

# Notes sur l'évapotranspiration.

J.C. COMBRES \*

Une conférence sur l'évapotranspiration, organisée par l'I.C.I.D., sous la responsabilité du Comité national hongrois, réunissait à Budapest en mai 1977 des délégations nationales de différents pays qui avaient la charge de présenter des rapports de synthèse, ainsi que des participants indépendants qui prenaient part à la discussion.

Cette conférence avait pour but de faire le point sur le problème de l'évapotranspiration et se divisait en trois parties :

1. Terminologie,
2. Mesure,
3. Formules et applications.

Toutes les communications ne furent pas présentées. Bien que cette réunion date maintenant de deux ans, il a paru intéressant d'essayer de faire une synthèse générale des discussions et des communications (écrites).

## TERMINOLOGIE

Plusieurs écoles ont exposé des points de vue très différents et ont proposé leur système d'annotation.

L'école française : distingue trois types d'évapotranspiration :

a) l'évaporation potentielle théorique EP\*, qui n'est autre que la formule de Penman (dont tous les termes sont mesurés avec précision), appliquée au couvert végétal. Il s'agit d'une valeur théorique jamais atteinte et impossible à mesurer directement.

b) l'évaporation potentielle EP, qui est atteinte lorsque toutes les surfaces (plante et sol) sont à saturation. Il s'agit donc d'une valeur maximale que l'on ne peut dépasser. Elle ne peut être déterminée que dans des conditions très particulières : pendant l'irrigation ou juste après une pluie.

c) l'évapotranspiration réelle ETR qui intervient lorsque la saturation n'est plus atteinte. La régulation stomatique intervient à des degrés plus ou moins importants. Toutes les valeurs jadis appelées ETP ou ETR se trouvent regroupées dans ce chapitre. Les valeurs d'évapotranspiration usuelles dont :

- l'évapotranspiration réelle maximale ETRM ou ET<sub>M</sub>, il s'agit de la consommation maximale d'une culture bien alimentée en eau. C'est ce que l'on appelait l'ETP de la culture.

- l'évapotranspiration potentielle d'un gazon : ETP, il s'agit en fait d'une ET<sub>M</sub> qui est depuis longtemps utilisée comme référence.

- l'évapotranspiration optimale ETR<sub>opt.</sub> est celle qui correspond à la meilleure efficacité hydrique (matière sèche formée/quantité d'eau utilisée).

- les évapotranspirations «climatiques» ETP<sub>c</sub> : il s'agit de toutes les estimations par formules à partir des données météo. Elles sont presque toujours ajustées sur l'ETP gazon. Elles sont trop peu précises pour être utilisées dans des mesures fines, mais sont intéressantes pour des cartographies ou projets de mise en valeur. La différence entre ces formules et le calcul de EP\* c'est que, dans ce dernier cas, on mesure tous les termes de la formule de Penman, tandis qu'on les estime pour ETP<sub>c</sub>.

- l'évapotranspiration potentielle régionale limite ETP<sub>o</sub>. Ce serait l'évapotranspiration potentielle si l'ensemble de la région était un gazon irrigué. En fait, plus l'ETR de la région est faible, plus l'ETP mesurée sur un gazon est élevée (effet d'advection).

$$ETR + ETP = 2 ETP_o$$

avec  $ETP_o = \frac{P'}{P' + \gamma} (R_n + \phi c)$  premier terme de la formule de

Penman.

- les évaporations ponctuelles : piches, atmomètres, bacs d'évaporation.

● Notons que les recommandations du congrès OMM

(● - note du rédacteur)

\* - J.C. COMBRES - IRFA - BP 1740 - 01 Abidjan (Côte d'Ivoire)  
International Round-table conference on evapotranspiration (ICID).

qui précédait cette table ronde demandent d'arrêter les études ayant pour référence les bacs d'évaporation et de prendre désormais comme base les mesures de rayonnement net, à défaut de mesure directe de l'ETR.

L'école hongroise a surtout insisté sur la décomposition de l'évapotranspiration en deux composantes :

- évaporation directe du sol,
- transpiration de la plante.

• Pour la plupart des couverts denses et homogènes, cette démarche n'est pas indispensable, mais elle prend tout son intérêt lorsqu'on aborde l'étude de cultures hétérogènes ou les problèmes d'irrigation localisée.

L'école australienne, pour laquelle évaporation et transpiration sont des mêmes processus physiques. Ils pensent donc qu'on complique inutilement les choses et qu'on ne devrait parler que d'évaporation (E).

Remarque. Lors de la discussion, on fera très justement remarquer que, s'il s'agit bien des mêmes processus de transfert dans l'air pour l'eau transpirée ou évaporée, la transpiration fait apparaître des régulations biologiques qu'il est difficile d'ignorer.

L'école américaine définit l'évapotranspiration potentielle (ET<sub>o</sub>) de la même manière que les Français définissent EP. Ils notent bien que les propriétés optimales et aérodynamiques de la surface jouent un rôle déterminant, de sorte que chaque surface aura son ET<sub>o</sub> (ou EP).

Par contre, lorsqu'il s'agit de mesurer ET<sub>o</sub>, ils en restent aux définitions de l'ETP : culture développée, saine, bien alimentée en eau et de faible hauteur.

• Ils en restent donc à l'ancienne théorie : dans une culture bien alimentée en eau, toutes les surfaces sont à saturation. On sait maintenant que c'est faux.

Tous les autres cas d'évapotranspiration sont notés ET et l'on spécifie chaque cas de figure.

L'évapotranspiration optimale ET<sub>ropt</sub> : on fait remarquer que cette valeur est très floue, car l'optimisation peut se faire de différents points de vue : efficacité hydrique, humidité optimale du sol, optimum économique, qualité optimum du produit, etc.

• Après discussion, tout le monde est d'accord sur ce point.

Le coefficient cultural K<sub>c</sub> est le rapport entre l'ETR d'une culture à un stade donné et l'évapotranspiration potentielle (calculée ou mesurée) au cours de la même période.

• Les grandes variations de K<sub>c</sub> pour une même culture, suivant le lieu et l'auteur, rencontrées dans la littérature, proviennent du fait que l'ETP calculée ou mesurée ne sont souvent que des estimations très imprécises de EP\*.

## DISCUSSIONS ET COMMENTAIRES

Les distinctions fines entre les différents régimes d'évapotranspiration sont très utiles pour la recherche et pour une meilleure compréhension des phénomènes, mais perturbent les utilisateurs, font remarquer plusieurs participants. La plupart des utilisateurs en sont restés à l'évapotranspiration potentielle d'une culture bien alimentée en eau. Mais même aux USA, la culture de référence n'est pas définie et l'on rencontre aussi bien du gazon que de la luzerne. Une commission d'étude de la FAO a retenu différentes variétés de gazons qui ont été «étalonnés». En fait, le stade de développement du végétal a un rôle non négligeable.

• La confusion vient du fait que le terme d'évapotranspiration potentielle est considéré de plusieurs points de vue très différents. L'évapotranspiration potentielle en tant que demande climatique n'existe pas. Le terme EP\* est celui qui s'en approche le plus, mais la plante garde son importance car elle intervient par son albedo (R<sub>n</sub>) et par ses caractéristiques aérodynamiques (r<sub>a</sub>).

L'évapotranspiration potentielle, en tant que quantité d'eau maximale que peut évaporer un couvert sous un climat donné, est correctement représentée par EP. C'est la borne supérieure pour une culture. Elle varie avec la nature de celle-ci.

L'évapotranspiration potentielle en tant que besoins maximums d'une culture, terme qui intéresse le praticien. En fait, il s'agit, comme nous l'avons vu, d'une évapotranspiration maximale, qui dépend de la résistance stomatique globale du couvert. Cette dernière est liée, outre à l'alimentation hydrique qui est supposée optimale, au stade physiologique de la plante, ainsi qu'aux conditions climatiques. Ceci permet de comprendre certains écarts importants observés entre les «ETP» de plusieurs cultures.

Dans quelques cas particuliers, et notamment pour un gazon court (entre 8 et 15 cm), sain, bien alimenté en eau et d'indice foliaire supérieur à 3, ces trois notions sont assez proches (variations de l'ordre de 10 p. 100), ce qui justifie assez bien des mesures correctes avec référence gazon. Mais ceci n'est pas généralisable à toutes les cultures, l'écart entre EP\* et ET<sub>M</sub> augmentant avec la hauteur du couvert.

A ces notions d'évapotranspiration potentielle et de «demande climatique», il faut ajouter les phénomènes d'advection, liés à l'évapotranspiration moyenne de la région. En fait, nous avons vu que l'évapotranspiration d'une petite parcelle varie entre deux bornes :

• une évapotranspiration potentielle minimale ou limite, lorsque la surface à ETP est infinie,

$$\text{soit } ETP_o = \frac{P'}{P' + \gamma} (R_n + \phi c)$$

• une évapotranspiration potentielle maximale = 2 ETP<sub>o</sub>, lorsque la surface en ETP tend vers zéro et que l'ensemble environnant a une ETR nulle.

Ce dernier point souligne toutes les difficultés que peut

rencontrer le praticien, même s'il a choisi, par souci de simplification, l'ETP d'un gazon comme référence. Il devra se poser trois questions :

- représentativité de la mesure : dimensions de la parcelle de référence de gazon irrigué et écart entre cette «ETP» et l'ETR régionale.
- type de plantation à étudier : grande plantation irriguée de plusieurs centaines d'hectares ou petite parcelle isolée dans un environnement sec.
- rapport entre l'ETM du gazon et l'ETM de la culture.

Les deux premiers points sont très délicats et pourraient conduire, à la limite, à des erreurs de 100 p. 100. Seules les études en cours sur l'advection permettront au praticien de mieux estimer les besoins en eau.

## MESURES

La mesure de l'ETP, en fait nous l'avons vu mesure l'ETM, est réalisée suivant plusieurs méthodes :

- à l'aide de lysimètres,
- à l'aide de bilans hydriques du sol,
- par l'intermédiaire de la méthode du bilan d'énergie,
- grâce à l'étude de transferts de masse et méthode aérodynamique,
- ou avec des méthodes combinées,
- parfois indirectement (bacs d'évaporation).

Les lysimètres sont utilisés par tout le monde et atteignent des degrés plus ou moins importants de sophistication. Pour tous les types de lysimètres, les mêmes difficultés et causes d'erreur se présentent :

- dimension du lysimètre : une superficie de 1 m<sup>2</sup> est un strict minimum et on s'est dirigé vers des surfaces de plus en plus grandes (jusqu'à 32 m<sup>2</sup>).
- environnement du lysimètre, doit être au minimum de 100 m pour minimiser l'effet d'advection.
- discontinuité de la végétation entre lysimètre et environnement (un lysimètre bien installé et bien conduit ne doit pas être visible).
- croissance anormale dans les lysimètres, due à des différences nutritionnelles.
- variations des conditions entre l'intérieur et l'extérieur du lysimètre : drainage, température, etc.

En outre, la nature de la végétation a un rôle non négligeable.

Il existe plusieurs types de lysimètres :

- les lysimètres pesables, les plus précis et les plus coûteux, d'autant plus chers que leur volume est important. Les plus sophistiqués, aux USA, sont munis de régulations thermiques et hydriques, ce qui les rend hors de portée de la plupart des stations de recherche. Ce sont en quelque sorte les meilleurs étalons.
- les lysimètres à drainage : avec ou sans niveau d'eau

constant, mais généralement avec. Ils ont été plus ou moins perfectionnés. L'Italie a un système avec cuve de compensation automatique et cuve de drainage. Le niveau de ces deux cuves est enregistré. Le bilan est aisé, sans maintenance particulière. Des systèmes analogues sont présentés par différents pays.

Les bilans hydriques au niveau du sol sont très utilisés mais ne sont valables qu'en période peu pluvieuse. Tout le monde souligne le problème de l'estimation du drainage et du ruissellement, qui font commettre des erreurs importantes.

La méthode du bilan d'énergie est reconnue comme la plus fiable. Mais peu d'études ont été réalisées sur une période de plus de quelques jours, à cause de l'instrumentation complexe et de la masse de calculs à réaliser.

L'Australie présente un système analogique de mesures en cours de réalisation. Il ne résout qu'en partie les problèmes et ne présente pas un automatisme suffisant pour travailler sur de longues périodes.

Le système BEARN utilisé en France est le seul système présenté éliminant tous ces inconvénients.

La méthode des transferts de masse et les méthodes combinées ne sont citées que pour mémoire, car elles n'ont été utilisées que de façon ponctuelle par des équipes de recherche et ne sont pas vulgarisables à l'heure actuelle.

Mesure de l'ETP avec des bacs d'évaporation classe A. Certains pays : Irak, Iran, etc. utilisent le bac classe A comme mesure de référence de l'ETP. Le congrès de l'OMM a souligné le danger d'une telle approche.

● *Considérant d'une part, que le bac classe A est le seul instrument vulgarisable au niveau de l'agriculteur, d'autre part que l'agriculture n'est pas une science précise, on est souvent tenté d'utiliser cet appareil. On met alors en place une expérimentation agronomique doses d'irrigation, qu'il faut poursuivre pendant plusieurs années pour déterminer les coefficients culturaux moyens. Mais le rapport ETP/bac classe A variant en fonction des climats, cette expérimentation très lourde doit être reprise dans chaque site climatique.*

*Il serait plus logique de conduire ces essais par rapport à ETP et d'étalonner ensuite, comme le souligne très justement la délégation espagnole, les données du bac à celles de l'ETP dans les différentes régions étudiées (ceci a été réalisé aux USA).*

*Nous ne pouvons nous étendre ici sur les défauts des bacs d'évaporation, mais soulignons, qu'outre les erreurs instrumentales liées aux propriétés optiques et à l'advection propre des bacs, l'absence de résistance à la diffusion (résistance structurale et résistance stomatique) entraîne des sensibilités très différentes au vent et au déficit de saturation de l'air, suivant qu'il s'agit d'un couvert végétal ou d'une nappe d'eau libre.*

FORMULES

On ne peut passer en revue toutes les formules empiriques utilisées dans le monde. De nombreuses études les ont comparées. Chacune est plus ou moins bien adaptée à une région et, le plus souvent, on a une variation de l'ordre de 30 p. 100 entre elles, ce qui les rend difficilement utilisables pour la conduite des irrigations.

Certains auteurs ont réétabli ces formules, ce qui conduit invariablement à une nouvelle formule. Le problème est le même que pour les bacs d'évaporation : toute liaison empirique, si valable soit-elle n'est satisfaisante que dans le site où elle a été établie.

Les points les plus intéressants concernent la formule de Penman. Rappelons que si tous les paramètres spécifiques de la culture sont mesurés et si le rayonnement net est mesuré au-dessus de la culture, on obtient la vraie valeur de l'évaporation potentielle (EP\*)

$$ETP = \frac{P'(Rn + \phi c) + \gamma Ea}{P' + \gamma}$$

- avec P' pente de la courbe de vap. sat. à la temp. T
- γ cste psychrométrique
- Ea pouvoir évaporant de l'air
- Rn rayonnement net
- φc flux de chaleur dans le sol

Mais cette formule, développée sur de bonnes bases physiques par Penman, a été vulgarisée à l'origine avec des formules empiriques d'estimation de Rn et de Ea qui aboutissent, aux USA, à une sous-estimation de 34 p. 100 de Rn et de 18 p. 100 de Ea.

Pour y remédier, on a décidé de mesurer (Rn + φc) et d'élaborer des formules pour Ea plus proches des réalités physiques. Les USA utilisent deux formules de Penman modifiées :

● par WRIGHT et JENSEN

$$ETP = \frac{P'}{P' + \gamma} (Rn + \phi c) + \frac{\gamma}{P' + \gamma} \cdot 15,36 \cdot (1,0 + 0,0062 \mu_2) |P(Ta) - P(Tr)|$$

- avec μ<sub>2</sub> vitesse du vent à 2 mètres en km/jour
- P(Ta) tension de vapeur saturante à la température de l'air
- P(Tr) tension de vapeur saturante à la température du point de rosée

Cette formule sous-estime de 3 p. 100 seulement l'ETP

● par VAN RAVEL et BUSINGER

$$ETP = \frac{P'}{P' + \gamma} (Rn + \phi c) + \frac{\gamma}{P' + \gamma} \cdot \frac{0,622 \cdot \lambda \rho k^2}{P} \cdot \frac{\mu_2}{(\ln Z/Z_0)^2} |P(Ta) - P(Tr)|$$

- avec  $\frac{0,622 \cdot \lambda \rho k^2}{P}$  cste à 20°C fonction des unités choisies
- Z rugosité du couvert
- Z<sub>0</sub> hauteur de mesure de la vitesse du vent
- μ<sub>2</sub> vitesse du vent

Cette formule estime à mieux que 1 p. 100 l'ETP.

Il est donc aisé, grâce à une simple mesure de Rn et aux données météorologiques classiques d'estimer ETP. Si Rn n'est pas mesuré, il est possible de l'estimer à partir du rayonnement global si de bonnes corrélations ont été établies.

Une autre formule a retenu notre attention, celle de PRIESTLEY et TAYLOR :

$$ETP = \alpha \frac{P'}{P' + \gamma} (Rn + \phi c)$$

Elle repose également sur la mesure de Rn. Le coefficient empirique α dépend de l'aridité. Nous avons vu que si la surface en régime d'ETP est infinie, on arrive à l'évapotranspiration limite ou minimale ETP<sub>0</sub> et α = 1. A l'inverse, en régime très aride, on tend vers l'évapotranspiration maximale 2 ETP<sub>0</sub> et α = 2.

Toutes les valeurs expérimentales trouvées (la FAO a beaucoup travaillé sur ce sujet) sont situées entre 1 et 2, en général entre 1,26 et 1,4 pour n'atteindre 2 qu'en été dans un climat très aride.

Enfin, aux USA, les mesures au bac classa A sont classées au même niveau que les formules, car on leur applique des coefficients qui dépendent de la culture, de l'aridité, de la vitesse du vent, de l'environnement du bac, etc. Un étalonnage sérieux a été réalisé. Il est alors possible d'utiliser ces mesures. Dans le cas contraire, le travail à entreprendre est beaucoup trop important et il vaut mieux mesurer Rn.

CONCLUSION

Comme au congrès de l'OMM, qui se tenait à Budapest la semaine précédente, à cette table ronde l'accent a été mis sur l'intérêt de la mesure de Rn.

Toutefois, au niveau de la terminologie, l'ICID doit réunir une commission internationale restreinte pour arrêter définitivement une normalisation des termes à employer.

