

## Article de recherche

# Microclimatologie de deux peuplements de cèdre *Cedrus atlantica* Manetti dans le sud de la France

M. Verbrugge<sup>1</sup> et J.P. Fabre<sup>2</sup> avec la collaboration technique de B. Baculat<sup>1</sup> et J.P. Hanocq<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, Bioclimatologie STEFCE, Domaine Saint-Paul, 84140 Montfavet, France;

<sup>2</sup> INRA, Entomologie forestière, avenue A.-Vivaldi, 84000 Avignon, France

(reçu le 8-12-1987, accepté le 1-06-1988)

**Résumé** – L'objet de cette note est de décrire différents profils microclimatiques, dans un jeune peuplement de cèdres (40 ans) du Luberon (84) et dans un autre peuplement plus âgé (53 ans) situé dans le Minervois (11). Sur ce dernier site, les profils ont été comparés à ceux obtenus à l'extérieur de la cèdraie sur sol enherbé.

Dans le Luberon, par ciel clair, on observe une très forte atténuation du rayonnement global dans les couronnes des arbres. L'éclaircissement relatif des strates inférieures est alors de 10%. Par ciel couvert, il peut cependant atteindre 15%. Les profils des températures de l'air et de l'écorce sont très proches; seules les zones d'écorce exposées au rayonnement direct se différencient de la température de l'air.

Dans le Minervois, les températures de l'air sont plus basses pendant la journée dans la cèdraie qu'en zone ouverte, sauf pour les niveaux supérieurs au moment du midi solaire. La nuit, les gradients sont faibles et les températures sont toujours plus basses dans la forêt. Par ailleurs, l'amplitude thermique journalière du sol est très faible, et l'écart avec la zone ouverte peut atteindre 10°C.

Par vent fort (mistral), dans le Luberon, le profil vertical de vitesse du vent ne varie pas au cours de la journée; il présente une très forte atténuation dans la strate supérieure des houppiers. Sous les couronnes des arbres, les échanges turbulents sont réduits et constants. Par vent faible, au contraire, les profils varient selon la répartition de la biomasse.

Les gradients verticaux d'humidité de l'air, dans le Luberon, sont le plus souvent faibles. Cependant, la nuit, sous les couronnes des arbres, la température du point de rosée augmente légèrement à proximité du sol.

**cèdre – *Cedrus atlantica* – microclimat – profils microclimatiques**

**Summary – Microclimatology of two cedar stands (*Cedrus atlantica* Manetti) in Southern France.** The purpose of this note is to describe some microclimatic profiles in a young atlantic cedar (*Cedrus atlantica* Manetti) stand (40 yr old) in Luberon (Vaucluse) and in an older one (53 yr old) in the Minervois (Aude).

The measurements were made on masts within and outside the forest. All the sensors were connected on special datalogger and measurements were taken simultaneously. The vertical profiles presented are relative to some typical meteorological situations.

During clear days in the Luberon, we observed a very high attenuation of global radiation in the crown of the trees. There was only 10% relative radiation between the base of the crown and the

ground; this level of radiation was insufficient to maintain foliage or to permit regeneration. During overcast days, the relative radiation of low levels was a little more significant, but remained low.

The air and bark temperatures profiles were very close; only those bark zones exposed to direct radiation were different from the air temperature. The comparison of profiles in the Minervoises showed that the air temperatures were lower during the day in the cedar forest than in the open field, except for the upper levels at the maximum of radiation.

During the night the gradients were small and the air temperature was always lower in the forest. In other respects, in the forest, the diurnal thermal amplitude in the soil was very low and the differences with the open field soil temperature reached as much as 10°C.

During periods of high wind (mistral), the vertical profile of wind speed did not vary during the day but there was a large attenuation in the upper layer of trees. On the contrary, during low wind speeds, the profiles took on a shape which depended on the distribution of the biomass.

The air humidity profiles did not vary in the Luberon cedar forest. However, during the night, we observed that below the crowns dew point temperature increased progressively towards the soil.

### cedar — *Cedrus atlantica* — microclimate — microclimatic profiles

## Introduction

Le microclimat au sein d'un couvert forestier dépend à la fois du climat local et des propriétés physiologiques et physiques de la végétation. Les échanges énergétiques entre les différents éléments qui constituent la biomasse forestière et l'atmosphère créent à l'intérieur de la forêt des gradients microclimatiques. L'objet de cette note est de décrire ces derniers dans 2 peuplements de cèdres de l'Atlas : *Cedrus atlantica* Manetti. Des travaux similaires sur d'autres essences existaient déjà (Cachan, 1974; Aussenac, 1975; Aussenac et Ducrey, 1977), mais rien n'avait été fait dans ce sens sur le cèdre. Cette essence a été introduite à partir de 1860, d'Afrique du Nord au Ventoux (Maury, 1960; Toth, 1972) et depuis une quinzaine d'années, elle a été très utilisée pour reconstituer la forêt méditerranéenne. Dans le cadre des connaissances acquises sur le cèdre (Arbez *et al.*, 1978; Toth, 1982; Aussenac, 1983), celles concernant le microclimat peuvent contribuer à expliquer ses potentialités de régénération, sa résistance au feu, à la sécheresse, sa sensibilité à certaines attaques

de ravageurs (Fabre, 1988) et l'action du sylviculteur qui, en modifiant les caractéristiques du peuplement, agit sur le microclimat (Aussenac, 1984).

## Sites expérimentaux et Méthodologie

Deux sites expérimentaux ont été choisis à cause des études qui y étaient conduites sur la tordeuse : *Epinotia cedricida* Diakonoff, dont on voulait préciser la distribution verticale des adultes en fonction des facteurs microclimatiques. Le premier est situé dans le massif du Petit-Luberon (84), sur la forêt communale de Ménerbes (longitude 3,23 E grades, latitude 48,66 N grades, altitude 665 m). Les arbres sont âgés d'environ 40 ans et constituent un peuplement de régénération sur incendie, relativement dense (1 768 tiges/ha) avec encore çà et là quelques trouées de taille relativement réduite. Leur circonférence moyenne est d'environ 40 cm et leur hauteur de 7,50 m. La surface terrière est d'environ 24 m<sup>2</sup>/ha. Le second site expérimental fait partie de la forêt domaniale des Solanes de Nore dans le Minervoises (11), sur le versant sud de la montagne Noire (longitude 0,16 E grades, latitude 48,17 N grades, altitude 560 m). Ce peuplement adulte, de plantation, est constitué d'arbres plus âgés (environ 53 ans); ils diffèrent aussi des précédents par leur densité plus faible (510 tiges/ha)

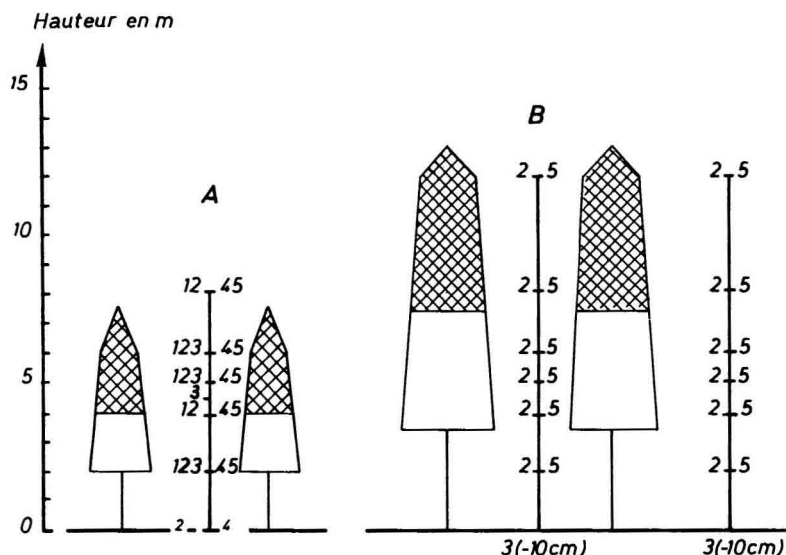


Fig. 1A et B. Schéma des 2 dispositifs expérimentaux : (A), dans un peuplement du Luberon (84); (B), dans celui du Minervois (11). 1 : pyranomètre; 2 : sonde de température à résistance de platine (température de l'air); 3 : thermocouple (température de l'écorce, du sol) 4 : anémomètre; 5 : psychromètre ventilé. □ houppier vivant; □ houppier avec branches mortes.

et par leur taille : circonférence moyenne 110 cm, hauteur moyenne 13 m. La surface terrestre, plus importante, est d'environ 50 m<sup>2</sup>/ha.

Dans les 2 cas, les mesures microclimatiques, réparties depuis le sol jusqu'au-dessus du couvert forestier, ont été obtenues grâce à un dispositif expérimental comportant un ou plusieurs mâts sur lesquels étaient disposés les capteurs : un mât de 8 m, comportant de 4 à 6 niveaux de mesures, à l'intérieur de la cédraie du Luberon (Fig. 1A), 2 mâts de 12 m (de 6 à 7 niveaux de mesures), dans celle du Minervois, le premier dans le peuplement, le second à découvert, sur sol enherbé, à 150 m de la lisière et à environ 200 m du premier (Fig. 1B). Dans ce dernier cas, les mesures simultanées dans le peuplement et à l'extérieur avaient pour but de déterminer l'influence réelle du couvert forestier.

Les températures de l'air ont été mesurées à l'aide de sondes à résistance de platine (100 Ω à 0°C) placées à l'intérieur de tuyères ventilées, la précision de ces mesures est de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Les températures d'écorce ont été déterminées par des thermocouples cuivre-constantan implantés dans l'écorce, à la partie supérieure de branches horizontales (Fig. 1A). La préci-

sion des températures de surface ainsi mesurées est de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Les températures du sol, à 10 cm de profondeur, sous la cédraie et en zone ouverte (Fig. 1B), ont été déterminées avec des sondes à résistance de platine identiques à celles utilisées pour mesurer la température de l'air. La répartition verticale du rayonnement global descendant a été mesurée à l'aide de pyranomètres linéaires dont la sensibilité spectrale s'étend de 400 à 2 500 m (Fig. 1A). Ces capteurs ont une précision d'environ 15% et intègrent la mesure sur une longueur de 0,30 m. Ils étaient placés sur des supports horizontaux depuis la base jusqu'au sommet du houppier, le pyranomètre situé au sommet était utilisé comme référence. L'humidité relative de l'air a été calculée à partir des mesures de la température de l'air sec et de la température de l'air humide effectuées à l'aide de psychromètres ventilés dont la précision est d'environ 5%. Les profils verticaux de vitesse de vent ont été mesurés, à l'aide d'anémomètres à contact Aanderaa, dont le seuil de démarrage est de 0,3 msec<sup>-1</sup> (Fig. 1A). Les anémomètres étaient placés à l'extrémité de bras horizontaux depuis le sol jusqu'au sommet de la forêt, la direction du vent étant déterminée par une girouette placée en zone dégagée. Les capteurs microclima-

tiques étaient reliés à des centrales d'acquisition de données Aanderaa, modèle DL1, autonomes, spécialement conçues pour l'acquisition de paramètres climatiques sur le terrain. Les données étaient enregistrées sur bandes magnétiques et traitées ensuite au laboratoire. Les températures correspondaient à des mesures instantanées, prises toutes les 10 min, les mesures de rayonnement et de vitesse de vent étaient, elles, intégrées sur 10 min.

Les campagnes de mesures ont été réalisées en juillet et août 1976 dans le Luberon, et durant l'été 1979 dans le Minervois. Nous avons retenu les journées de ciel clair, et celles où le ciel était totalement couvert. Ces 2 situations météorologiques correspondent à des niveaux énergétiques constants et à des fluctuations instantanées faibles, qui permettent d'établir des profils microclimatiques «type».

## Résultats et discussion

Le bilan d'énergie d'un couvert forestier, de grande étendue et homogène, est indépendant du niveau auquel on se place, à condition de se situer dans la couche limite à flux conservatif. A l'intérieur d'un couvert végétal, il est possible de définir un bilan d'énergie par tranche horizontale de végétation (Chartier *et al.*, 1971; Perrier, 1973). L'équation du bilan d'énergie peut alors s'écrire :

$$Rn(z) + \Phi s(0) + \Phi h(z) + \Phi l(z) = 0$$

où  $Rn(z)$  = la densité de flux radiatif au niveau  $z$ ,

$\Phi s(0)$  = la densité de flux de chaleur à la surface du sol,

$\Phi h(z)$  = la densité de flux de chaleur sensible dans l'air au niveau  $z$ ,

$\Phi l(z)$  = la densité de flux de chaleur latente dans l'air au niveau  $z$ .

On néglige dans ce cas l'énergie utilisée par la photosynthèse ( $\Delta\Phi CO_2$ ) et par la respiration, leurs valeurs étant très faibles par rapport aux autres termes du bilan. On suppose également que la variation énergétique du système et les termes d'advection sont négligeables. Les échanges

énergétiques entre le végétal et l'air vont ainsi créer, à chaque niveau de la strate forestière, des conditions microclimatiques que nous nous proposons de présenter.

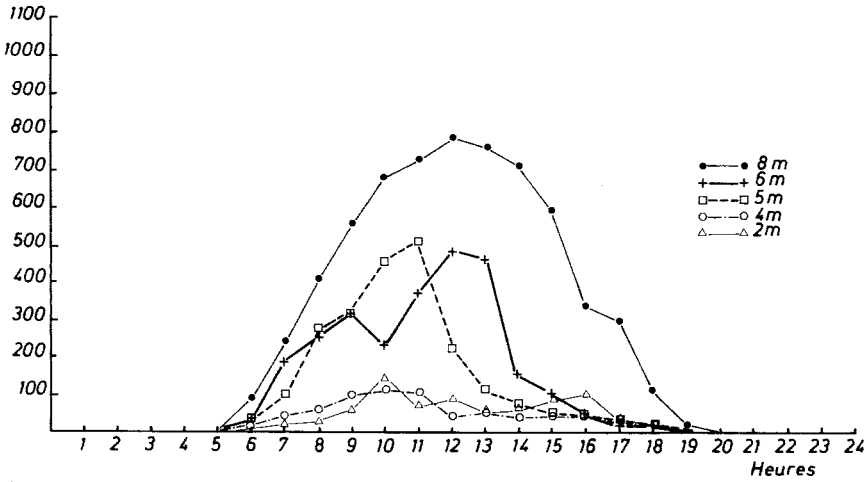
### Les profils de rayonnement

Lors d'une journée de ciel clair ( $R_g \text{ max} = 810 \text{ W m}^{-2}$ ), dans la forêt du Luberon, on observe dans la strate 4-8 m de très forts gradients de rayonnement (Fig. 2A). Ainsi, dans l'exemple présenté, l'énergie reçue au niveau 4 m ne dépasse pas  $150 \text{ W m}^{-2}$  alors qu'elle peut atteindre  $810 \text{ W m}^{-2}$  au-dessus du peuplement forestier (Fig. 2A). L'atténuation du rayonnement direct dans la cédraie dépend en grande partie de la répartition de la biomasse végétale (Ducrey, 1972; Baldy, 1973). En effet, dans ce jeune peuplement de cèdres, le maximum de la biomasse végétale (estimation visuelle) se situe au niveau de la couronne des arbres entre 4 et 6 m. Cependant, l'atténuation du rayonnement dépend aussi de la hauteur apparente du soleil. Ainsi, l'éclairement relatif à 5 m est de 57% à 8 h, alors qu'il n'est que de 15% à partir de 12 h (Fig. 2B). De 4 à 8 m, l'absorption du rayonnement global varie le matin de façon linéaire avec la longueur de pénétration du rayonnement dans le peuplement. L'après-midi, on observe 2 zones bien distinctes, la zone 6-8 m caractérisée par de très forts gradients, et la zone 2-6 m dans laquelle le rayonnement est faible et constant. De plus, il existe à l'emplacement du profil de mesures une perméabilité de la végétation au rayonnement direct, plus élevée du côté est que des côtés sud et ouest. Cette dissymétrie de structure explique aussi les variations d'éclairement relatif des niveaux supérieurs, en fonction de l'heure de la journée.

La strate 2-4 m ne reçoit toute la journée qu'une très faible partie du rayonne-

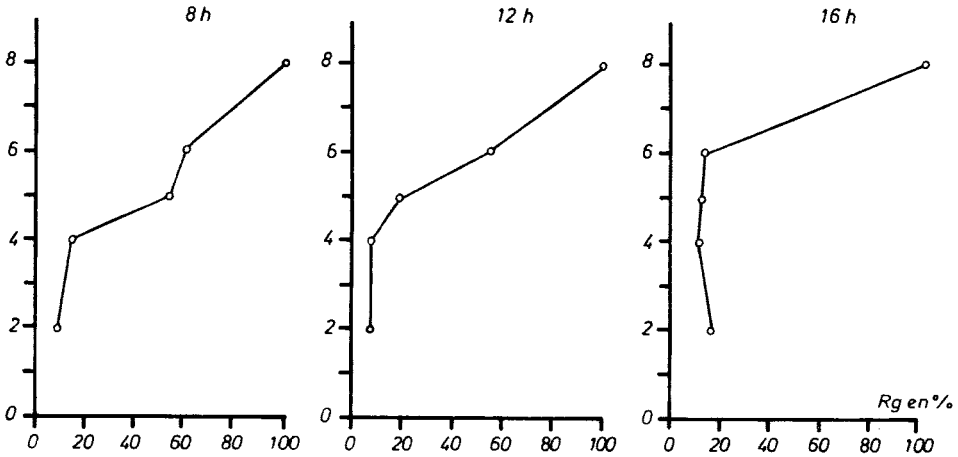
RG.  $W m^{-2}$

(A)



Hauteur en m

(B)



Hauteur en m

(C)

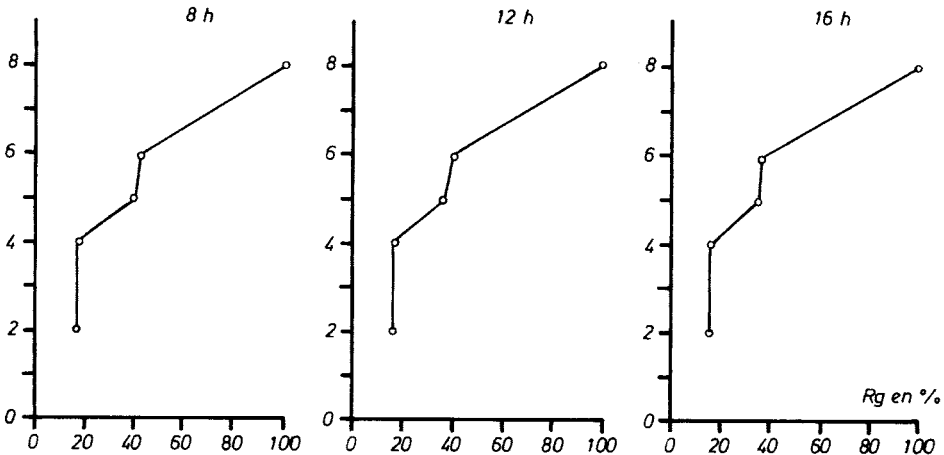


Fig. 2A à C. Evolution du rayonnement global, dans la cédraie du Luberon (84) : (A) évolution journalière à différents niveaux, par ciel clair; (B) évolution des profils verticaux, par ciel clair; (C) évolution des profils verticaux, par ciel couvert.

ment incident (environ 10%), ce dernier étant très fortement intercepté par les surfaces végétales des strates supérieures. L'intensité du rayonnement est ici moins dépendante de la hauteur apparente du soleil. Sur les cèdres, entre les niveaux 2 et 4 m, on trouve des branches mortes totalement dépourvues d'aiguilles. Ainsi, au-dessous de 4 m, le rayonnement est insuffisant pour maintenir en place le feuillage (élagage naturel) (Pardé, 1974). En outre, au niveau du sol, il a été observé que les graines sont capables de germer, mais les jeunes régénérations sont rapidement éliminées. Des valeurs d'éclairement relatif de 4,3% permettent, par contre, le développement des feuilles de hêtres (Aussenac et Ducrey, 1977) dans l'est de la France.

Lors d'une journée de ciel couvert ( $R_g \text{ max} = 400 \text{ W m}^{-2}$ ), les profils verticaux sont semblables quelle que soit l'heure de la journée (Fig. 2C). La strate 6-8 m absorbe 60% du rayonnement incident; l'éclairement relatif de la strate 2-4 m est faible mais supérieur à celui mesuré par temps clair; il est ici d'environ 15%. Le rayonnement diffus, multidirectionnel, est

caractérisé, dans la strate inférieure par un coefficient d'extinction plus faible que celui du rayonnement direct. La même constatation avait déjà été faite dans un peuplement de feuillus (Aussenac et Ducrey, 1977).

### Les profils de températures

#### Comparaison des températures de l'air et de l'écorce dans la cédraie du Luberon

L'évolution des profils de température de l'air, entre la surface du sol et le sommet de la cédraie, au cours d'une journée de beau temps (Fig. 3), est analogue à celle des milieux découverts. Le jour, la température est plus élevée au niveau du sol qu'au sommet de la végétation ( $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ ), les gradients s'annulent vers 20 h, puis s'inversent au cours de la nuit ( $\Delta T = 3^\circ\text{C}$ ). L'apport énergétique au niveau du sol provient du rayonnement net  $R_n$ , les pertes s'effectuent par les flux de chaleur sensible  $\Phi_h$  et de chaleur latente  $\Phi_l$  dans l'atmosphère, et de chaleur sensible dans le sol  $\Phi_s$ . La nuit, le sens de variation des flux est inversé, il se produit une perte

Hauteur en m.

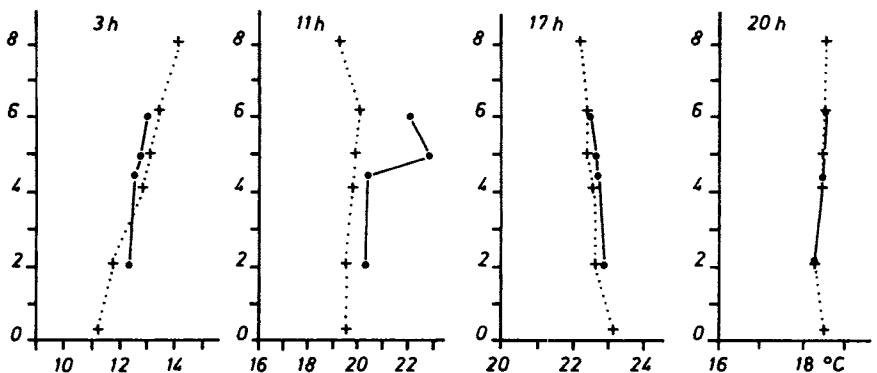


Fig. 3. Evolution des profils verticaux de températures de l'air et d'écorce, dans la cédraie du Luberon (84).  
 • — • température écorce; +.....+ température air.

d'énergie de la surface d'échange par rayonnement; le terme  $R_n$  est alors négatif, les termes  $\Phi_h$ ,  $\Phi_l$ ,  $\Phi_s$  deviennent positifs. Sur ce site, le sol joue le rôle de surface d'échange. Dans ce jeune peuplement, la persistance çà et là de quelques trouées, la faible hauteur des arbres et la surface foliaire peu développée ne modifient pas totalement la répartition des flux observée généralement en milieu découvert.

Parallèlement aux températures de l'air, les températures d'écorce de branches ont été mesurées aux mêmes niveaux. Les résultats expérimentaux (Fig. 3) montrent que seules les branches des strates supérieures exposées au rayonnement direct présentent des températures de surface nettement supérieures à celles de l'air ( $\Delta T = 3$  à  $4^\circ\text{C}$ ). En l'absence de rayonnement direct, les températures d'écorce sont légèrement plus basses la nuit ( $\Delta T = 0,5^\circ\text{C}$ ) et légèrement plus élevées le jour ( $\Delta T = 0,8^\circ\text{C}$ ) que la température de l'air. Ces résultats illustrent l'importance du terme radiatif sur la température de surface des branches.

#### *Comparaison des profils de températures en forêt et à découvert dans le Minervois*

L'évolution des profils verticaux de températures de l'air, sous forêt, au cours d'une journée de beau temps et de vent modéré (Fig. 4), est caractérisée par l'absence de gradients thermiques quelle que soit l'heure de la journée. L'écart maximum observé entre les niveaux de mesures est inférieur à  $0,5^\circ\text{C}$ . Dans la zone ouverte, au contraire, il existe des gradients qui atteignent  $2,5^\circ\text{C}$  entre les niveaux 2 et 12 m au moment du midi solaire, le sol jouant alors le rôle de source chaude vis-à-vis de l'air environnant. Contrairement à la cédraie du Luberon, dans ce peuplement forestier adulte et bien fermé, la masse végétale située au-dessus de 7,50 m

constitue un volant thermique. La surface d'échange sol-atmosphère est alors transférée vers le sommet du couvert forestier. Le point d'intersection des profils verticaux mesurés sous forêt et en zone dégagée, passe progressivement de 5 à 10,5 m entre 10 h et 16 h. Ainsi, le 1<sup>er</sup> septembre 1979 (Fig. 4), les températures de l'air sont toujours plus basses dans la cédraie qu'en zone ouverte sauf, autour du midi solaire, pour les niveaux supérieurs du couvert. Ces derniers absorbent le rayonnement solaire direct, il se produit alors une élévation des températures des surfaces végétales qui par conduction-convection échauffent l'air environnant. Au niveau des strates inférieures, l'absence de rayonnement solaire direct et la transpiration des arbres contribuent à modifier le bilan énergétique du système et à abaisser les températures sous forêt. Ainsi, entre 8 h et 22 h, la température de l'air dans la cédraie, au niveau 2 m, est-elle inférieure de  $2^\circ\text{C}$  à celle de la zone ouverte. Ces profils de températures de l'air sont également influencés par la température du sol sous la forêt (Fig. 5). L'amplitude thermique journalière du sol sous couvert est très faible. Par rapport à la zone ouverte, les températures sont inférieures de  $4^\circ\text{C}$ , au moment du minimum, et de  $10^\circ\text{C}$ , au moment du maximum. L'absorption du rayonnement par la végétation et par la couche d'humus recouvrant le sol explique la faible amplitude journalière des températures du sol. Ce dernier se comporte le jour en source froide vis-à-vis de la strate inférieure et provoque une atténuation des gradients verticaux de la température de l'air.

La nuit, les gradients thermiques de température de l'air sont faibles sous forêt et en zone ouverte. Pour cette dernière, les températures sont plus élevées, d'environ  $1,5^\circ\text{C}$  à 18 h, puis la plus grande inertie thermique de la biomasse forestière provoque une réduction progressive des

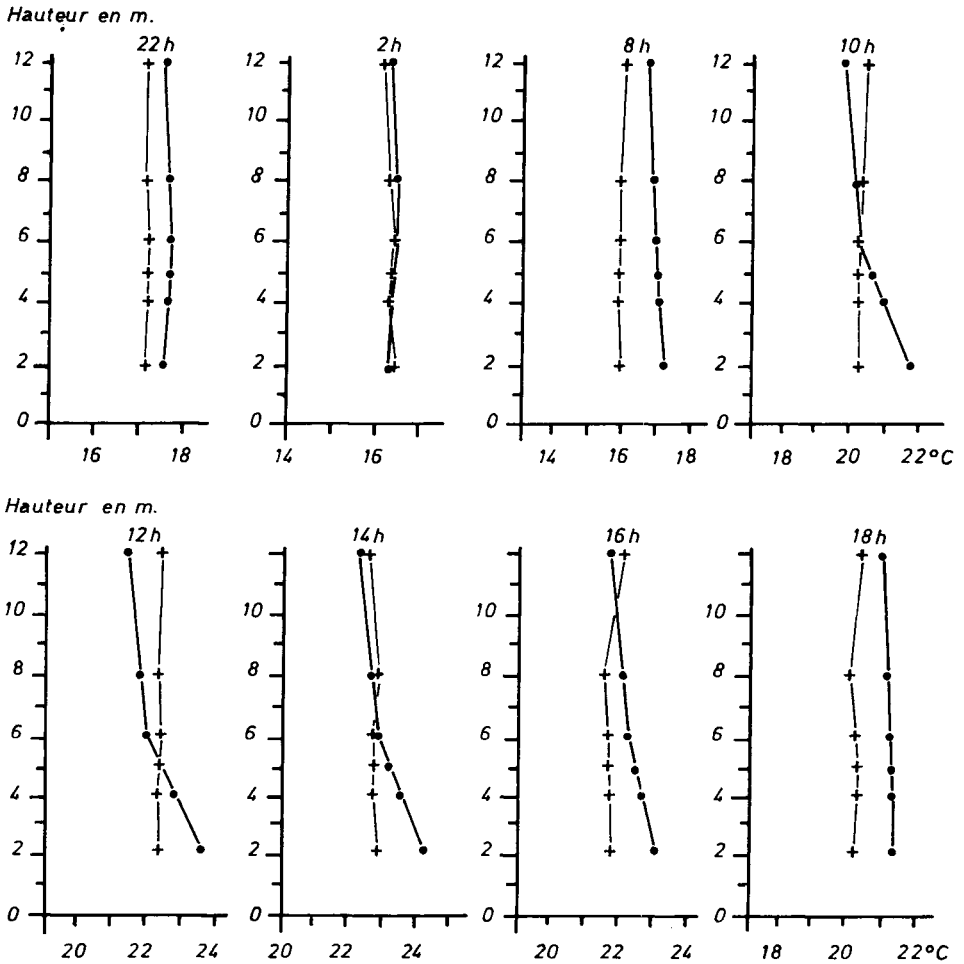


Fig. 4. Evolution des profils verticaux de températures de l'air dans la cédraie du Minervois (11) et en zone ouverte. + —+ forêt; • —• zone ouverte.

écarts de températures qui s'annulent à 2 h (Fig. 4).

La Figure 5 met en évidence les effets de la cédraie sur l'évolution de la température de l'air au cours d'une journée, selon la strate considérée. Le jour, seul le niveau 2 m (sous-bois parfaitement dégagé) est influencé par la cédraie qui abais-

se la température de l'air d'environ 2 °C. Les niveaux 6 et 12 m (qui comprennent le houppier vivant et la strate située immédiatement au-dessous : branches mortes en cours d'élagage) sont, au contraire, très peu influencés, les écarts étant inférieurs à 0,5 °C. La nuit, les températures sont toujours plus basses dans la forêt quelle que soit la strate considérée. Les



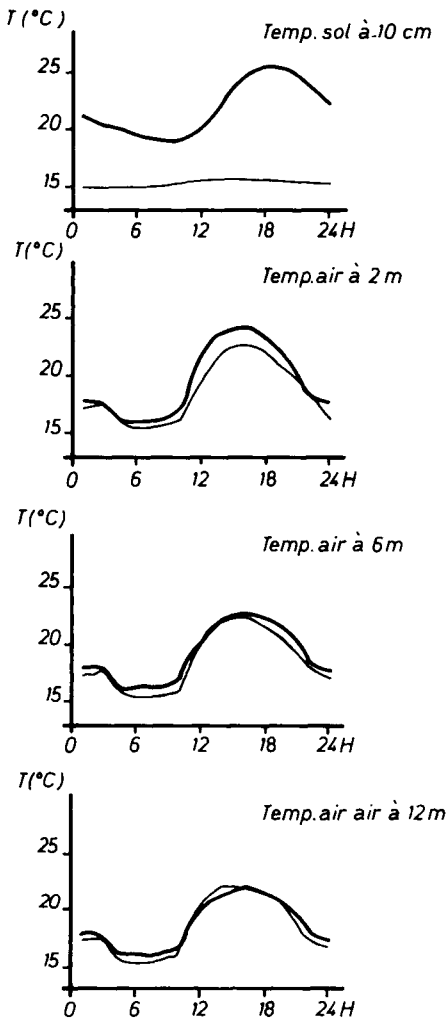


Fig. 5. Evolution journalière des températures du sol et de l'air dans la cédraie du Minervois (11). — forêt; — zone ouverte.

modifications des échanges énergétiques par la forêt ont donc un effet sur la température de l'air, essentiellement sur l'abaissement des températures diurnes de la strate inférieure du couvert forestier et, à un degré moindre, sur l'abaissement des températures nocturnes de l'ensemble de la cédraie.

### Les profils de vitesse du vent

Les différents flux énergétiques d'un couvert végétal dépendent de coefficients de diffusivité qui sont eux-mêmes dépendants de la vitesse du vent. Il existe en effet, les relations suivantes (Perrier, 1973) :

$$U(z) = U(h)e^{-\gamma F(z)}$$

$$\text{et } K(z) = \beta U(h)e^{-\gamma F(z)} / f(z)$$

avec  $U(z)$  = vitesse du vent au niveau  $z$ ,

$U(h)$  = vitesse du vent au sommet de la végétation,

$F(z)$  = surface foliaire cumulée entre le sommet et la base de la végétation;  $\gamma$  et  $\beta$  sont des coefficients;  $K(z)$  coefficients de diffusivité turbulente;  $f(z)$  densité de surface foliaire pour le niveau  $z$ .

Par ailleurs, on sait que les différents flux de chaleur sensible, de chaleur latente ou de  $\text{CO}_2$  sont proportionnels aux coefficients  $K(z)$  puisque :

$$\Phi_s = \rho C K(z) \frac{dT}{dz}$$

$$\Phi_l = L K(z) \frac{dc}{dz}$$

$$\Phi_{\text{CO}_2} = K(z) \frac{d\text{CO}_2}{dz}$$

où  $\rho$  est la masse spécifique de l'air,  $c$  sa chaleur massique,  $L$  la chaleur latente de vaporisation,  $T$  la température de l'air,  $C$  la concentration en vapeur d'eau ou en gaz carbonique.

Il était donc intéressant d'analyser les variations verticales des vitesses de vent dont dépendent les répartitions énergétiques dans le couvert. Dans la cédraie du Luberon, les profils verticaux «type» de vitesse de vent ont été établis pour des journées de vent faible et pour des journées de mistral (Fig. 6). Dans ce dernier cas, on observe 2 zones bien distinctes

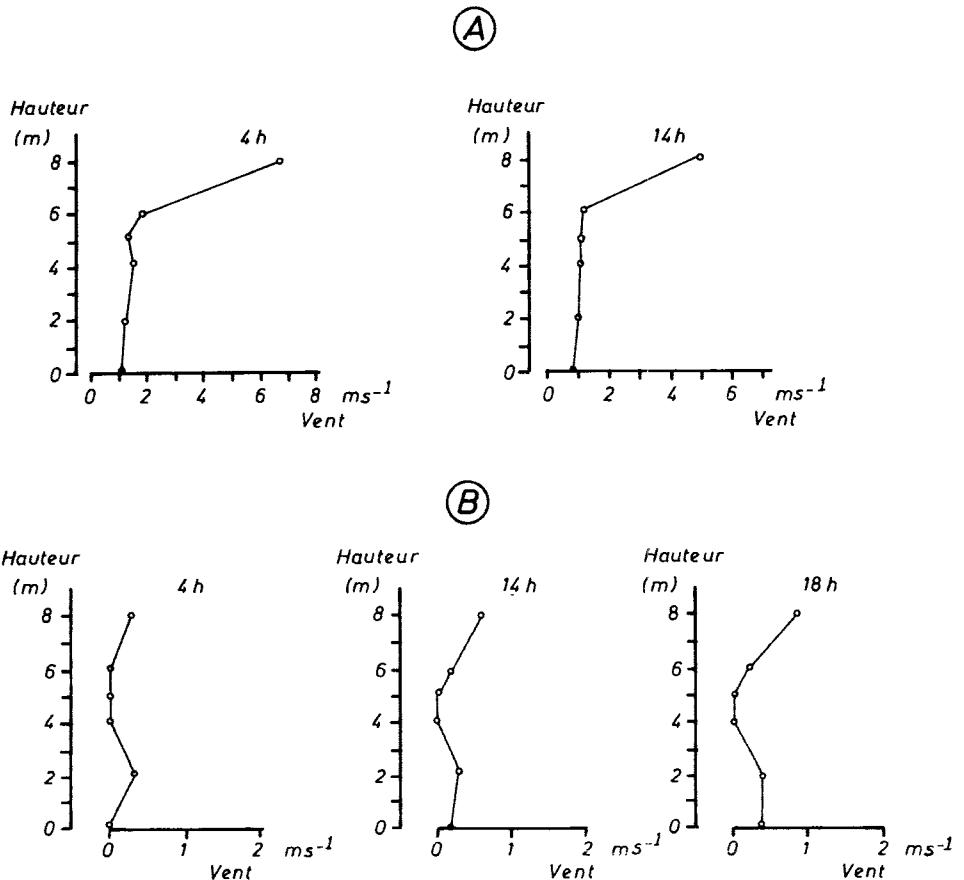


Fig. 6A et B. Evolution des profils verticaux de vent dans la cédraie du Luberon (84) : (A) au cours d'une journée de mistral; (B) par vent faible.

(Fig. 6A). La première de 6 à 8 m est caractérisée par de très forts gradients de vitesse, qui passe de 7 msec<sup>-1</sup> au-dessus du peuplement à 1 msec<sup>-1</sup> au niveau 6 m. L'atténuation verticale de la vitesse du vent est donc très importante. Pourtant, cette strate correspond aux cimes d'arbres peu denses; le même phénomène a été observé chez les feuillus (Aussenac et Ducrey, 1977). La seconde zone, qui s'étend jusqu'au niveau du sol (0-6 m), est une zone de faibles échanges turbulents due à la présence d'une importante bio-

masse végétale dans la strate 4-6 m, mais aussi, pour le niveau 0-4 m, par l'existence non loin du site expérimental d'arbres de lisière jouant le rôle de brise-vent. La cédraie modifie de façon très importante le profil vertical de la vitesse du vent que l'on sait semi-logarithmique (Deacon, 1949; Sheppard, 1958; Dyer, 1963; Klug, 1967) en terrain nu et plat. La couche végétale du sommet des arbres modifie donc entièrement la structure aérodynamique de l'atmosphère et réduit les échanges turbulents au sein du peuplement.

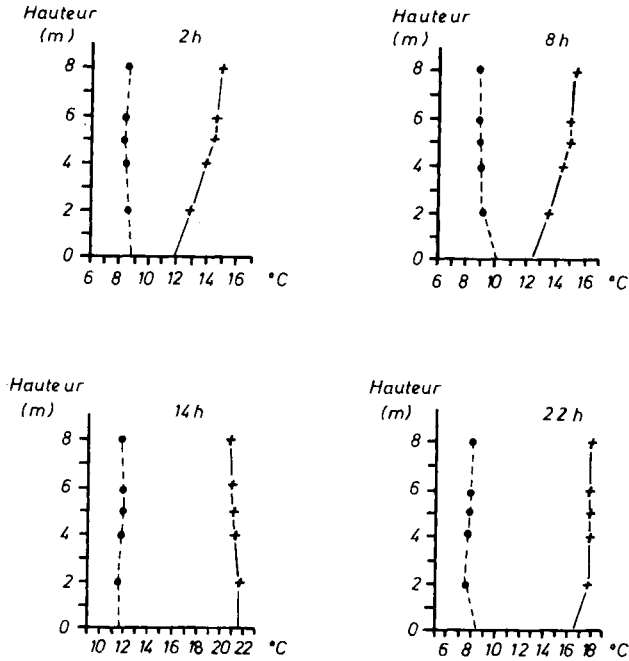


Fig. 7. Evolution des profils verticaux de la température du point de rosée et de la température de l'air, dans la cédraie du Luberon (84). ···· température du point de rosée; + — + température de l'air.

Par vent faible, au contraire, les profils verticaux «type» ont une configuration différente des précédents (Fig. 6B), la vitesse est minimale au niveau de la strate 4-5 m où la biomasse est maximale. Pour ces vitesses, la répartition verticale du vent semble dépendre directement de celle de la densité de végétation. Il est à noter toutefois que les vitesses mesurées sont proches du seuil de démarrage des anémomètres ( $0,3 \text{ msec}^{-1}$ ).

#### Les profils d'humidité de l'air

Les profils d'humidité absolue de l'air, dans la cédraie du Luberon, sont caractérisés par de faibles gradients entre le sommet de la végétation et le sol, quelle que soit l'heure de la journée (Fig. 7). Le

jour, les écarts entre la température de l'air et la température du point de rosée sont constants. La nuit, les strates supérieures de la forêt sont caractérisées par l'absence de gradient de teneur en eau de l'air, mais la strate 0-2 m présente un léger accroissement, vers le sol, de la température de l'air, à proximité du sol, qui joue le rôle de source froide. Ainsi, la cédraie crée un volant d'humidité qui homogénéise la teneur en eau de l'air dans l'ensemble du peuplement forestier.

#### Conclusion

Les interactions du climat local et du couvert forestier créent un milieu atmosphérique interne à la forêt, très différent du

milieu extérieur. La structure végétale de la forêt modifie la répartition verticale des paramètres microclimatiques. Les gradients ne sont accentués que pour le rayonnement global et la vitesse du vent dans les strates supérieures du couvert. Les profils relatifs aux strates moyennes et inférieures sont caractérisés par des gradients faibles (jeune cédraie) ou inexistant (cédraie plus âgée), les gradients d'humidité et de température de l'air sont peu marqués. Par contre, les températures de l'air mesurées dans la strate inférieure de la forêt sont toujours plus basses ( $\Delta T$  environ  $2^{\circ}\text{C}$  à 2 m du sol) que celles mesurées en zone ouverte. Par ailleurs, dans la couche superficielle du sol, la température sous forêt est notablement plus basse qu'en zone ouverte (jusqu'à  $10^{\circ}\text{C}$  d'écart). L'amplitude thermique journalière du sol sous forêt est très faible ( $< 1^{\circ}\text{C}$ ). Ces variations microclimatiques sont essentiellement dues aux modifications apportées par le couvert forestier aux échanges énergétiques entre le sol et l'atmosphère; il se crée ainsi, à chaque instant, un milieu atmosphérique propre à la cédraie.

## Remerciements

Nous remercions B. Seguin de la Station de Bioclimatologie (INRA, Montfavet) qui a revu ce texte.

## Références

- Arbez M., Ferrandez P. & Uyar M. (1978) Contribution à l'étude la variabilité géographique des cèdres. *Ann. Sci. For.* 35 (4), 265-284
- Aussenac G. (1975) *Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions conséquences écophysologiques chez quelques résineux*. Thèse Doct., Nancy
- Aussenac G. & Ducrey M. (1977) Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (*Fagus silvatica* L. et *Quercus sessiliflora* Saliab.) de l'est de la France. I. Analyse des profils microclimatiques et des caractéristiques anatomiques et morphologiques de l'appareil foliaire. *Ann. Sci. For.* 34 (4), 265-284
- Aussenac G. (1983) Le cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysologique. *C.R. Colloq. Bioclimatol. Méd.* 18-20 mai 1983, pp. 4-8
- Aussenac G. (1984) Rôle de la microclimatologie et de la bioclimatologie en sylviculture. *Météorologie* 7 (5), 11-17
- Baldy C. (1973) Contribution à l'étude de la répartition du rayonnement d'origine solaire dans les couverts de pins. *Agric. Meteorol.* 11, 123-133
- Cachan P. (1974) Importance écologique des variations verticales microclimatiques du sol à la canopée dans la forêt tropicale humide. In : *Ecologie Forestière, la Forêt : son Climat, son Sol, ses Arbres, sa Faune* (P. Pesson., ed.), Gauthier-Villars, Paris, pp. 20-42
- Chartier P., Perrier A. & Verbrughe M. (1971) Assimilation nette, utilisation de l'eau et microclimatologie d'un champ de maïs. *Ann. Agron.* 22 (4), 367-381
- Deacon E.L. (1949) Vertical diffusion in the lowest layer of the atmosphere. *Quart. J.R. Meteorol. Soc.* 75, 89-103.
- Ducrey M. (1972) Contribution à l'étude de la répartition du rayonnement dans une plantation de pins sylvestres. Document interne, INRA (70.3)
- Dyer A.J. (1963) The adjustment of profiles and eddy fluxes. *Q. J.R. Meteorol. Soc.* 89, 276-280
- Fabre J.P. (1988) Possibilités d'infestation par les pucerons : *Cedrobium laportei* Remaudière, *Cinara cedri* Mimeur (*Hom. Lachnidae*), chez le genre *Cedrus*. *Ann. Sci. For.* 45 (2), 31-46
- Klug W. (1967) Determination of turbulent fluxes of heat and momentum from the wind profile. *Q. J.R. Meteorol. Soc.* 89, 276-280
- Maury R. (1960) Le reboisement de la forêt de Bédoin et son enseignement. *Ann. Ecol. Nat. E.F. Nancy* 17 (1), 119-153
- Pardé J. (1974) Le microclimat en forêt. In : *Ecologie Forestière, la Forêt : son Climat, son Sol, ses Arbres, sa Faune* (P. Pesson., ed.), Gauthier-Villars, Paris, pp. 1-19

Perrier A. (1973) Milieu atmosphérique des cultures. In : *Agrocimatology in Semi-Arid Areas South of the Sahara*. WMO N° 340, Genève

Sheppard A. (1958) Transfer across the earth's surface and through the air above. *Q. J.R. Meteorol. Soc.* 84, 205-224

Toth J. (1972) Historique du cèdre sur le mont Ventoux. *Bull. Soc. Et. Sci. Nat. Vaucluse* 51-75

Toth J. (1982) *Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas : Cedrus atlantica Manetti dans le sud de la France*. Thèse Faculté des Sciences et Techniques, Marseille Saint-Jérôme