

L'ALIMENTATION EN EAU DES PLANTES FOURRAGÈRES

P ARMI LES CRITERES DE DECISION CONCERNANT LE CHOIX D'UN SYSTEME DE PRODUCTION FOURRAGERE FIGURE, DE TOUTE EVIDENCE, LE DEGRE D'ADAPTATION DE CE dernier aux conditions de milieu pédologique et climatique qui va fixer, compte tenu d'une productivité potentielle du système, sa productivité réelle dans le contexte écologique considéré (température, durée de la période de végétation, ensoleillement, alimentation en eau).

Sous un autre angle, la décision pourra dépendre des possibilités et des coûts de mise en œuvre des techniques de correction du milieu vis-à-vis de tel ou tel système.

Nous nous proposons d'indiquer ici les bases et les formes du raisonnement à conduire pour avoir une appréciation de la productivité des divers systèmes en fonction d'un facteur de production essentiel : l'« eau ».

1) Les « besoins en eau ».

L'alimentation en eau d'un couvert végétal correspond dans ses grandes lignes à la nécessité de maintenir dans un état d'hydratation satis-

par M. Robelin.

faisant les tissus végétaux, malgré une évaporation quasi continue à leur niveau. La quantité d'eau perdue par vaporisation dépend :

a) de l'énergie disponible sur les surfaces évaporantes, cette énergie ayant deux sources : le rayonnement net (rayonnement incident, rayonnement des surfaces) et l'advection (vitesse du vent, humidité de l'air) ;

b) des propriétés et de l'importance des surfaces d'échange.

En ordre de grandeur, un couvert végétal pourrait perdre en une journée toute l'eau qu'il contient, entre 20 et 100 m³ à l'ha, ce qui représente une tranche d'eau de 2 à 10 mm à la surface du sol.

Lorsque la surface foliaire devient très importante, par exemple lorsqu'elle est équivalente à quatre à cinq fois la surface du terrain, que d'autre part sa qualité d'échangeur est à l'optimum — pleine activité physiologique, stomates en majorité ouverts — et que la disponibilité de l'eau du support n'est pas limitante, la quantité d'eau vaporisée dépend surtout de l'énergie, donc de caractéristiques du climat.

Le « besoin en eau » tend donc en première approximation à se confondre avec une demande purement climatique : l'Evapotranspiration Potentielle (ETP). Cette grandeur peut être appréhendée à partir des données du climat et par la mesure directe, qui confirme d'ailleurs dans ses grandes lignes la réalité du concept ; elle constitue une référence physique essentielle du milieu.

Cependant, pour une bonne partie du cycle de végétation, l'état des surfaces d'échange ne correspond pas à ces conditions idéales et le « besoin en eau » ou Evapotranspiration Réelle Maximale (ETM), tout en restant fonction de la demande climatique va évoluer avec l'état du couvert. Pour une culture

donnée les variations du rapport $\frac{ETM}{ETP}$ au cours du temps sont caractéristiques des variations d'état des surfaces d'échange (tableau I).

TABLEAU I
VARIATION DU RAPPORT $\frac{ETM}{ETP \text{ MESUREE}}$ AU COURS DU TEMPS

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Maïs	(1)	(1)	(0,6)	(0,6)	0,5	0,6	0,85	1	0,8	0,55	(1)	(1)
Betterave sucrière	(1)	(1)	(0,6)	(0,6)	0,6	0,8	1	1	0,7	0,6	(1)	(1)
Prairie temporaire	1	1	1	1	0,8*	0,8*	0,9*	0,9*	0,9*	0,9*	1	1
Blé d'hiver	1	1	0,9	0,9	1	1	0,4	(0,5)	(0,6)	(0,65)	1	1
Céréale de printemps .	(1)	(1)	(0,6)	0,65	0,9	0,9	0,6	(0,5)	(0,6)	(0,65)	(1)	(1)

* : effet des coupes sur prairies.

() : avant semis ou après récolte.

Ces rapports peuvent également varier, en particulier pour les valeurs les plus basses avec les fréquences de réhumectation de la surface du sol ; cette action reste cependant secondaire.

Remarque : ETM, indice de croissance ?

Les facteurs de variation de ETM (énergie incidente, état du couvert) sont aussi des facteurs de croissance. Par ailleurs ETM est abaissé lorsque une carence minérale ou un excès d'eau freine la croissance.

On est tenté devant une telle covariation de voir dans la valeur de ETM une possibilité d'évaluation des potentialités des différentes cultures.

L'expérience montre cependant que si les variations sont simultanées et le plus souvent de même sens, elles sont loin d'avoir des amplitudes comparables ; les effets de l'état du couvert sur la croissance sont fortement tamponnés au niveau de ETM ; par contre, l'énergie d'advection affecte ETM sans toucher la croissance.

Il est bien évident aussi que différentes cultures présentant une ETM identique au même moment n'auront pas forcément la même vitesse de croissance ; l'une pourra être en phase de vieillissement et l'autre être en pleine phase de croissance exponentielle ; si le niveau d'ETM commun est ETP la production peut être également fort différente selon les couverts ;

la consommation d'eau reste bloquée à un niveau maximal par la disponibilité d'énergie, alors que la photosynthèse de chacun reste sous la dépendance de facteurs endogènes propres à chaque culture.

En aucun cas les ETM ne permettront de comparer très valablement les productivités de couverts différents sous un même climat, ni les productivités d'une seule et même culture en deux situations climatiques différentes.

Ces discordances partielles conduisent à des variations d'efficacité de l'eau consommée, selon les climats et les cultures.

2) Relations générales « alimentation en eau-production globale ».

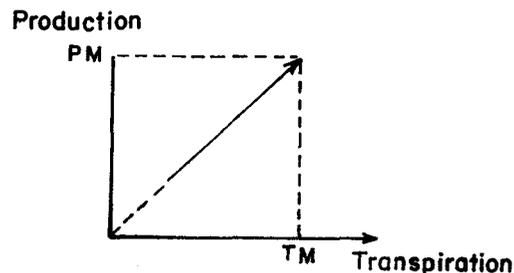
Face à la demande $ETM \leq ETP$, le transit pourra être assuré avec un débit suffisant ou non, selon la disponibilité de l'eau au niveau de l'absorption (humidité, conductivité et importance de l'épaisseur de sol exploité) ; le problème de la conductivité des tissus végétaux peut même parfois se poser lorsque la demande est très élevée.

Lorsque le débit est insuffisant la plante perd très rapidement une partie de son eau de constitution ; il en résulte à la fois une réduction d'activité des processus de synthèse et la fermeture plus ou moins complète des orifices stomatiques, entraînant à son tour une diminution des échanges gazeux avec l'atmosphère ambiante ; la transpiration décroît et, en même temps, l'approvisionnement en gaz carbonique.

On explique ainsi qu'il existe une relation de proportionnalité simple, pour une plante et un environnement climatique donnés, entre la transpiration et la production globale de Matière Sèche (fig. 1) ; à tout déficit de transpiration $TM - T$ correspond un déficit de production $PM - P$ qui lui est proportionnel.

Figure 1

RELATION TRANSPIRATION-PRODUCTION GLOBALE



TM = transpiration maximale

PM = production maximale

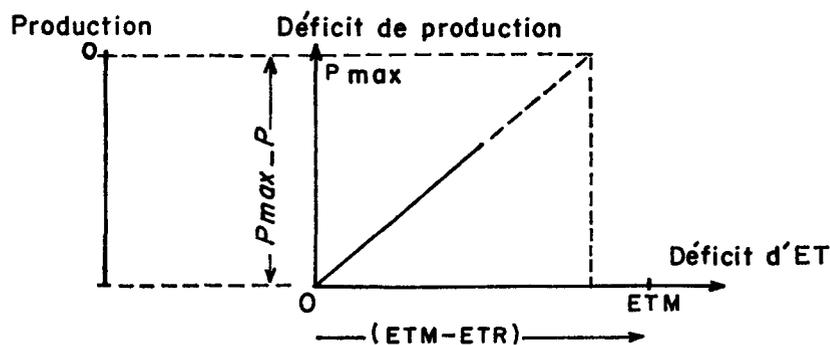
Le coefficient de proportionnalité qui est aussi coefficient d'efficacité de l'eau transpirée dépend, d'une part, du climat et d'autre part de la vitesse de croissance du végétal, pendant la période considérée.

A l'échelle du champ on ne peut dissocier la transpiration de la quantité d'eau globalement perdue par le sol et les plantes (évapotranspiration).

Le niveau de l'alimentation en eau est alors jugé en comparant l'évapotranspiration réelle (ETR), celle qui se réalise compte tenu de la disponibilité, aux besoins ETM définis précédemment. La relation entre la production de Matière Sèche, à cette échelle, et ETR est un reflet de la relation trouvée entre production et transpiration à l'échelle d'une plante (fig. 2).

Figure 2

RELATION ENTRE PRODUCTION GLOBALE
ET EVAPOTRANSPIRATION REELLE



$$P = a \text{ ETR} - b \text{ avec valeur maximale :}$$

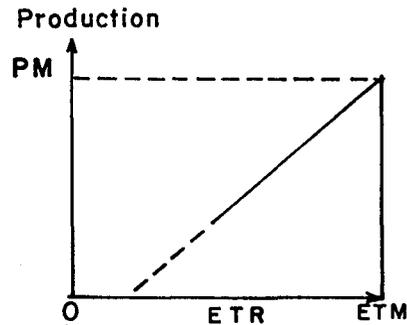
$$P_{\text{max}} = a \text{ ETM} - b$$

Il ne s'agit plus d'une relation de proportionnalité ; une partie de l'eau $\frac{b}{a}$ paraît véritablement évaporée en pure perte. L'importance de cette quantité d'eau « inefficace » est en relation avec le degré de couverture du sol par la végétation ; elle serait donc liée à l'évaporation directe par le sol.

Le déficit de Production $\Delta P = P_{\max} - P$
 $= (a \text{ ETM} - b) - (a \text{ ETR} - b)$
 $= a (\text{ETM} - \text{ETR}) \quad (1)$
 est par contre proportionnel au déficit d'évapotranspiration (fig. 3).

Figure 3

RELATION ENTRE LE DEFICIT DE PRODUCTION
 ET LE DEFICIT D'EVAPOTRANSPIRATION



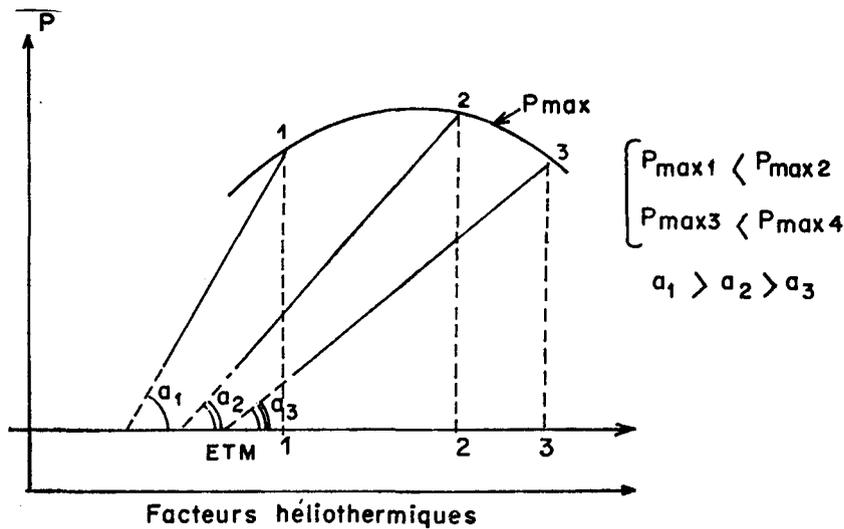
L'efficacité (a) d'un apport d'eau égal au plus à $\text{ETM} - \text{ETR}$ est également sous la dépendance de ETM et de la vitesse de croissance de la culture pendant la période considérée :

a) à ETM constant, elle est d'autant plus élevée que la vitesse de croissance (facteur eau non limitant) est plus forte ; cette remarque est importante pour la rentabilisation de l'irrigation ;

b) dans une période de végétation donnée, elle est d'autant plus élevée que ETM est plus faible ; cependant la vitesse de croissance pendant la période considérée est liée comme ETM aux facteurs héliothermiques, de sorte que les conditions d'efficacité maximale de l'eau ne correspondent pas aux conditions de production maximale. La production augmente avec ETM jusqu'à un maximum puis décroît alors que l'efficacité des apports d'eau décroît constamment lorsque ETM s'élève (fig. 4).

Figure 4

RELATION ENTRE ETM, LA PRODUCTION P
ET L'EFFICACITE DE L'EAU a



3) Alimentation en eau et production utile.

Pour une culture fourragère, la production utile se confondant pratiquement avec la production globale de matière sèche, les relations précédentes peuvent alors servir de base de raisonnement. Par contre pour les productions dites de grandes cultures, type céréalières ou pour la production de fruits ou légumes, il est important de connaître plus précisément la relation entre la sécheresse et le rendement commercialisable ; il s'agit alors du développement et de la croissance d'un organe particulier. A cet égard on est amené à distinguer une « période critique » vis-à-vis des facteurs de production (alimentation en eau) au cours de laquelle va se déterminer le nombre de grains ou de fruits récoltables, et une « période de sensibilité » qui concerne leur grossissement. Le déficit de rendement utile résultant d'une

sécheresse pendant la phase critique est sans commune mesure avec le déficit de matière sèche stockée dans les organes en question pendant cette phase, alors que les déficits de rendement résultant d'action en phases de sensibilité sont en relation avec les possibilités d'accumulation de matière sèche dans l'organe considéré pendant cette période.

On pourra être amené à tenir compte de ces actions même en culture fourragère, par exemple lorsqu'il s'agira de rechercher une augmentation des qualités du Maïs ensilé par augmentation de la proportion de grains.

UTILISATION DE CES BASES

Démarche pour une appréciation de la productivité des systèmes de culture selon les possibilités d'alimentation en eau.

1) Déterminer ETP local ; on peut s'appuyer sur les données climatiques moyennes.

2) Appliquer à ETP ainsi calculé les coefficients permettant le passage à ETM pour chaque culture.

3) Comparer les pluviométries aux ETM ; on fera apparaître mois par mois le déficit pluviométrique moyen pour chaque culture. On diminuera les déficits du ou des premiers mois d'une valeur égale à la Réserve facilement utilisable du sol (qui pourra être éventuellement pondérée en fonction du développement racinaire des cultures).

4) Ayant en main pour chaque culture cette répartition du déficit, on lui superposera la courbe de croissance normale représentative des potentialités de la culture considérée, le facteur sécheresse étant exclu.

On a ainsi au cours du temps, par exemple mois par mois, le besoin moyen en eau ETM, l'accroissement de poids sec maximal (P max), le déficit moyen $\Delta ET = ETM - ETR$.

5) On calculera alors période par période le déficit de production correspondant au déficit d'alimentation en eau :

$$\Delta P = \frac{P \text{ max}}{\text{ETM}} \times \Delta \text{ ET}$$

Ce qui revient à donner au coefficient de proportionnalité (a) de l'équation (1) une valeur entachée d'une erreur par défaut :

$$a = \frac{P \text{ max} - b}{\text{ETM}} < \frac{P \text{ max}}{\text{ETM}} ;$$

la perte de production sera donc sous-estimée ; elle le sera d'autant plus que la culture est moins couvrante à la période considérée.

En réalité, et particulièrement lorsqu'il s'agit de culture fourragère, le déficit d'alimentation n'apparaît, sous nos climats, qu'en période culturale déjà avancée, la couverture du sol est alors le plus souvent très bonne. La sous-estimation du déficit de production ne dépassera pas 10 à 15 % du déficit réel, une correction pourra être faite de façon systématique.

Le déficit de production sur l'ensemble de la période de végétation sera en première approximation égal à la somme des déficits élémentaires ainsi calculés.

Le rendement global de la culture considérée sera égal à la productivité potentielle (facteurs génétiques, autres facteurs du milieu) représentée sur la courbe de croissance, moins le déficit cumulé.

Cette démarche, aussi approximative soit-elle, devrait permettre de situer les uns par rapport aux autres, les niveaux de production (masse végétale totale) atteints en moyenne par chacun des assolements fourragers envisageables dans le contexte pédoclimatique local.

Nous rappellerons cependant que si l'on s'intéresse à la présence de grains sous l'aspect par exemple de la qualité du fourrage, il devient nécessaire d'examiner avec plus de soin le risque de déficit d'évapotranspiration pendant la période critique.

Cette utilisation assez simple des relations production-alimentation en eau peut être mise en échec dans le cas de quelques cultures ; il en est ainsi avec la betterave sucrière qui se montre capable de prendre un rythme de croissance accéléré après une période de sécheresse et d'annuler ainsi une

partie du déficit de croissance subi. Nous ne connaissons pas encore d'autre exemple d'un tel comportement.

Etude du coût de la correction du déficit d'alimentation en eau.

Les trois premiers étages de la démarche précédente permettent d'obtenir les déficits d'évapotranspiration cumulés dans les différentes hypothèses d'assolement envisagées.

Ces déficits correspondent aux quantités d'eau qu'il faudrait apporter en moyenne dans chacun des systèmes culturaux. Des différences notables peuvent apparaître ; à titre d'exemple une évaluation effectuée pour la plaine de Limagne conduit aux constatations suivantes figurant dans le tableau II.

TABLEAU II

<i>Assolement</i>	<i>Déficit d'ET saisonnier moyen</i>
1) Culture prairiale exclusive	230 à 280 mm
2) Assolement de grande culture (1/2 Maïs, 1/2 Orge, 1/6 Betterave sucrière)	100 à 150 mm
3) Polyculture (1/3 Maïs, 1/3 prairie, 1/3 céréales)	130 à 180 mm

Entre les assolements 1 et 2 existe un écart de 130 mm, ce qui représente, en admettant une dose commune de 40 mm, trois irrigations supplémentaires pour l'assolement 1, soit une dépense de fonctionnement supérieure de 250 F/ha environ. A cela doit s'ajouter un supplément d'équipement.

Les étapes 4 et 5 de la démarche décrite plus haut nous apportent une information sur le supplément de production probablement apporté par l'irrigation dans les différents assolements.

Ces suppléments sont à comparer aux coûts précédemment étudiés pour chacun d'eux.

Une telle comparaison est évidemment un des éléments de décision pour le choix du système de production fourragère en irrigation.

Les assolements à base de cultures fourragères annuelles sortent généralement victorieux de cette confrontation ; en fait les charges imputables à ce système de production sont alourdies par la nécessité d'interventions complémentaires dont le coût pèse à son tour sur le choix.

P max

Nous ajoutons à cet exposé quelques indications sur les rapports ———

ETM

observés sous climat limagnais ; ce sont des valeurs moyennes recueillies sur cinq à dix ans selon les cultures. Elles concernent la valorisation globale de l'eau sur la totalité de la période de végétation et ne seraient pas utilisables dans la démarche proposée ; nous retiendrons essentiellement leur classement ; les résultats sont exprimés en kg de matière sèche par ha et par mm d'eau :

<i>Maïs</i>	<i>Pommes de terre</i>	<i>Betterave sucrière</i>	<i>Tournesol</i>	<i>Céréales</i>
31,8	29,7	33,7	25,0	23,6
		<i>sans le sucre</i>	(1 seule année)	
		16,6		
<i>Luzerne</i>	<i>Fétuque</i>	<i>Mélange</i>		
		<i>Trèfle violet-Ray-grass d'Italie</i>		
22,6	23,3	23,4		

Dans le cas des prairies on observe une diminution régulière de ce rapport dans les coupes successives .

M. ROBELIN,

I.N.R.A. (Clermont-Ferrand).