

L' EVAPOTRANSPIRATION.

par CH. BALDY

Maître de Recherches en Bioclimatologie (I.N.R.A. - France), Expert de l'O.M.M.

I. INTRODUCTION.

Les quelques pages qui suivent sont destinées à faire le point, avec un minimum de formulations physiques et de démonstrations, sur l'état actuel des connaissances concernant ce facteur fondamental, base de la production agricole. Il semble nécessaire de présenter cette mise au point, car beaucoup de notions voisines sont souvent interprétées différemment par les hydrologues, les géographes, les météorologistes et les agronomes. La direction de l'Institut National Agronomique d'Algérie me fournit l'occasion de présenter cette mise au point, basée essentiellement sur les travaux actuels de l'équipe de Bioclimatologistes français dirigée par MM. BOUCHET et PERRIER, qui sont les vrais maîtres d'œuvres en ce domaine.

II. NOTION D'EVAPOTRANSPIRATION.

Cette notion a été introduite par le géographe THORNTHWAITE en 1948, et simultanément par PENMAN (1948), puis BERNARD (1956). Elle fait suite historiquement à *trois* points de vue, jusque là indépendants, et qui étaient:

a) la notion d'*évaporation météorologique* (que de nombreux auteurs, essentiellement physiciens de l'atmosphère, ont cherché à définir et à mesurer, sous le nom de « Pouvoir évaporant de l'air », depuis 1850 environ. Les appareils de mesure météorologique de ce « pouvoir évaporant » ont été vus en Instruments: Atmomètres et Bacs d'évaporation;

b) les notions de lysimétrie et d'études des variations du bilan *hydrique naturel* des sols, qui ont été développés surtout à partir de 1920: on suivait l'évolution du bilan hydrique des sols, c'est-à-dire de l'eau existant dans ceux-ci, en mesurant les pluies tombées, le drainage, et, éventuellement, la quantité d'eau disponible dans le sol, par prélèvements à la tarère (méthode gravimétrique) ou mesure à l'aide de sondes à résistance (méthode BOUYOUCOS, 1937);

c) les études de *besoins en eau des cultures*: on suivait l'évolution des cultures soumises à des « doses » et des « fréquences » d'irrigations diverses, et on concluait que la *dose optimale* était obtenue pour le *rendement final* le plus élevé (Travaux de DEMOLON, 1930; BLANEY et CRIDDLE, 1930 à 1950 ...);

d) THORNTHWAITTE (1948) a eu le mérite de mettre en évidence le caractère physique mesurable de l'évapotranspiration, et ce, par une méthode lysimétrique améliorée, c'est-à-dire en appliquant le *bilan hydrique*:

$$P + I - D (\pm R) (\pm S) = E_t \quad (1)$$

P = pluies

I = apports d'eau par irrigation

D = évacuation de l'excédent d'eau par drainage

R = réserves en eau du sol, maintenues en permanence à la *capacité de rétention*, donc # 0

S = écoulement de surface # 0, car on cherche à l'éviter au maximum (bords de 5 cm autour de la cuve).

III. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE.

PENMAN a mis en évidence l'*équivalence énergétique* de l'évapotranspiration. BOUCHET (1961, 1963) a étudié les termes du bilan et (en 1968), il a mis en évidence l'importance des *phénomènes thermiques*, qu'on a pris l'habitude en micrométéorologie d'appeler *advection*, mais qui n'est pas autre chose qu'un *flux d'enthalpie* de l'extérieur vers l'intérieur de la zone considérée.

On aura donc, à l'échelle de temps de 24 h, et en un point donné, quand l'alimentation en eau *ne constitue pas* un facteur limitant:

$$ETP = (I - a) R_g + R_a - a'' \sigma T^4 \pm Q \quad (2)$$

a = albedo, exprimé en %

a'' = émissivité de couvert (dans la gamme des longueurs d'ondes de l'Infrarouge terrestre: 5 à 100 μ m)

R_g = rayonnement global (rayonnements directs + diffus) (0,3 à 3,0 μ m)

R_a = rayonnement atmosphérique ($R_a > 5,0 \mu$ m)

σT^4 = loi de STEFAN.

Q = énergie échangée par conduction et convection avec l'extérieur du système considéré. Q peut être positif ou négatif, dans le cas de l'évapotranspiration potentielle.

N. B.: On admet que les variations de flux thermique du sol sont négligeables à l'échelle de temps de 24 h.

L'évapotranspiration potentielle est donc la *limite énergétique* de transformation de l'eau liquide en vapeur (2500 Jg^{-1}) quand aucune cause supplémentaire ne vient freiner le processus, c'est à dire quand l'énergie incidente constitue le facteur limitant.

L'expression « Evapotranspiration potentielle » peut donc en fait recouvrir deux concepts différents: la limite vers laquelle tend l'évaporation du couvert végétal dense, qui ne souffre aucune restriction en eau (concept de THORNTHWAITE). Ce peut être aussi le *pouvoir évaporant actuel* de l'environnement atmosphérique, exprimé en termes d'énergie.

IV. NOTIONS D'EVAPOTRANSPIRATIONS MAXIMALE ET REELLE.

On vient de voir que ETP ne peut être atteinte que dans le cas où *aucune contrainte autre qu'énergétique* n'existe. Ceci est fréquent en zones humides, à énergie incidente limitée, mais c'est loin d'être le cas général.

Plusieurs causes de limitation existent, et peuvent se superposer:

a) *Des causes physiques.*

L'eau peut devenir le facteur limitant, soit qu'elle soit en quantité insuffisante dans le réservoir constitué par le sol, soit que la vitesse d'alimentation des surfaces évaporantes devienne inférieure à la demande énergétique. Dans ce cas, on aura un excès d'énergie, qui se transformera en *chaleur sensible*, et échauffera le végétal et le sol (Φ_s croît, Φ_c décroît). On aura souvent aussi une modification du rayonnement réfléchi (Albedo), qui se traduit par une *augmentation* de ce paramètre en conditions de dessèchement excessif (flétrissement; modification de la position spatiale des organes, enroulement des feuilles ...).

b) *Des causes biologiques.*

— Si l'eau est en excès. On peut avoir une réaction physiologique des racines stoppant l'absorption de l'eau, en raison d'une alimentation insuffisante en oxygène des racines.

— Si l'eau est insuffisante, on a *fermeture des stomates* pendant une partie plus ou moins longue du jour, et réduction corrélative de la transpiration (ce phénomène se traduit souvent par des modifications d'albedo).

— Mais on peut avoir aussi une alimentation en eau réduite des surfaces évaporantes pour plusieurs autres raisons:

— soit par insuffisance du développement du système racinaire: le volume exploré par les racines ne permet pas de puiser une quantité d'eau équivalente à la demande. On aura un flétrissement temporaire et fermeture des stomates des feuilles plus ou moins partielle;

— soit par vieillissement du système racinaire: les plantes annuelles en fin de cycle, ou les plantes pérennes en fin de phase d'activité, ont un système racinaire de moins en moins *actif* (c'est à dire que chaque unité de surface de racine absorbe une quantité d'eau de plus en plus limitée par unité de temps, toutes choses égales par ailleurs);

— soit parce que les surfaces évaporantes (feuilles, tiges) sont peu développées. C'est le cas des jeunes plantes, qui ne « couvrent » pas le sol, et des plantes âgées, dont la plupart des feuilles et organes sont secs ou *sénescents*. On a pu mettre en évidence qu'une *surface foliaire équivalente* de 3 m² par m² de surface au sol constitue un minimum nécessaire pour « couvrir » réellement le sol;

— soit parce que le système physiologique de la plante ne permet pas à celle-ci, quelles que soient les conditions de milieu, de consommer plus qu'un certain volume d'eau. Ceci est lié en général à une absorption limitée du système racinaire, mais aussi à des hiatus dans les vaisseaux conducteurs (cas du blé), ou à des caractéristiques spéciales de la surface des feuilles (présence de poils; stomates petits et peu nombreux; feuilles enroulées...);

— on peut enfin avoir un blocage physiologique si la température atteinte par les organes vivants dépasse certains seuils. Ceci peut se produire par exemple si le sol est gelé, et que la température de l'air s'élève assez pour *lever la dormance* des plantes: c'est le cas des mélèzes dans les Alpes au printemps, certaines années.

c) Quand le facteur limitant principal est d'origine essentiellement *biologique*, on parlera d'*Evapotranspiration maximale* possible: c'est la quantité d'eau maximale susceptible d'être transformée en vapeur à chaque instant par l'ensemble formé par le sol et le couvert végétal.

V. EXPRESSION PHYSIQUE DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE.

On est conduit à utiliser une formulation dérivée de celle de PENMAN pour l'ETP.

PENMAN propose:

$$\text{ETP} = \frac{\text{Rn} (F'\theta) + \gamma \text{Ea}}{F'\theta + \gamma}$$

avec:

Rn = Rayonnement net: $\text{Rn} = (I - a) \text{Rg} + \text{Ra} - \sigma \text{Ts}^4$

Rg = Rayonnement global

Ra = Rayonnement atmosphérique de grande longueur d'onde

σT_a^4 = Rayonnement terrestre à la température de surface de sol (T_s) (loi de STEFAN-BOLZMANN)

γ = K/LD équation psychrométrique

L_v = Chaleur latente de vaporisation de l'eau, D = diffusion moléculaire

$F'\theta$ = dérivée de la fonction de la pression partielle de la vapeur d'eau saturante dans l'air en fonction de la température

Ea = Pouvoir évaporant de l'eau à la température de l'air (mesurable par exemple avec un Bac d'évaporation). Dépend du déficit de saturation de l'air, et d'un coefficient d'échange *qui dépend de la vitesse du vent* u .

On écrira de même:

$$\text{ETR} = \frac{\text{Rn} (F'\theta) + \gamma \text{Ea}}{F'\theta + \gamma/\varepsilon}$$

Dans cette formule, on introduit un terme ε qui correspond à l'écart de température existant entre la température de surface du corps et la température qu'aurait ce corps s'il était mouillé en surface. On traduit ce paramètre ε par une épaisseur équivalente fictive de couche limite de l'air $\Delta Z'$, qui s'ajoute à la couche limite réelle du couvert végétal ΔZ :

$$\varepsilon = \frac{\Delta Z}{\Delta Z + \Delta Z'}$$

Si on est à l'ETP (couvert végétal mouillé, ou pleinement transpirant) $\varepsilon = 1$. Si le couvert est sec (pailles de blé, par exemple), on a $\varepsilon = 0$,

l'évapotranspiration réelle est nulle, toute l'énergie disponible est transformée en chaleur sensible.

Dans le cas intermédiaire, on a réduction de l'eau consommée, et production concomitante de chaleur sensible, qui *augmente* la température des organes par rapport à celle de l'air.

VI. CONCLUSION.

On aura donc une double régulation possible de l'Evapotranspiration, *physique*, et *biologique*. La régulation physique dépend de la demande climatique (Rayonnement (Rn) et Pouvoir évaporant (Ea)); la régulation biologique dépend de la quantité maximale d'eau que peut fournir le végétal à chaque instant, c'est à dire de l'eau disponible dans le sol, mais surtout du volume de racines par unité de volume de sol, de la surface foliaire, et des caractéristiques des stomates sur les feuilles: on sait que ces paramètres peuvent varier dans de larges limites, et en conséquence que les caractéristiques du couvert interfèrent sur l'Evapotranspiration maximale possible. On est ainsi amené à distinguer l'Ep (Evaporation potentielle), purement *physique*, de l'ETP (Evapotranspiration potentielle), liée à des paramètres physiques et biologiques, et qui correspond à l'enveloppe de toutes les ETM (Evapotranspiration maximale) possibles.

On peut ainsi expliquer et analyser tous les cas particuliers rencontrés, et entre autre les « effets d'oasis », c'est à dire les valeurs élevées atteintes par l'Evapotranspiration potentielle dans une zone bien alimentée en eau entourée d'une zone aride.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHET R. J., 1964 - *Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole*. In: « L'eau et la Production Végétale ». Ed. I.N.R.A., 152-232.
- BOUCHET R. J. et PERRIER A., 1973 - *Bilan d'énergie et évapotranspiration à différentes échelles*. « Le soleil au service de l'homme », Congrès U.N.E.S.C.O., Paris. Sous presse.
- PENMAN H. L., 1948 - *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. « Proc. Roy. Soc. A. », 193, 120-195.
- PERRIER A., 1970 - *Absorption de l'énergie radiative par un couvert végétal, influence de celui-ci sur l'intensité du flux en présence. Application au calcul de l'évapotranspiration*. In: « Rayonnement solaire et hydrométéorologie » C.R. séance d'étude S.F.T. Sect. Energie Solaire A.F.E.D.E.S., 28 p.