

EFFICIENCE COMPAREE DE L'EAU TRANSPIREE PAR LE MAÏS, LE TOURNESOL ET LE RIZ

P. MOUTONNET

*Commissariat à l'Energie Atomique, Cadarache, Département de Biologie,
Service de Radioagronomie, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance (France)*

J.-F. BOIS

*Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Antenne de Cadarache,
Département de Biologie, Service de Radioagronomie, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance
(France)*

(Reçu le 14 avril 1982; accepté le 27 mai 1982)

ABSTRACT

Moutonnet, P. and Bois, J.-F., 1982. Compared transpiration efficiencies of maize, sunflower and rice. *Agric. Meteorol.*, 27: 209-215.

Several crops were grown in a C₂3A-type growth chamber with a controlled environment. Photosynthesis (P) and transpiration (T), measured throughout each growth period, were analysed in terms of plant-water transpiration efficiency. The equation submitted by Tanner (1981) was used: $P/T = K/(e^* - e)$, where K is a physico/physiologically-based constant and $(e^* - e)$ the water vapour pressure deficit. With this formula, we obtained the following average K values: 0.062, 0.044 and 0.025 mbar for maize, sunflower and upland rice, respectively. Furthermore, it was shown with the P/T evaluations throughout the growth periods, that water efficiency changed with plant age; it was a maximum with 40-50-day-old plants.

RESUME

Moutonnet, P. and Bois, J.-F., 1982. Efficience comparée de l'eau transpirée par le maïs, le tournesol et le riz. *Agric. Meteorol.*, 27: 209-215.

Différentes cultures sur sol ont été menées en chambre de culture de type C₂3A dans des conditions d'environnement contrôlées et reproductibles. La photosynthèse (P) et la transpiration (T), obtenues sur cycle végétatif complet, sont analysées en termes d'efficience de l'eau transpirée. La formulation présentée par Tanner (1981) a été utilisée: $P/T = K/(e^* - e)$, où K est une constante physico-physiologique de la plante et $(e^* - e)$ le déficit de pression de vapeur d'eau entre l'atmosphère et la feuille. Elle nous conduit pour K à des valeurs moyennes de 0,062, 0,044 et 0,025 mbar chez le maïs, le tournesol et le riz pluvial, respectivement. D'autre part l'analyse du rapport P/T sur une base décadaire, met en évidence une évolution de l'efficience de l'eau en cours de cycle végétatif; elle est maximum pour des plantes âgées de 40 à 50 jours.

INTRODUCTION

L'efficience de l'eau, en matière de production agricole, peut s'exprimer selon quatre critères différents: MS/T , MS/ET , R/T , R/ET . (MS = quantité de matière sèche produite, T = transpiration, ET = évapotranspiration, R = récolte (kg ha^{-1})).

3 OCT. 1984
O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

Quand il s'agit de comparer des espèces ou des variétés différentes, il apparaît (Tanner, 1981) que les critères 1 et 3 sont plus adéquats car ils prennent mieux en compte les caractères physiologiques des plantes. De Wit (1958) a établi la relation

$$\frac{MS}{T} = \frac{m}{E_o} \quad (1)$$

où m est une constante dépendant essentiellement de l'espèce cultivée et E_o l'évaporation journalière moyenne d'une surface d'eau libre. Cette formulation, bien adaptée aux climats secs et chauds, est en défaut en zone humide. Bierhuizen et Slatyer (1965) s'appuyant sur les processus physiologiques de photosynthèse et de transpiration proposent une formulation qui aboutit à l'expression

$$\frac{MS}{T} \simeq \frac{K}{(e^* - e)} \quad (2)$$

où K est spécifique d'une culture et $(e^* - e)$ représente le déficit moyen de pression de vapeur d'eau entre l'atmosphère et la feuille calculée sur la campagne (en mbar).

Tanner (1981), dans une étude de synthèse sur la pomme de terre, montre que le mode de détermination de $(e^* - e)$ est capital et peut affecter quelquefois la valeur de K de 45%. Malgré cela cet auteur considère la formulation comme très correcte, et avance une valeur de 0,065 mbar pour cette culture. Des travaux antérieurs, réalisés par d'autres auteurs (Bierhuizen et Slatyer, 1965; Ritjema et Endrodi, 1970) conduisent pour la même culture à des résultats assez discordants: 0,027 et 0,015 mbar, respectivement. De notre côté nous disposons, sur cycle végétatif complet, des informations photosynthèse et transpiration de différentes cultures conduites sur sol en chambre de culture automatique (C_23A). Dans ces chambres la température et l'hygrométrie sont parfaitement régulées et on passe en moins de 15 min aux conditions climatiques de croisière; si bien que la détermination de $(e^* - e)$ est immédiate et sans ambiguïté dans la mesure où on admet que la transpiration nocturne est négligeable. Nous présentons ici des résultats obtenus sur maïs, tournesol et riz, exploités en termes d'efficience de l'eau transpirée par les plantes.

MATERIEL ET METHODES

Le dispositif utilisé est une chambre de culture étanche de $(2,4 \times 2 \times 0,6 \text{ m}^3)$ à la partie inférieure de laquelle sont attachées 6 colonnes de sol ($\phi = 150 - 160 \text{ mm}$, $h = 150 \text{ cm}$) destinées aux plantes. A l'occasion d'expériences successives, nous avons cultivé sur cycle végétatif complet:

Du maïs: *Zea mays* L. cv. Inra $F_7 \times F_2$ (3 répétitions avec cette variété précoce) et cv. Pioneer 3648 (1 essai avec cette variété tardive);

Du tournesol: *Hélianthus annuus* cv. Inra 6501;

TABLEAU I

Conditions climatiques en chambre de culture (la valeur de $(e^* - e)$ est le déficit de pression de vapeur d'eau entre la feuille saturée placée à la température ambiante et la pression partielle de vapeur d'eau dans la chambre)

Culture	Jour				Nuit		
	Durée (h)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Hygro. (%)	$(e^* - e)$ (m bar)	Durée (h)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Hygro. (%)
Maïs et tournseol	14	25	85	4,84	10	19	95
Riz	12	29	85	6,13	12	25	95

Du riz pluvial: *Oryza sativa* L. cv. Irat 13 et cv. Moroberekan.

Les conditions climatiques imposées au cours des essais sont données dans le Tableau I. L'éclairage, assuré par 10 lampes Osram HQI 400 watts, était de 400 W m^{-2} à 1 m de hauteur (André et al., 1974). Le courant d'air ascendant, réalisé pour la régulation thermique de l'enceinte, a une vitesse moyenne de 1 m s^{-1} . Du sol homogénéisé enrichi de $150 \mu\text{g}$ de P et de K par g de sol sec — $300 \mu\text{g}$ pour l'essai riz — est mis en place à une densité homogène de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$. L'engrais azoté en solution est apporté en 10 fractions de $20 \mu\text{g}$ de N par g de sol sec, espacées d'une semaine pour éviter le lessivage. Dans chaque essai, les graines prégermées de 2 à 3 jours sont semées à raison de 1 plant par colonne (sauf pour le riz où on avait 2 plants). Les plantes étant dans la chambre de culture, on maintient la teneur en CO_2 de l'air à $300 \mu\text{l l}^{-1}$: de jour par des injections calibrées d'un mélange CO_2 (20%) + N_2 (80%) que l'on dénombre pour quantifier la photosynthèse apparente P; de nuit on piège le CO_2 en excès pour estimer la respiration.

Par ailleurs l'eau transpirée (T) par les plantes est condensée sur des échangeurs puis évacuée pour être quantifiée sur une base journalière.

RESULTATS

Les valeurs de P et T ont été intégrées sur une période décadaire à partir de 30 à 40 jours d'âge des cultures. P est exprimée en l de CO_2 et T en l. d'eau. Le rapport P/T traduit l'efficacité de l'eau transpirée (l. de CO_2 par l. d'eau). Le carbone du CO_2 absorbé va former la matière sèche (MS) des plantes; on a retenu 40,5% comme teneur moyenne en carbone: on utilisera ce coefficient pour exprimer l'efficacité en g de MS par l. d'eau. A noter que nos mesures incluent la masse racinaire dans la production de MS : on peut estimer à 20% cette participation (Moutonnet et Couchat, 1979). Nous donnons en Fig. 1a l'évolution de P/T en fonction de l'âge des cultures pour différentes espèces, variétés ou essais. On remarque que le maïs présente la meilleure efficacité de l'eau, particulièrement la variété tardive. Les essais

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° :

Cote :

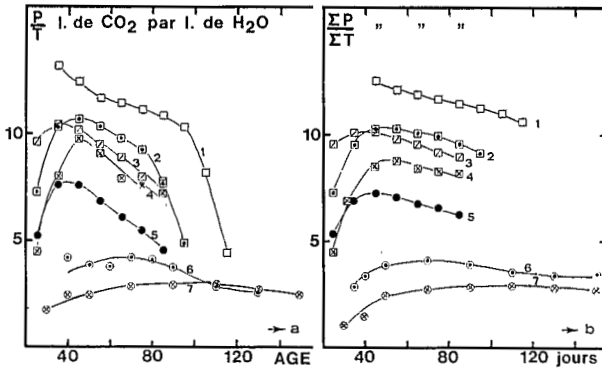


Fig. 1. Efficacité de l'eau exprimée par le rapport photosynthèse (P) sur transpiration (T) pour différentes cultures. 1: maïs tardif; 2, 3, 4: maïs précoce; 5: tournesol; 6, 7: riz.

Fig. 1. Water efficiency measured by the P/T ratio with different crops: Photosynthesis (P); Transpiration (T); 1 late maize; 2, 3 and 4 early maize; 5 sunflower; 6 upland rice (irat 13); and 7 upland rice (morobérékan).

réalisés avec la variété précoce sont en retrait de 20% environ, avec une réponse très homogène. Le tournesol vient ensuite avec une valorisation de l'eau deux fois moindre que pour le maïs tardif. Pour tous ces essais on remarque, entre 40 et 90 jours d'âge, une diminution très régulière de P/T qui traduit le vieillissement physiologique des plantes. Entre 20 et 40 jours le rapport P/T a tendance à augmenter: Woodward (1976) a montré que le potentiel photosynthétique de la surface unitaire de feuille de soja croît de la 1ère à la 9ème feuille. Enfin les deux variétés de riz se caractérisent par une efficacité de l'eau voisine du tiers de celle du maïs. Irat 13, qui donne les meilleurs résultats, présente comme les autres espèces, une tendance à la baisse de P/T en fonction de l'âge. Par contre Moroberekan donne une réponse très plate qui a correspondu à une émission anormalement continue de nouvelles talles. La Fig. 1b montre les valeurs cumulées du rapport $\Sigma P/\Sigma T$ en fonction du temps. Le classement des espèces les unes par rapport aux autres ne change pas; par contre cette présentation efface la période de sénescence et permet de mieux classer, l'une par rapport à l'autre, les 2 variétés de riz. En Fig. 2, nous avons présenté pour chacune des expériences, la photosynthèse cumulée (ΣP) en fonction de l'eau transpirée totale (ΣT). Les courbes obtenues se placent dans l'ordre décrit ci-dessus. En chaque point médian des courbes on peut déterminer la pente de la tangente. On obtient alors pour chaque essai la valeur $K/(e^* - e)$ de l'équation 2 et compte tenu de la valeur de $(e^* - e)$ donnée dans le Tableau I, on en déduit K (mbar) porté dans le Tableau II. On a calculé également une valeur K' qui tient compte de la MS totale obtenue en fin de cycle et de ΣT . L'écart entre K et K' — lorsqu'il existe — traduit la baisse de P en fin de cycle alors que T reste encore relativement élevée. On note l'écart important d'efficacité en eau des cultures puisqu'il y a un rapport de 3,3 entre les extrêmes: maïs tardif et riz pluvial.

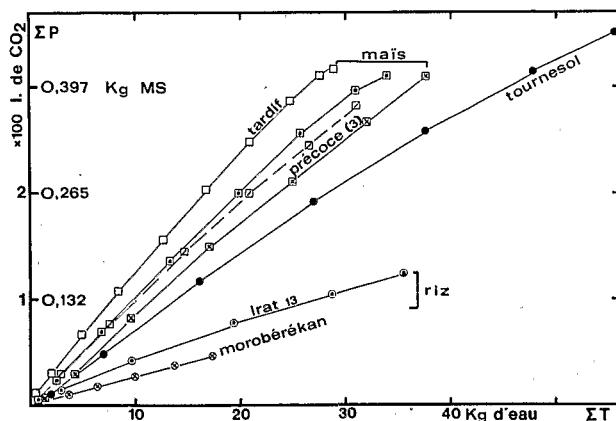


Fig. 2. Evolutions comparées de la photosynthèse (P) et de la transpiration (T), cumulées au cours du temps pour diverses cultures.

Fig. 2. Cumulated values of photosynthesis (ΣP) versus total transpiration (ΣT) for different crops.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Il importe de situer nos résultats par rapport à ceux d'autres auteurs. Nous obtenons avec le maïs une efficacité de l'eau du même ordre que celle calculée par Tanner (1981) pour la pomme de terre ($K = 0,065$ mbar). C'est un résultat surprenant compte tenu de la distinction C3-C4 à faire entre ces deux espèces. Dans la formulation de Tanner

$$NL/TL = Kc (1 - Ci/Ca)/(e_L^* - e) \quad (3)$$

avec NL = photosynthèse, TL = transpiration, Kc = coefficient, Ci et Ca : teneurs en CO_2 à l'intérieur de la feuille et dans l'atmosphère, $(e_L^* - e)$ = gradient de pression partielle de vapeur d'eau; la valeur de $(1 - Ci/Ca)$ est de 0,3 pour les C3 et de 0,7 pour les C4. Ceci place les C3 à 43% des C4 pour l'efficacité relative de transpiration, toutes choses étant égales par ailleurs.

C'est ce que nous obtenons en chambre de culture quand on compare le riz au maïs: il se situe à 42% en valeur relative de K ; par contre le tournesol se place à 75% du maïs précoce. Puech et Maertens (1974) obtiennent sur le terrain — entre tournesol et maïs — une variation relative de l'efficacité de l'eau de 49%. En fait il existe une grande variabilité dans les résultats obtenus sur le terrain (Tableau III). Il serait illusoire de tirer des conclusions à partir de résultats obtenus dans des conditions culturales aussi diverses. En chambre de culture par contre, les modalités de croissance sont connues et reproductibles et l'on doit souligner, pour les 3 spéculations présentées que:

le maïs assure la meilleure valorisation de l'eau, la variété tardive se classant en tête;

le tournesol est un gros consommateur d'eau (+75% par rapport au maïs précoce) et il la valorise moins bien ($K = 0,040$ contre $K = 0,060$ mbar);

TABLEAU II

Estimation, selon l'équation 2, des coefficients K pour différentes variétés de maïs, tournesol, et riz

Culture	Maïs PIONEER	Maïs INRA $F_2 \times F_7$		
		1	2	3
K (mbar)	0,071	0,064	0,058	0,056
K' (mbar)	0,069	0,058	0,058	0,052

Culture	Tournesol INRA 6501	Riz	
		IRAT 13	MOROBEREKAN
K (mbar)	0,044	0,029	0,021
K' (mbar)	0,040	0,028	0,021

TABLEAU III

Variabilité du coefficient de transpiration du tournesol et du riz (essais de terrain)

Ref.	Coefficient de transpiration ($\text{g eau g}^{-1} \text{MS}$)	
	Tournesol	Riz
PUECH et MAERTENS (1974)	552	
DOLGOV et al. (1980)	200—400	
WOLLNY, SHREDER cités par DOLGOV (1980)	300—400	
PUCKRIDGE et O'TOOLE (1980)		990 et 825

le riz pluvial valorise très mal l'eau transpirée ($K = 0,021$ à $0,028$ selon la variété) ce qui limite actuellement sa culture aux zones chaudes à forte hygrométrie;

maïs et tournesol présentent une forte diminution avec l'âge de l'efficacité de l'eau transpirée, le maximum se situant pour des plantes de 40 jours. Le riz par contre, du fait de l'émission de nouvelles talles, est moins affecté par la sénescence.

REFERENCES

André, M., Nervi, J.-C., Lespinat, P.A. et Massimino, D., 1974. Units for automatic culture in artificial atmosphere "C₂3A" project. *Acta Hort.*, 39: 59—72.

- Bierhuizen, J.F. et Slatyer, R.O., 1965. Effect of atmospheric concentration of water vapor and CO₂ in determining transpiration—photosynthesis relationships of cotton leaves. *Agric. Meteorol.*, 2: 259—270.
- Blanchet, R. et Gelfi, N., 1978. Influence de diverses modalités d'alimentation hydrique sur le comportement foliaire et la production du tournesol cv. Relax. In: Proc. 8th Int. Sunflower Conf., 23—27 July. Minneapolis, USA, Int. Sunflower Assoc., Toowoomba, Australia, pp. 348—363.
- De Witt, C.T., 1958. Transpiration and crop yields. *Versl. Landouwk. Onderz.*, 64.6, 88 pp. (Inst. Biol. Chem. Res. on field crops and herbage, Wageningen, Pays-Bas).
- Dolgov, S.I., Zhitkova, A.A. et Vinogradova, G.B., 1980. Productive soil water utilization by plants at various soil moisture contents. *Sov. Soil Sci.*, 11: 728—733.
- Moutonnet, P. et Couchat, P.H., 1979. Mesure journalière sur cycle végétatif complet des échanges gazeux: photosynthèse, transpiration et respiration nocturne d'une culture de maïs conduite sur colonnes de sol. *Physiol. Plant.*, 47: 39—43.
- Puckridge, D.W. et O'Toole, J.C., 1980. Dry matter and grain production of rice, using a line source sprinkler in drought studies. *Field Crops Res.*, 3: 303—319.
- Puech, J. et Maertens C., 1974. Efficience de l'eau consommée de quelques cultures placées dans différentes conditions écologiques. *Agrochimica*, XVIII, 3: 223—230.
- Ritjema, P.E. et Endrodi, G., 1970. Calculation of production of potatoes. *Neth. J. Agric. Sci.*, 18: 26—36.
- Tanner, C.B., 1981. Transpiration efficiency of potato. *Agron. J.*, 73: 59—64.
- Woodward, R.G., 1976. Photosynthesis and expansion of leaves of Soybean grown in two environments. *Photosynthetica*, 10: 274—279.