

# CARTOGRAPHIE DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE : SON UTILISATION POUR LA DÉTERMINATION DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION .

A. DARLOT

Ingénieur en Chef du Génie Rural

et

C. LECARPENTIER

Ingénieur en Géographie Appliquée

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE  
Direction Générale du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole  
Service de l'Hydraulique  
Section Technique Centrale des Travaux d'Hydraulique  
19, Avenue du Maine, 19  
PARIS (XV<sup>e</sup>)

La détermination des besoins en eau des plantes cultivées, comme d'ailleurs l'établissement de bilans hydrologiques en vue de l'évaluation des ressources, impliquent la connaissance des quantités d'eau consommées par évapotranspiration. Aussi nous est-il apparu utile d'étudier les conditions dans lesquelles celle-ci pouvait faire l'objet d'une représentation cartographique et de définir les modalités d'exploitation des cartes ainsi établies pour déterminer au niveau des programmes les besoins en eau d'irrigation des zones cultivées.

## I — VARIABILITÉ DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

L'évapotranspiration *potentielle* est celle qui est réalisée lorsque d'une part la végétation est en état de vie active et couvre bien le sol et que d'autre part l'approvisionnement en eau ne constitue pas un facteur limitant de son développement. De nombreuses études dues notamment à PENMAN, THORNTON et, récemment, en FRANCE, à M. ROBÉLIN, ont prouvé que sa valeur pouvait, du moins en première approximation, être considérée comme indépendante de la nature du couvert végétal. Aussi peut-elle être évaluée, à l'échelle du mois ou de la décennie, à partir des seules données climatiques.

La notion d'évapotranspiration potentielle est, au point de vue agronomique, d'importance primordiale puisqu'elle correspond dans le cas le plus général, au régime hydrique optimal des plantes. Par ailleurs, intégrant plusieurs facteurs — tels que la température, l'insolation, le vent, l'hygrométrie... — l'évapotranspiration potentielle, surtout comparée à la pluviométrie, permet de caractériser valablement un climat.

Son étude et sa cartographie présentent d'autant plus d'intérêt que sa variabilité inter-annuelle est assez faible. Certes pour une même station l'évapotranspiration potentielle *ETp* ne reprend pas chaque année les mêmes valeurs mensuelles, mais celles-ci s'écartent au total assez peu des valeurs normales.

Le tableau suivant illustre cette constance relative de l'évapotranspiration potentielle; les données en sont afférentes au mois de juillet, pris à titre d'exemple, et à une période de 33 ans :

*Évapotranspiration potentielle (mm)*

	Valeur normale	Valeur dépassée		Valeur non atteinte	
		1 année sur 5	1 année sur 10	1 année sur 5	1 année sur 10
PARIS	113	129	138	95	88
STRASBOURG	113	130	138	98	93
TOURS	117	134	150	96	91
CARNAC	120	127	134	106	98
BERGERAC	123	136	143	103	96
LE PUY	127	133	138	104	97
LYON	135	147	154	115	105
NIMES	171	174	176	158	150

Les variations sont particulièrement limitées dans la zone méditerranéenne (NIMES) mais on peut constater que nulle part les valeurs élevées ne dépassent :

$$\overline{ETp} \times 1,15 \text{ une année sur cinq}$$

ni  $\overline{ETp} \times 1,30$  — — — dix,

et que les valeurs faibles ne sont pas inférieures à :

$$\overline{ETp} \times 0,80 \text{ une année sur cinq}$$

ni à  $\overline{ETp} \times 0,75$  — — — dix.

Or la variabilité des hauteurs mensuelles de précipitations est incomparablement plus grande ...

Aussi, en dehors de leur intérêt propre, des cartes des valeurs moyennes de l'évapotranspiration potentielle seront-elles utilisable à des fins pratiques.

## II — ÉLABORATION ET INTERPRÉTATION DES CARTES

La cartographie de l'évapotranspiration potentielle a été réalisée pour la FRANCE à l'échelle du 1/2.500.000, d'après des valeurs mensuelles obtenues à l'aide de la formule de TURC :

$$ETp = 0,40 \frac{t}{t + 15} (Ig + 50)$$

(0,37 pour le mois de février)

avec :

$ETp$  = Évapotranspiration potentielle, en mm,

$t$  = température moyenne de l'air en C°

$Ig$  = radiation globale moyenne en petites calories par cm<sup>2</sup> de surface horizontale et par jour.

Cette formule a en effet été choisie en raison des nombreux avantages qu'elle présente :

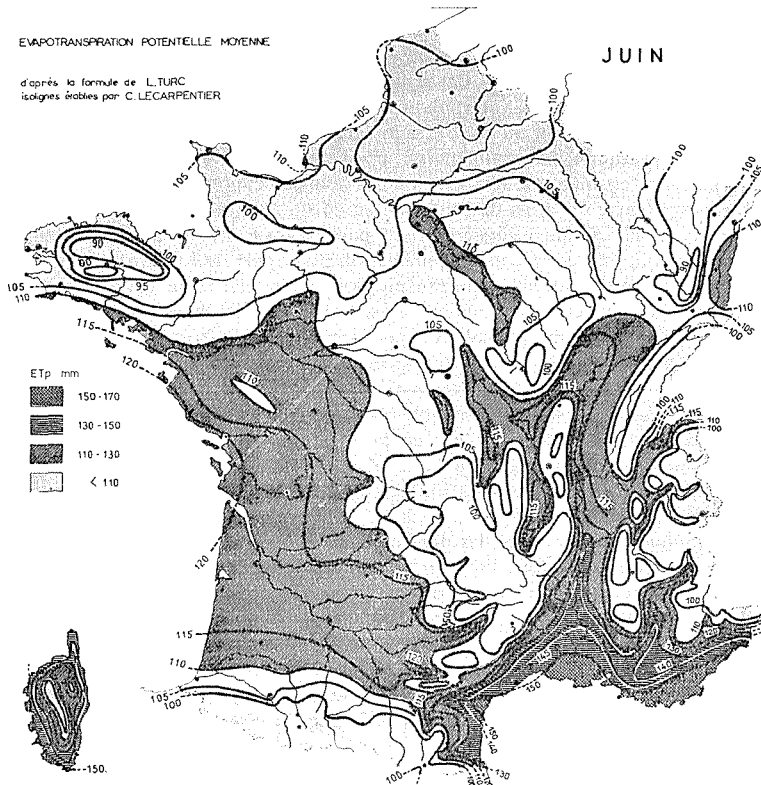
— elle est parfaitement adaptée au contexte climatique français,

— elle ne fait intervenir, de par son caractère de généralité, ni ajustements régionaux ni coefficients cultureux.

EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE MOYENNE

d'après la formule de L. TURC  
isolignes établies par C. LECARPENTIER

JUIN



— elle prend en considération un facteur essentiel : la radiation globale, de mieux en mieux connue :

- 1° soit par mesure directe;
- 2° soit le plus souvent par déduction de l'insolation relative grâce à la formule suivante due également à M. TURC :

$$I_g = I_{gA} \left( 0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

avec  $I_{gA}$  = énergie de la radiation qui atteindrait le sol si l'atmosphère n'existait pas, exprimée dans les mêmes unités que  $I_g$  (1)

$h$  = durée d'insolation, en heures

$H$  = durée astronomique du jour, en heures (1).

Les cartes représentent des valeurs *normales* de  $ET_p$ , c'est-à-dire des valeurs calculées d'après une série d'années suffisamment longue pour qu'on puisse la considérer comme représentative d'une série encore plus longue. En effet les réseaux météorologiques subissent de fréquentes modifications et il semble inutile de chercher à ramener à une même série d'années les valeurs des différentes stations : il suffit de s'approcher autant que possible des valeurs normales.

(1) Donnée fournie par des tables.

L'élaboration de telles cartes requiert deux interpolations successives :

- interpolation d'abord — en vue du calcul de l'évapotranspiration — des données d'insolation, trop rares en raison d'un réseau de mesures souvent lâche,
- interpolation ensuite de l'évapotranspiration potentielle elle-même.

L'une et l'autre de ces interpolations n'obéissent évidemment pas à des lois géométriques; elles doivent au contraire intégrer le maximum de facteurs géographiques tels que l'altitude, la continentalité, l'orientation, etc...

La précision est bien entendu fonction des données disponibles; en ce qui concerne la FRANCE (cf. carte du mois de juin) une équidistance des isolignes de 5 mm a été adoptée; la précision ainsi suggérée peut paraître excessive; elle offre néanmoins l'avantage de réduire les erreurs d'appréciation de la part de l'utilisateur, et de faire apparaître la relation entre l'évapotranspiration potentielle et les conditions géographiques, climatiques, etc..., soulignant ainsi l'existence de climats locaux.

La représentation du phénomène pendant la saison froide peut faire l'objet d'une simplification : il n'y a en effet aucun inconvénient à grouper plusieurs mois d'hiver (novembre à février par exemple) pourvu que l'évapotranspiration — pour chacun de ces mois — soit *toujours* inférieure aux précipitations.

La lecture des cartes ne soulève en principe aucune difficulté dans les régions de plaine; il est toutefois à signaler que le cas — fréquent — de valeurs littorales élevées (phénomène dû à une radiation accrue) n'est caractéristique que d'une bande côtière assez étroite.

En montagne en revanche, les différences d'altitude provoquant de fortes variations sur de faibles distances, l'interprétation des cartes peut s'avérer plus délicate; de plus les différences d'exposition (adret-ubac dans la terminologie alpine) ne peuvent en tout état de cause être représentées; seule une indication globale peut à la rigueur être fournie.

Il importe enfin de remarquer que l'importance de l'effet d'oasis impose une limite à l'utilisation de telles cartes en zone aride : lorsqu'il devient prépondérant, les valeurs mentionnées ne sont plus applicables qu'à des surfaces végétalisées suffisamment étendues.

### III — UTILISATION POUR L'ÉVALUATION DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

Lorsque les précipitations  $P$  sont en été quasi-inexistantes ou tout au moins très peu fréquentes, et que la réserve en eau du sol est faible par rapport à celle des déficits pluviométriques annuels, on peut, en première approximation, évaluer les besoins annuels moyens en eau d'irrigation  $\overline{B_a}$  en soustrayant la valeur de la Réserve Facilement Utilisable R. F. U. (1) de la somme des déficits pluviométriques mensuels moyens  $\overline{D_m}$  évalués sur la base de données climatiques moyennes (évapotranspiration potentielle moyenne  $\overline{ET_{p_m}}$  et pluviométrie moyenne  $\overline{P_m}$ ) (2)

$$\overline{B_a} = \sum \overline{D_m} - \text{R.F.U.}$$

(1) On désigne par Réserve Facilement Utilisable (R.F.U.) la quantité d'eau qui peut être extraite d'un sol dont le taux d'humidité initial est égal à la capacité de rétention jusqu'à ce que se manifeste un déficit d'approvisionnement en eau susceptible d'affecter le rendement des cultures; cette réserve ne représente qu'une fraction (généralement comprise entre la moitié et les 2/3) de la réserve utile (volume disponible entre la capacité de rétention et le point de flétrissement).

(2) Il importe toutefois de vérifier que la Réserve Facilement Utilisable est effectivement reconstituée en totalité à l'époque où s'amorce le déficit pluviométrique ( $ET_p > P$ ).

avec :

$$\overline{D_m} = \overline{ETp_m} = \overline{P_m}.$$

Les conditions énumérées ci-dessus limitent l'emploi de cette méthode à de rares régions, situées essentiellement en zone aride ou sub-aride. D'une façon générale, et particulièrement dans les zones dites "humides", tributaires de l'irrigation de complément, la variabilité des conditions climatiques ne permet pas de déterminer les déficits pluviométriques à partir de données moyennes : les périodes sèches varient d'une année à l'autre en durée comme en intensité et l'utilisation des valeurs normales amène une compensation inter-annuelle qui dans la nature ne se produit pas.

Par ailleurs il arrive fréquemment qu'à la suite d'un hiver peu arrosé la Réserve Facilement Utilisable ne soit qu'incomplètement réapprovisionnée; ainsi non seulement une étude fréquentielle s'avère-t-elle nécessaire, mais encore doit elle porter aussi bien sur les excédents hivernaux que sur les déficits estivaux et il apparaît préférable d'effectuer cette étude quel que soit le contexte climatique.

Il importe donc — après avoir, au départ, intégré la valeur appropriée de R. F. U. — de calculer le bilan hydrique de chaque mois en le rattachant à celui du mois précédent, et ce pour une série d'années aussi longue que possible.

L'utilisation pour cette étude des cartes donnant les valeurs mensuelles normales de l'évapotranspiration potentielle permet un gain de temps appréciable : car, même en s'aidant d'abaques, le calcul de  $ETp$  est long et fastidieux. Un procédé commode consiste à effectuer en première étape l'ensemble de l'étude fréquentielle en prenant les valeurs *exactes* des précipitations  $P$  et les valeurs *normales* de  $ETp$  telles qu'elles sont lues sur les cartes; ensuite une fois sélectionnées les quelques années correspondant à une fréquence donnée (quinquennale, décennale, etc...) dont on a décidé de prendre en considération les besoins pour la définition des équipements correspondant à une fréquence d'apparition déterminée (quinquennale, décennale...) ceux-ci seront réévalués avec plus de précision par l'introduction, pour les années en question, des valeurs réelles de  $ETp$ .

L'erreur ainsi commise est semble-t-il négligeable ainsi que le montre l'exemple suivant (station d'AUXERRE) qui donne en mm les résultats obtenus, pour la même période, par deux méthodes :

— méthode 1 : basée sur le calcul systématique des valeurs mensuelles exactes de  $ETp$ ;

— méthode 2 : «approchée», basée, en première étape, sur les valeurs normales de  $ETp$ , selon le procédé exposé ci-dessus.

Déficit pluviométrique (médian)	Besoin annuel		Besoin mensuel de pointe	
	quinquennal	décennal	quinquennal	décennal
MÉTHODE 1 306	331	375	109	135
MÉTHODE 2 295	320	365	114	135

Pour une R. F. U. de 100 mm

La méthode «approchée» donne donc des résultats valables à 3% près, l'écart maximal n'excédant pas 5%.

#### IV — MÉTHODE GRAPHIQUE

Une méthode graphique, illustrée par la figure 1, consiste à porter sur papier millimétré :

- en abscisses les différents mois,
- en ordonnées positives les variations de la réserve facilement utilisable, entre 0 et sa valeur maximale à laquelle la courbe doit être arasée (100 mm sur la figure 1);
- en ordonnées négatives les besoins mensuels; après chaque mois déficitaire la courbe est ramenée à l'ordonnée 0, puisqu'en principe le déficit aura été comblé par un apport d'eau d'irrigation. En ajoutant les besoins mensuels les uns aux autres on peut tracer pour chaque année une courbe qui donne directement le besoin annuel global.

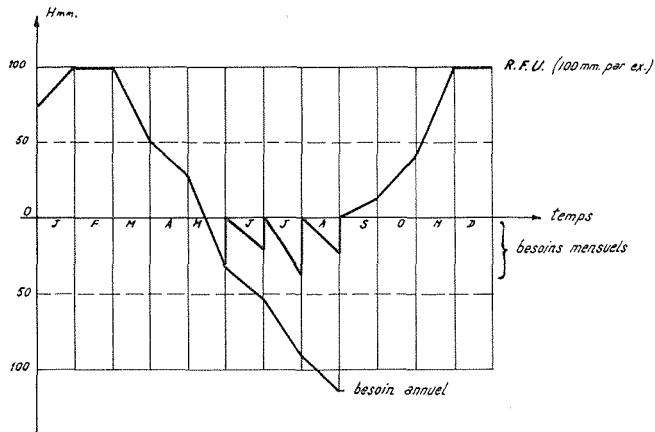


Fig. 1

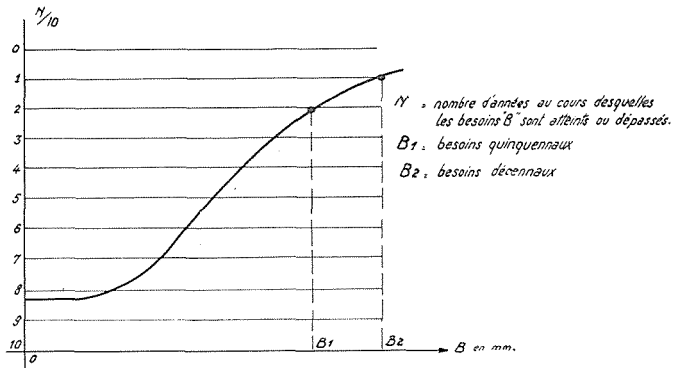


Fig. 2

Cette méthode peut bien entendu être successivement appliquée à diverses valeurs de la réserve facilement utilisable; rien ne s'oppose d'autre part à ce qu'elle ait pour base des bilans hydriques décennaux. Elle présente les avantages :

- de présenter les résultats sous une forme expressive;
- de permettre l'établissement de bilans plurimensuels quelconques;
- de limiter les risques d'erreur.

Les bilans hydriques annuels ou mensuels permettent la construction de courbes besoins-fréquence (figure 2) afférentes à toute période : annuelle, pluri-mensuelle, mensuelle, etc... La fréquence des besoins mensuels de pointe, qui peuvent ne pas apparaître au même mois pour toutes les années, est évaluée de la même façon.

Rappelons que c'est à ce stade que les valeurs correspondant aux fréquences (quinquennale, decennale,...) retenues pour le choix des volumes et des débits d'équipement, doivent être ré-évaluées avec plus de précision par l'introduction des valeurs exactes de *ETp* (qui agit le plus souvent dans le sens d'une majoration).

A l'heure actuelle de nouvelles possibilités d'une évaluation rapide et sûre des besoins en eau d'irrigation à partir des valeurs exactes des données climatiques sont offertes par les calculatrices électroniques. De telles études, systématiques, sont en cours pour l'ensemble de la France. Le principe en est d'ailleurs, dans ces grandes lignes, identique.

Il n'en reste pas moins que la méthode graphique, avec recours aux valeurs normales de l'évapotranspiration potentielle — telles qu'elles peuvent être cartographiées — sera souvent la plus efficace, et notamment :

- lorsque le volume des opérations à effectuer est peu important,
- lorsque, pour des raisons quelconques, l'étude doit revêtir des modalités particulières;
- et surtout lorsque les données météorologiques souffrent de nombreuses lacunes, cas malheureusement trop fréquent.

#### BIBLIOGRAPHIE

- R. ARLERY, M. GARNIER et R. LANGLOIS, Application des méthodes de Thornthwaite à l'esquisse d'une description agronomique des climats de la FRANCE. *La Météorologie* — oct.-déc. 1954 PARIS.
- A. DARLOT, La détermination des débits d'équipement des installations d'irrigation à partir de l'étude fréquentielle des besoins. *Bulletin technique du Génie Rural* n° 55 C.R.E.G.R. Antony 1962.
- A.H. LAYCOCK, Drought patterns in the Canadian prairies. *Assemblée générale de Helsinki — commission des eaux de surface* p. 37-47 A.I.H.S. publ. n° 51, 1960.
- J.C.J. MOHRMANN et J. KESSLER, Water deficiencies in European Agriculture 60 p. 10 cartes, Wageningen (Holl) 1959.
- H.L. PENMAN, Natural evaporation from open water, bare soil and grass *Proc. Roy. Soc. A* **193**, 1948.
- M. ROBELIN, Evaporation réelle de différents couverts végétaux bien alimentés en eau et évapotranspiration potentielle. Détermination expérimentale. *Annales agronomiques* vol. 13, n° 6 p. 493-522 I.N.R.A. 1962.
- C.W. THORNTWHAITE, An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review* vol. XXXVIII no 1 p. 55-94 1948.
- L. TURC, Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Annales agronomiques* vol. 12 n° 1 p. 13-49 I.N.R.A. 1961.
- L. TURC, TH. GOBILLOT, R. HLAVEK et C. LECARPENTIER, Cartes d'évapotranspiration potentielle, interprétation et utilisation. *Bulletin technique du Génie Rural* n° 60 C.R.E.G.R. Antony 1963.