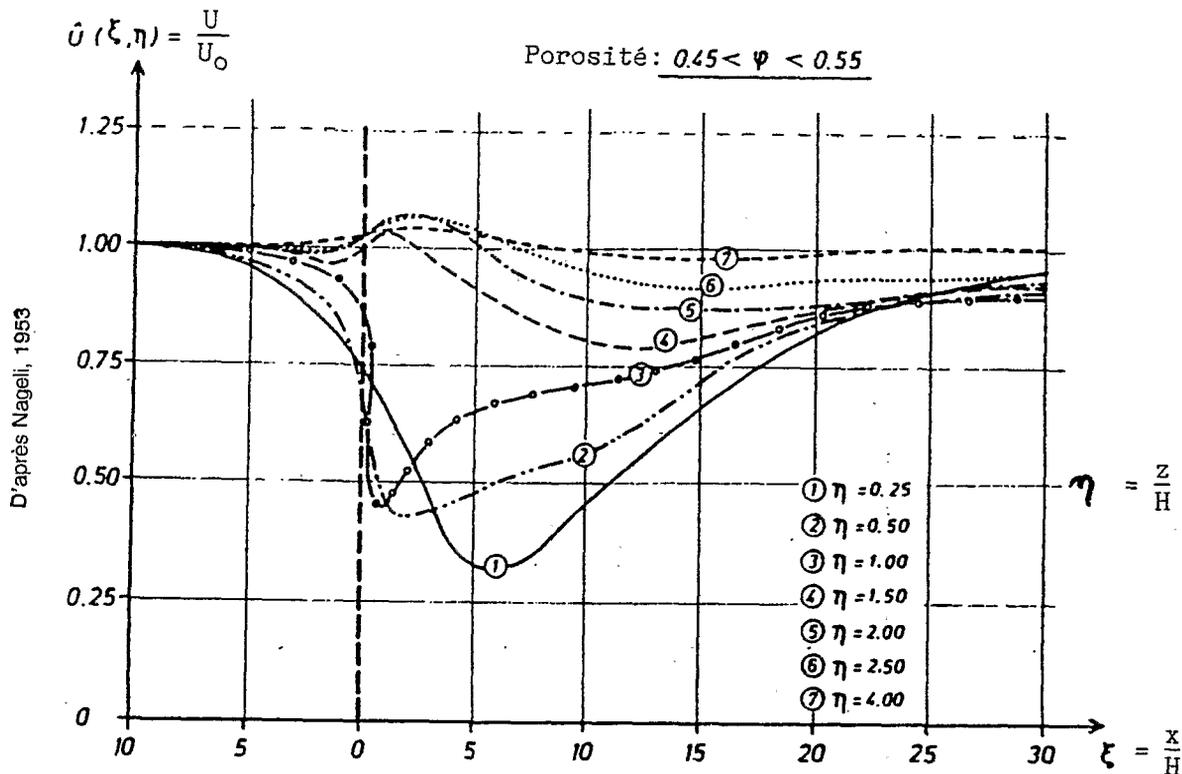


Figure 7 : Influence d'un brise-vent peu perméable à 2,2 m de haut constitué par une claie de roseaux, sur la vitesse réduite du vent à différents niveaux

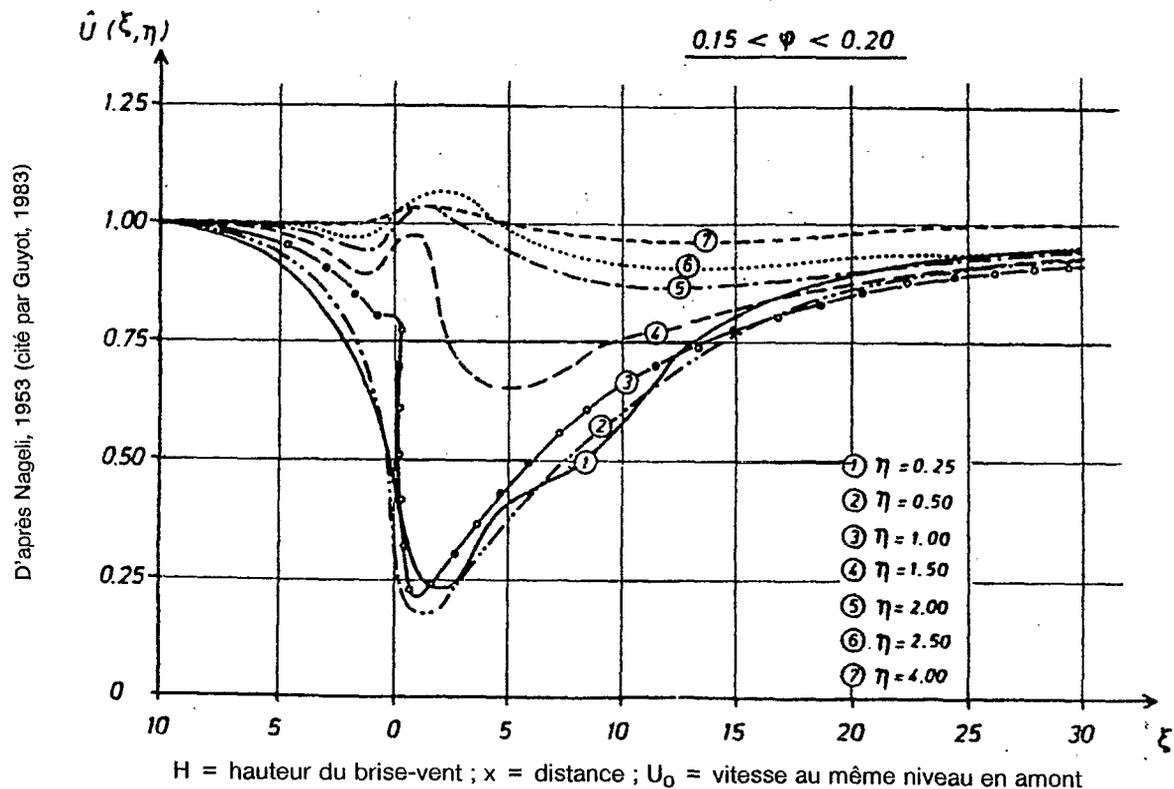
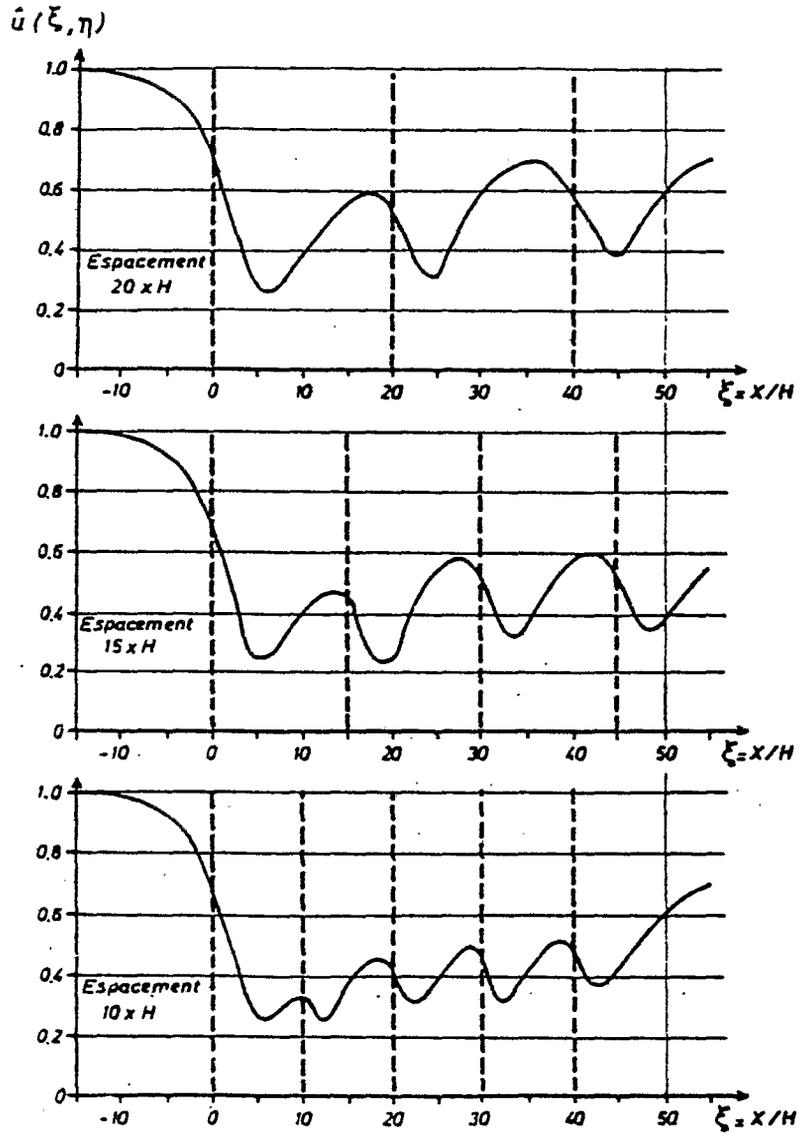


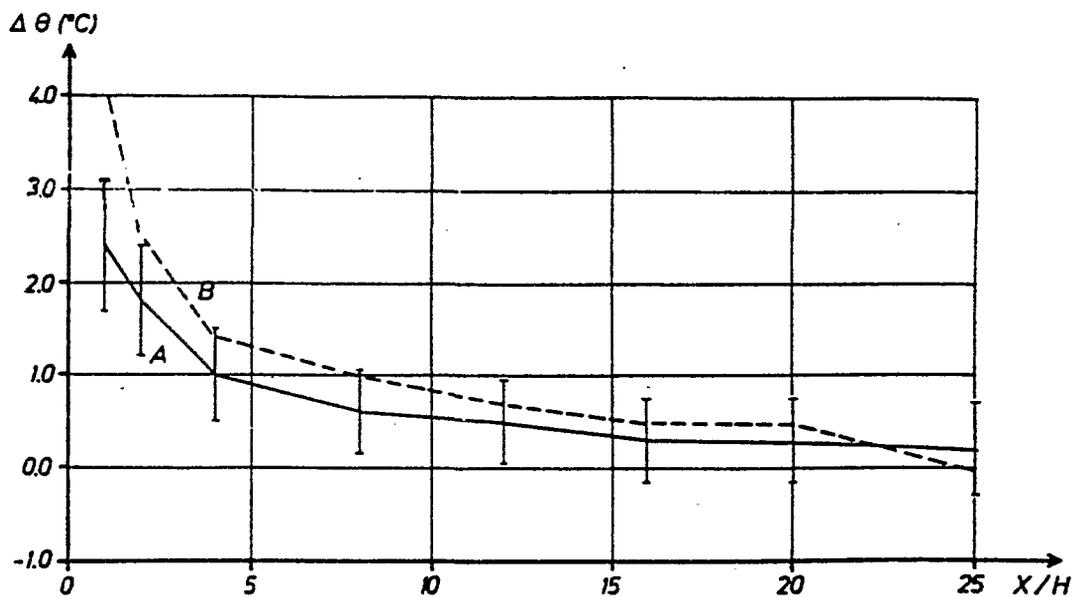
Figure 8 : Effet d'une série de brise-vent identiques constitués par des claies de roseaux de 2,2 m de haut et de porosité  $\Phi \approx 0,50$  sur la vitesse du vent en fonction de leur espacement



D'après Nageli, 1965 (cité par Guyot, 1983).

Figure 9 : Evolution de l'écart de température entre une zone protégée et une zone ouverte en fonction de la distance à un brise-vent en climat aride, au cours d'une période de forte chaleur (Tunisie, Hadjeb el Aioun)

A : écarts thermiques au moment du maximum de température  
 B : écart thermique sur la moyenne des températures diurnes



D'après Charfi, 1980 (cité par Guyot, 1983).

Figure 10 : Répartition de l'énergie solaire entre les arbres et le sol

Rg : Rayonnement global ; Ra : Rayonnement absorbé ; Rt : Rayonnement transmis

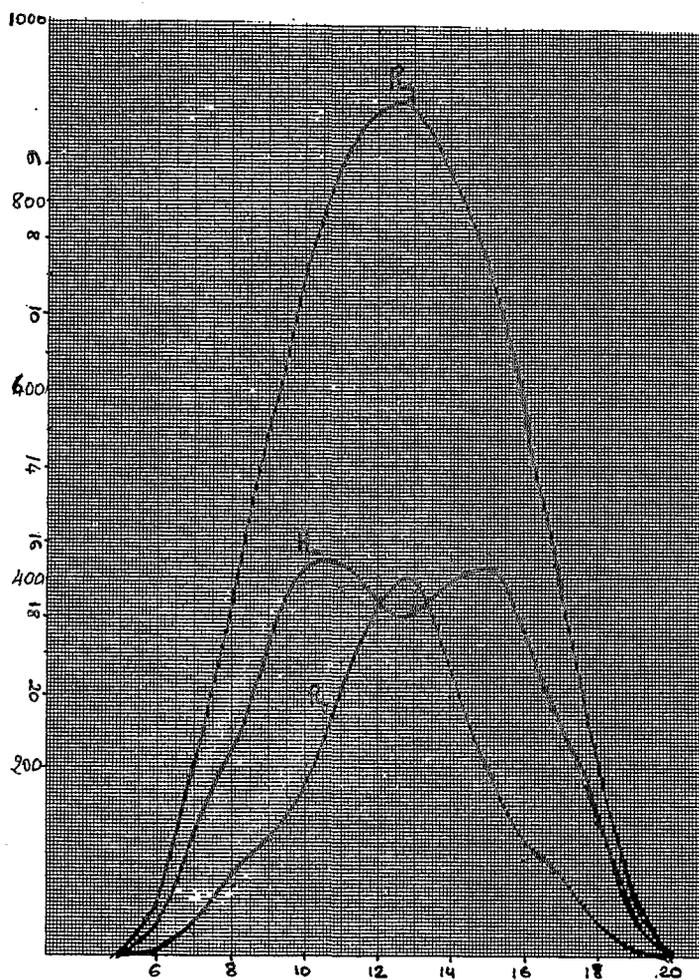
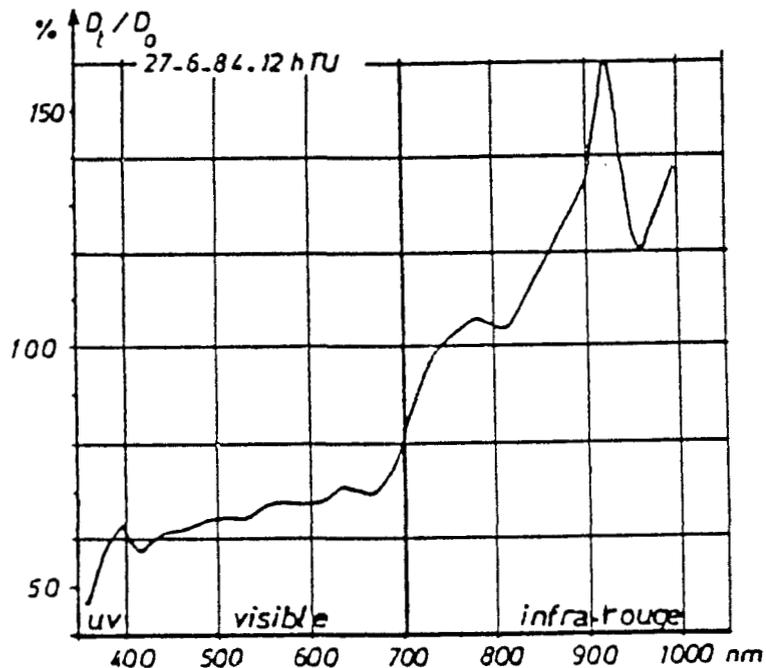


Figure 11 : Répartition spectrale de l'énergie solaire diffuse sous olivier par ciel clair : rapports des rayonnements diffus hors parcelle ( $D_t$ ) et sous olivier ( $D_o$ )

On note l'enrichissement considérable dans le proche infra-rouge, dû à la transmittance des limbes dans cette gamme de longueurs d'ondes.



D'après Baldy, 1986.

Figure 12 : Evapotranspiration décadaire mesurée sur Bac Thornthwaite gazonné à Ksar Ghilane de 1963 à 1967. Moyenne et extrêmes observées

