

IMPORTANCE DU COUVERT VÉGÉTAL
DANS SES RELATIONS HYDRIQUES
AVEC L'ENVIRONNEMENT

M. COOPER A TRAITÉ D'UNE MANIÈRE EXCELLENTE LES
QUESTIONS RELATIVES À LA PHOTOSYNTHESE ET AUX
POTENTIALITES DES DIVERS TYPES DE CULTURES
fourragères.

M. ROBÉLIN vous parlera des relations entre l'alimentation en eau
et la productivité.

Pour ma part, je vais essayer de vous expliquer quelques aspects des
problèmes concernant les relations hydriques entre les plantes et leur envi-
ronnement. Dans la mesure du possible, les exemples cités seront choisis
parmi les cultures fourragères pérennes ou de courte durée, de façon à dégager
les conditions propres à chacune de ces cultures.

Après avoir rappelé l'importance biologique de l'eau, nous aborderons
l'équilibre entre la plante et l'environnement et enfin notre attention se por-
tera sur un certain nombre de considérations liées à la notion d'évapo-
transpiration potentielle.

I. — IMPORTANCE BIOLOGIQUE DE L'EAU

1) Teneur en eau minimale.

L'état de vie active chez tous les êtres vivants, et donc les plantes, nécessite une teneur en eau minimale des tissus. Cette vie active se traduit chez les végétaux notamment par la possibilité de la photosynthèse. Cette dernière ne peut avoir lieu si les tissus sont insuffisamment hydratés, d'une part, probablement à cause d'une action directe au niveau de la réaction élémentaire, d'autre part à cause du mauvais approvisionnement en gaz carbonique dû à la fermeture des stomates, consécutive à une teneur en eau insuffisante.

En effet, pour que la teneur en eau d'une plante reste suffisante, il faut qu'à tout instant il existe un équilibre entre l'absorption des racines et la transpiration des feuilles. Cet équilibre est maintenu grâce à la régulation stomatique. L'état d'ouverture des stomates agit sur l'émission de vapeur d'eau, mais aussi malheureusement sur l'absorption du gaz carbonique nécessaire à la photosynthèse.

Une bonne alimentation hydrique, c'est-à-dire l'équilibre entre l'absorption et la transpiration, est donc nécessaire à la production de matière sèche. La croissance elle-même dépend de ce même facteur ; la multiplication cellulaire et surtout le grandissement cellulaire y sont étroitement liés. En conditions hydriques défavorables, les plantes restent naines et ceci est dû autant à des cellules moins nombreuses qu'à leur taille plus petite. Le grandissement cellulaire exige, et c'est logique, une pression de turgescence maximale ; c'est une des raisons pour lesquelles l'allongement des plantes est plus important la nuit que le jour, car les conditions hydriques sont alors plus favorables. Il semble également, pour la même raison, que la translocation ou migration des produits élaborés pour la photosynthèse dans la feuille, vers les autres organes, ait surtout lieu durant la phase nocturne. Mon collègue BALDY a pu mettre en évidence, l'année dernière, que le poids sec des feuilles peut s'accroître de 30 % en quelques heures par une journée favorable.

A ce stade de notre étude, il est possible d'apporter quelques éléments de réponse à une question qui peut venir à l'esprit.

En vue d'obtenir une fenaïson rapide lors de la récolte d'un fourrage, vaut-il mieux le récolter le matin, lorsque sa teneur en eau est maximale et

que les stomates sont ouverts ou bien dans l'après-midi, lorsque la teneur est minimale et que les stomates sont fermés ? Par belle journée, en effet, les stomates ne restent ouverts que quelques heures et de nombreuses observations ont montré que cette fermeture était plus courante qu'on ne le pensait souvent. Après l'excision d'une feuille dont les stomates sont ouverts, il se passe une dizaine de minutes avant la fermeture totale de ces orifices. Cette réaction physiologique assez lente permet à une quantité d'eau assez importante de s'échapper de la feuille. Comme l'alimentation est supprimée, cette transpiration peut amener une fenaison nettement plus rapide que lorsque les stomates sont fermés. Compte tenu de cette observation, il paraît souhaitable, dans la mesure du possible, de couper un fourrage dans la demi-heure qui suit la fin de l'évaporation de la rosée, le matin par beau temps.

2) Débit à travers la plante.

Si une teneur en eau minimale est indispensable, y a-t-il également un débit minimal ?

Beaucoup d'agronomes ont utilisé la notion d'efficience selon laquelle existerait un rapport causal entre la quantité d'eau transpirée et la matière sèche formée.

Cette notion est à la fois vraie et fausse. Il est exact que, pour une culture donnée placée dans des conditions climatiques et édaphiques déterminées, il existe un rapport statistiquement défini, mais qui n'est plus valable pour un lieu différent ou même des conditions climatiques un peu éloignées de la moyenne.

Il est, par contre, faux de penser que ce rapport est obligatoirement fixé. Il dépend des conditions externes à la plante et peut varier dans de très grandes proportions. En conditions très sèches, semi-arides, il peut atteindre ou dépasser 1.000 kg d'eau par kg de matière sèche formée. En conditions très humides, il peut être inférieur à 100. Dans une expérience faite sur le blé en 1962, au domaine expérimental de La Minière, près de Versailles, nous avons pu obtenir une diminution importante (605 à 470) de cette efficience en diminuant simplement le pouvoir évaporant de l'air par un brise-vent (BOUCHET, de PARCEVAUX, ARNOUX, 1963). Ce dernier tout en permettant une augmentation de la production de matière sèche, avait diminué la transpiration, démontrant bien ainsi, que cette liaison n'a aucun

caractère obligatoire. A Gabès, en Tunisie, certains de nos collègues (BALDY et al., 1968) ont pu suivre cette efficacité au cours de l'année pour la Luzerne.

Ce rapport, acceptable au printemps, évolue défavorablement en été. Il est encore plus mauvais en hiver, par suite d'une dormance due au froid. Des phénomènes analogues ont été souvent observés par d'autres chercheurs. Il est bon de noter, en passant, l'importance des interactions physiologiques et climatiques.

Existe-t-il alors un débit minimal indispensable ? Ce n'est pas prouvé. De nombreuses plantes vivent parfaitement dans les sous-bois des forêts équatoriales où l'évaporation est quasi-nulle car l'atmosphère est saturée d'humidité. Certains se demandent peut-être comment pourra se faire l'alimentation minérale. Il existe une absorption active des racines, qui se traduit au niveau des feuilles par une exsudation, phénomène courant en serre, qui pourrait peut-être suffire, si la solution du sol est suffisamment riche en éléments minéraux, à assurer une alimentation correcte. Cette hypothèse n'a pas encore été vérifiée.

II. — EQUILIBRE PLANTE-ENVIRONNEMENT

La teneur en eau dépend de l'équilibre entre l'absorption et la transpiration. Ces deux phénomènes sont liés aux surfaces d'échange entre le sol et la plante d'une part et entre la plante et l'air d'autre part.

Un bon équilibre suppose donc une surface absorbante maximale, c'est-à-dire un système racinaire profond et bien développé et une surface foliaire peu développée ; plus exactement, c'est le rapport de ces deux surfaces qu'il faut prendre en considération. Il devra être d'autant plus grand que le climat sera plus sec. Ceci est malheureusement contraire à une forte production fourragère essentiellement due aux parties aériennes. Par contre, la répartition des zones climatiquement favorables à cette spéculation dépend du niveau de cet équilibre.

Pour une culture fourragère pérenne toutes les techniques culturales qui améliorent l'enracinement sont donc éminemment favorables. Ces techniques comprennent notamment l'amélioration de la structure et l'assainissement ; une bonne oxygénation du sol est nécessaire à la croissance des racines. Une

autre technique intéressante et peut-être insuffisamment exploitée consiste à associer des espèces en fonction de leurs systèmes racinaires ; plusieurs possibilités existent : ou bien on associera des systèmes exploitant des zones différentes, ou bien des systèmes de structures différentes (par exemple, palmier à racines grosses et extensives, avec des graminées à système superficiel intensif, ou encore olivier avec chiendent), ou enfin des systèmes actifs à des périodes différentes de l'année, c'est le cas, toujours en Afrique du Nord, de l'association abricotier-Fétuque élevée ; l'abricotier est actif d'avril à septembre et la Fétuque d'octobre à mai (BALDY, comm. pers.).

Pour une culture de courte durée, d'autres facteurs sont à prendre en considération et notamment la vitesse d'installation du système racinaire. La racine croît d'ailleurs toujours plus rapidement que la tige au début de la croissance ; ainsi une plantule de Lin de quelques centimètres peut avoir une racine de plus de vingt centimètres ; ce phénomène général est d'ailleurs favorable, car un jeune semis est très exposé à la sécheresse tant que la surface du sol n'est pas couverte de végétation. Ceci explique l'intérêt d'un semis dense suivi d'un éclaircissage éventuel et la difficulté de réussir des semis en plein été.

Compte tenu de ces phénomènes, il paraît souhaitable de chercher à améliorer par des techniques culturales appropriées, mais aussi par voie génétique, la vitesse de croissance des racines surtout pour les cultures de courte durée. Si cette croissance des racines est relativement rapide au début, elle s'arrête pratiquement à la floraison. Ce fait est en principe sans importance pour les cultures fourragères qui se récoltent normalement avant ce stade phénologique.

En cas de culture irriguée, aussi bien pour les cultures pérennes que pour celles de courte durée, il est essentiel de ne pas freiner le développement des racines. Une irrigation mal conduite, trop importante en début de végétation, peut limiter l'enracinement et le rendre très superficiel. La culture même irriguée, peut alors devenir très sensible aux sécheresses importantes de l'été. En Tunisie des Eucalyptus trop bien irrigués après un repiquage, n'ont pu résister à un coup de sirocco et sont morts desséchés, alors que d'autres arbres peu ou pas irrigués et apparemment beaucoup plus souffreteux ont résisté, car vraisemblablement leur rapport de surfaces d'échanges aériennes et souterraines était beaucoup plus favorable. Un autre exemple

tivement peu développées. Les plantes s'adaptent ainsi aux conditions édaphiques et au climat moyen de la région en modifiant le rapport de leurs surfaces d'échanges. Il serait intéressant, d'un point de vue génétique, de connaître la plasticité des diverses espèces fourragères à cet égard et également la rapidité de réponse aux variations lentes des conditions climatiques moyennes.

III. — EVAPOTRANSPIRATION ET CONSOMMATION EN EAU

Au niveau d'un couvert végétal, la quantité d'énergie nécessaire à la transformation de l'eau liquide en vapeur est très importante, de l'ordre de 50 fois l'énergie utilisée par la photosynthèse. Cette énergie ne peut donc être empruntée à la plante, elle provient obligatoirement du milieu extérieur.

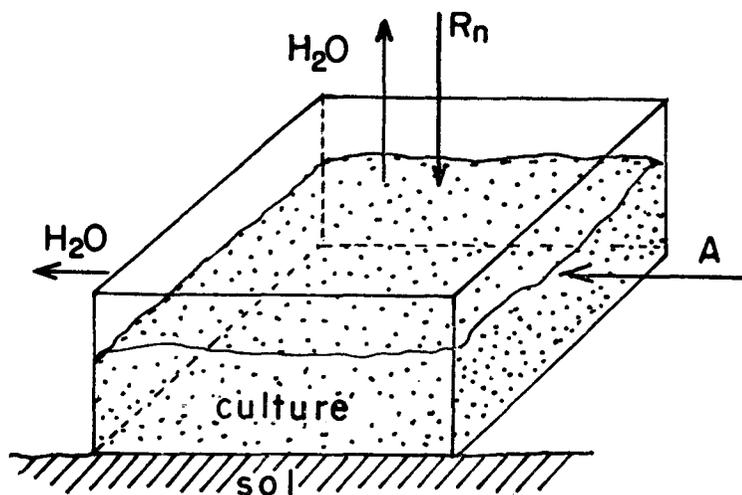
C'est pourquoi l'évapotranspiration potentielle a été définie comme étant l'énergie disponible au niveau d'une culture. Elle correspond à la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue par évaporation et transpiration d'un couvert végétal abondant et bien alimenté en eau. Cette énergie provient plus ou moins directement du soleil sous deux formes différentes. Une part atteint directement les plantes, par rayonnement, c'est le rayonnement net R_n qui peut être considéré comme la composante verticale de cette énergie. Un autre apport lié aux caractéristiques des masses d'air (température, humidité, vitesse du vent) en constitue la composante horizontale, encore appelée énergie advective ou advection A .

En délimitant (fig. 1) un parallépipède rectangle qui englobe la culture et dont la base se situe quelque peu en dessous du niveau du sol, on obtient une représentation schématique des phénomènes en jeu. A chaque apport d'énergie peut correspondre une évacuation de vapeur d'eau (H_2O), si cette dernière est disponible.

Jusqu'à présent, ce sont les phénomènes liés au rayonnement net qui ont donné lieu au plus grand nombre d'études, mais l'advection peut avoir une grande importance notamment dans les zones semi-arides, ou même en zone sub-humide, pendant les périodes sèches. Elle a probablement été sous-estimée.

Figure 1

REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES PHENOMENES
D'APPORT D'ENERGIE ET D'EVACUATION DE VAPEUR D'EAU



Ces différents échanges d'énergie et de vapeur d'eau peuvent s'exprimer grâce à la formule de PENMAN (1968) :

$$ETP = \frac{R_n F' + \gamma E_a}{F' + \gamma}$$

ETP = Evapotranspiration potentielle.

R_n = Rayonnement net.

E_a = Pouvoir évaporant de l'air.

F' = Dérivé de l'équation donnant les variations de la tension de vapeur saturante de l'air en fonction de la température.

γ = Constante de Bowen.

Quelques exemples sont nécessaires pour mettre en valeur ces considérations théoriques. Une plante en pot isolée au milieu d'une surface bétonnée aura à sa disposition, non seulement l'énergie due au rayonnement net mais encore l'énergie correspondant à l'élévation de température, donc au pouvoir évaporant de l'air qui s'échauffe au contact des surfaces non évaporantes voisines du pot. L'évapotranspiration potentielle sera beaucoup plus intense au niveau de cette plante isolée qu'au niveau d'une plante identique noyée au milieu d'une culture homogène.

En conséquence, si l'advection est négligeable, seuls les échanges verticaux intervenant, la nature, la densité ou la hauteur du couvert végétal n'interviendront pratiquement pas sur ETP. Il est toutefois évident qu'une surface foliaire minimale est nécessaire pour absorber l'énergie correspondant au rayonnement net moyen de la région. Ce cas, assez courant une grande partie de l'année dans les zones humides de la France, permet d'affirmer que la nature du couvert végétal n'intervient presque pas sur ETP et qu'un hectare de graminées fourragères, consomme sensiblement la même quantité d'eau qu'un hectare de forêt.

Lorsque l'advection n'est plus négligeable en période sèche, ou en zone semi-aride ou méditerranéenne, cette assertion n'est plus valable. C'est ainsi que certains de nos collègues travaillant dans le cadre de la Recherche Agronomique Tunisienne ont pu mettre en évidence une advection importante notamment sur des plantes fourragères (Herbe à éléphant et Luzerne). L'Herbe à éléphant est une graminée vivace, d'origine tropicale, qui a l'allure d'un Sorgho et peut atteindre 4 mètres de haut. Dans la région de Tunis, où la surface des zones irriguées n'est pas négligeable, il a tout de même été possible de mettre en évidence une énergie advective supérieure à celle correspondant au rayonnement net. Les valeurs d'évapotranspiration obtenues aussi bien sur la Luzerne que sur l'Herbe à éléphant ont pu ainsi dépasser 15 mm par jour, soit $150 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{j}$, ce qui représente une consommation d'eau considérable. Cette énergie advective croît avec la surface développée du végétal qui doit être considérée comme un échangeur de chaleur avec l'air. Des expériences sur cultures palissées cultivées en milieu hydroponique et en plein air, faites par nos collègues de la Guadeloupe, ont mis en évidence des valeurs encore plus grandes de captation de l'énergie advective par un végétal à grand développement.

Une autre observation classique concerne la sécheresse relativement bien caractérisée des zones littorales placées sous l'influence directe des vents

marins. Aussi curieux que cela puisse paraître, la mer semble constituer un milieu relativement sec. La teneur en sel de la mer ne peut pas expliquer une telle sécheresse. Ce phénomène a une grande influence sur la flore littorale exposée aux vents marins.

Pour en revenir aux cultures fourragères, on peut donc dire que la hauteur de la culture et son indice foliaire, bien que généralement favorable à la captation de l'énergie lumineuse et à la production, sont des facteurs néfastes chaque fois que l'advection devient importante, c'est-à-dire dans les zones semi-arides et dans les zones tempérées pendant les périodes sèches. C'est peut-être la raison la plus importante pour laquelle les zones sèches, lumineuses et qui devraient théoriquement permettre une grande captation d'énergie photosynthétique, ne sont pas les plus propices aux productions fourragères intensives, c'est-à-dire possédant un système aérien bien développé.

Dans ces conditions, l'irrigation, si elle améliore considérablement les possibilités de production, ne permet tout de même pas de pallier totalement ces difficultés d'ordre climatique. Encore une fois, il est malaisé de réussir un semis en plein été, même avec l'irrigation, surtout s'il fait un peu chaud et sec. S'il pleut, par contre, l'ensemble de la région étant mouillée, l'advection sera plus faible et les jeunes plantules souffriront moins au départ. La technique consistant à faire, en été, des semis sous culture-abri (Luzerne sous Lin par exemple) tient compte de ces phénomènes ainsi que des faibles besoins en lumière aux premiers stades des plantules. Les résultats obtenus sont généralement bons.

Les phénomènes d'advection sont malheureusement très difficiles à déterminer d'une façon précise, c'est pourquoi il sont encore assez mal connus. Dans la formule établie par mon collègue BOUCHET et qui donne l'évapotranspiration potentielle à partir des données de l'évaporimètre de PICHE placé sous abri, il est à peu près certain maintenant que le coefficient α varie avec l'advection (SCHOCH, 1969) ; mais il n'a pas encore été possible de déterminer la variation de ce coefficient en fonction des phénomènes advectifs.

Il n'est pas facile de tirer des conclusions précises dans un domaine aussi complexe. Mon but a été de vous faire part d'un certain nombre de réflexions à propos des relations hydriques entre les plantes et leur environnement. Ces réflexions découlent directement de l'évolution actuelle des recherches bioclimatologiques autant en France, à l'I.N.R.A. et ailleurs, qu'à l'étranger.

Vous voudrez bien excuser la pauvreté de mon exposé en exemples concernant les cultures fourragères. Je souhaite vous avoir apporté quelques éléments qui vous permettront d'orienter votre choix dans chaque cas particulier entre une culture pérenne ou une culture de courte durée.

S. de PARCEVAUX,

Station de Bioclimatologie, Versailles.

- BALDY Ch., EL AMAMI S., POUGET J.-M., PONTANIER R., BEN SALAH M. : « Résultats culturaux et climatologiques de la parcelle expérimentale de Bou Chemma (Gabès) en 1966-67 ». *Documents techniques I.N.R.A.T.*, n° 38, 1968.
- BOUCHET R.-J., DE PARCEVAUX S., ARNOUX J. (1963) : « Amélioration du rendement des végétaux par l'abaissement de l'évapotranspiration potentielle ». *Ann. agro.* 14, (5) 825-833.
- BOUCHET R.-J., ROBELIN M. : « Evapotranspiration potentielle et réelle. Domaine d'utilisation. Portée pratique ». *B.T.I.* n° 238, 215-224, 1969.
- PENMAN H.-L. (1968) : « Natural evaporation from open water, bare soil, and grass ». *Proc. Roy. Soc. (London)*, Ser. A. 199, 120-145.
- SCHOCH P.-G., de VILLELE O. : « Difficultés de l'estimation de l'évapotranspiration potentielle dans la région d'Avignon ». *B.T.I.* n° 238, 239-244, 1969.
- « L'eau et la production végétale ». 1964. Ed I.N.R.A.