

## DÉFINITION DE LA SÉCHERESSE ET POLITIQUE D'UTILISATION DE L'EAU

**L'**UNE DES CARACTÉRISTIQUES DES VÉGÉTAUX, DU MOINS QUAND ILS SONT DANS LEUR PHASE DE CROISSANCE, EST D'ÊTRE TRÈS FORTEMENT HYDRATÉS. ILS RENFERMENT alors souvent de l'ordre de 85 à 90 % d'eau. Comme d'autre part, tant pour leurs activités respiratoires que pour assurer la synthèse chlorophyllienne, il faut qu'ils puissent avoir des échanges gazeux intenses avec l'atmosphère, ils perdent également de l'eau.

Ils doivent donc trouver dans le sol des quantités de liquide égales à celles qu'ils perdent, sinon ils ont tendance à se déshydrater.

On peut alors envisager deux définitions de la sécheresse et dire :

- il y a sécheresse dès qu'il se produit dans la masse des tissus un déficit en eau amenant une baisse de rendement ;
- il y a sécheresse chaque fois que le déficit en eau provoque des réactions de défense de la plante se traduisant par des modifications de l'état du feuillage qui caractérisent le flétrissement.

Les critères correspondant à la première définition ne peuvent pas être appréciés dans la pratique, seuls ceux correspondant à la seconde peuvent être observés.

Quand on parle de la sécheresse en se plaçant au point de vue de la production végétale, il faut pouvoir faire des prévisions et, dans ce but, on définira

à partir de l'étude du milieu les conditions de la sécheresse, c'est-à-dire les niveaux des facteurs de l'alimentation en eau à partir desquels le végétal ne peut plus s'alimenter en fonction de ses besoins.

De ce point de vue, on peut considérer :

- la réserve en eau du sol que nous appellerons S (pour le stock d'eau) ou  $E_u$  (pour la fraction utilisable de cette réserve) ;
- le bilan de l'eau en comparant les précipitations et leur devenir.

### **Le stock d'eau du sol.**

C'est la quantité totale d'eau retenue dans le milieu. Elle est évaluée à l'aide d'une valeur limite d'humidité : la teneur en eau à partir de laquelle les pertes par drainage deviennent négligeables ; c'est ce qu'on appelle la « capacité de rétention » (C.R.) ou la « capacité au champ », suivant qu'on détermine cette valeur au laboratoire ou *in situ*...

On utilise aussi « l'humidité équivalente », c'est-à-dire l'eau retenue sous l'influence d'une contrainte équivalente à une succion de 1.000 cm d'eau, soit environ une atmosphère. La valeur S est donc la somme des masses d'eau correspondant à l'une de ces références fixées pour une profondeur donnée du profil.

On définit d'autre part l'humidité ( $H_f$ ) à partir de laquelle les végétaux ne peuvent plus extraire l'eau du sol : elle correspond sensiblement à l'eau retenue sous des contraintes de 16 atmosphères, la différence C.R. —  $H_f = E_u$  représentant l'eau utilisable.

On a parfois tendance à ne considérer qu'une fraction de  $E_u$ . On l'appelle « réserve facilement utilisable » ou R.F.U. Cette valeur est très variable pour un même sol en fonction des conditions d'évaporation, c'est pourquoi nous n'en ferons pas usage.

Rappelons qu'au lieu de parler en termes de succion, on parle souvent de pF : c'est le logarithme décimal de la succion évaluée en cm d'eau. Par exemple, considérant que 1 at. correspond à pF 3, une succion de 16 at., soit 16.000 cm d'eau, correspond à pF 4.2.

Mais ces différentes opérations permettent seulement de préciser des quantités d'eau rapportées à l'unité de poids de terre sèche. Les racines explorent un volume de sol en place ( $H_v$ ). On écrit alors :

$$H_v = H_s \cdot \Delta_s (1 - P)$$

et la quantité utilisable  $H_{vu} = (C.R. - H_f) \Delta_s (1 - P)$ .

$\Delta_s$  est la densité de la terre sèche,

P la porosité du sol,

$H_v$  est alors exprimé par rapport à l'unité de volume de sol en place.

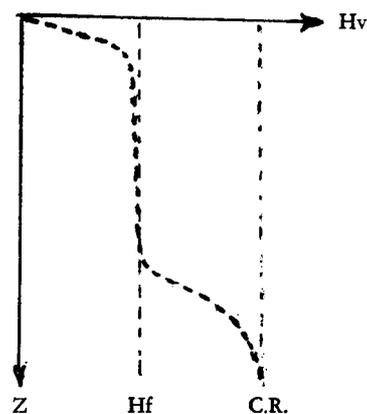
Mais les racines explorent une profondeur Z de terre, si bien qu'en définitive la quantité d'eau utilisable  $E_u = H_{vu} \cdot Z$ .

Cette humidité est exprimée par l'épaisseur de la lame d'eau qui recouvrirait le sol si toute la quantité  $E_u$  s'y trouvait rassemblée ; elle peut être alors comparée à une hauteur de pluie ou à une quantité d'eau évaporée ou drainée.

Il faut toutefois faire une remarque au sujet de cette quantité  $E_u$  : elle n'est disponible que dans la mesure où des racines fonctionnelles se sont développées sur la profondeur Z, sinon une partie seulement de ce stock sera utilisable.

L'allure d'un profil hydrique (pour un sol homogène) au moment où la quantité  $E_u$  a été évaporée est représentée sur la figure 1.

FIGURE 1



On constate que la partie supérieure du profil est à une humidité très inférieure à celle correspondant à pF 4,2 (ou  $H_f$ ). C'est parce qu'il y a évaporation directe dans l'air.

Ainsi, une quantité d'eau supérieure à  $E_u$  peut être évaporée, puisque  $E_u < S$ ,  $S$  étant le stock d'eau qui comprend l'eau utilisable  $E_u$  et l'eau non utilisable  $S - E_u$ .

D'une façon générale, les profils sont toujours beaucoup plus secs en surface qu'en profondeur. Il s'ensuit que même si la réserve  $E_u$  n'était pas complètement épuisée et que l'on effectue un semis, celui-ci pourrait ne pas germer parce que la couche supérieure du sol serait trop sèche.

Voyons comment il est possible de caractériser la tendance à la sécheresse d'un milieu à partir du bilan de l'eau :

$$P = R + D + E + S$$

$P$  représente les précipitations, pluie et neige (nous excluons le cas des condensations qui, en règle générale, représentent des apports d'eau de faible importance) ;

$R$  est le ruissellement : c'est la fraction des précipitations qui n'est pas infiltrée au point de chute de celles-ci. L'eau en surplus peut soit se déplacer sur une faible distance, soit se localiser dans de petites dépressions d'où elle est absorbée. Lorsque le ruissellement est important en volume, il s'écoule vers les rivières et se trouve perdu pour la végétation ;

$D$  est le drainage : c'est de l'eau qui est infiltrée, mais qui n'est pas retenue par le pouvoir absorbant du sol. Elle peut être alors soit évacuée par des drains, soit le plus généralement atteindre les nappes d'eau et nourrir l'écoulement des sources ;

$E$  est l'évaporation, c'est-à-dire la quantité d'eau qui retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur, soit à partir du moment où l'eau atteint le sol, soit après avoir été stockée dans la masse de celui-ci ou dans des nappes d'eau peu profondes d'où elle remonte à la surface par capillarité et/ou transfert par les végétaux ;

$S$  est le stock d'eau présent dans le sol : c'est grâce à lui qu'une partie des précipitations infiltrées reste à la disposition du végétal et va permettre son alimentation pendant la période sans pluie.

On peut, dans un premier temps, comparer les précipitations et l'évaporation, mais il faut caractériser cette dernière.

Pour la conduite des irrigations, on peut effectuer des mesures d'eau réellement perdue en des sites précis, c'est-à-dire déterminer l'évaporation réelle. Pour les prévisions, on part du concept « d'évapotranspiration potentielle » ( $E_{TP}$ ) : il s'agit « de la quantité maximale d'eau évaporable par un couvert végétal continu, alimenté de manière à compenser l'évaporation ». Il existe des dispositifs standards pour effectuer ces mesures, mais les résultats sont dans une certaine mesure dépendants des plantes constituant le couvert végétal.

On peut déterminer par le calcul une évapotranspiration potentielle en fonction des critères énergétiques caractérisant le climat (radiation solaire, température, advection d'énergie par les vents). Il existe plusieurs formules pour effectuer ces calculs et les données que l'on obtient sont en assez bonne concordance avec les mesures directes de l'évapotranspiration potentielle ( $E_{TP}$ ).

Nous pouvons alors classer les climats ou les situations d'une manière prévisionnelle en comparant les précipitations et les  $E_{TP}$  pour une même période. On obtient ainsi les classes suivantes :

$$1) (P_A - E_{TPA}) > 0 \quad (P_A \text{ et } E_{TPA} \text{ sont les valeurs annuelles}).$$

Dans ces conditions, les végétaux ont, en principe, l'eau qui leur est nécessaire. Toutefois, il convient d'établir des subdivisions. On peut avoir :

$$a) P_i > (E_{TP})_i$$

$i$  désignant une période quelconque inférieure à l'année, par exemple le mois ou la quinzaine. Ce cas correspond à la situation évoquée pour l'année.

b) Mais on peut avoir :

$$P_i > (E_{TP})_i$$

pour un certain nombre de périodes, et

$$P_j < (E_{TP})_j$$

pour d'autres périodes de l'année.

Ceci n'est pas contradictoire avec le cas général où nous nous sommes placés ; il suffit que la somme des  $P_i$ ,  $P_j$  soit supérieure à la somme des  $(E_{TP})_i$ ,  $(E_{TP})_j$  pour l'année, ce qui est parfaitement concevable.

Il n'en reste pas moins que pendant les périodes où le bilan est négatif, les végétaux peuvent souffrir de la sécheresse. C'est alors qu'il faut faire intervenir le terme  $E_u$  de la formule du bilan.

On peut alors écrire que, en valeur absolue, si  $[P_j - (E_{TP})_j] < E_u$ , une végétation installée pourra trouver l'eau qui lui est nécessaire pour croître. C'est ainsi que le facteur « sol » intervient pour nuancer l'effet d'un déficit climatique temporaire. Toutefois, pendant les heures de la journée où se produit une forte évaporation, il pourra y avoir déséquilibre entre la vitesse d'absorption d'eau et les pertes, et l'on peut observer un flétrissement temporaire qui peut être à l'origine d'une baisse de productivité.

Mais, dans un tel calcul, on suppose qu'il n'y a pas de ruissellement, c'est-à-dire que R est nul. Si l'on en tient compte, il faut écrire les inégalités suivantes :

Dans les zones en pente et pour des précipitations orageuses, le bilan s'écrira :

$$(P_1 - R_1) - (E_{TP})_1$$

De même que dans les zones de bas-fonds recevant les eaux de ruissellement, il nous faut écrire :

$$(P_1 + R_1) - (E_{TP})_1$$

pour apprécier correctement l'alimentation hydrique.

Ces quelques données permettent déjà de retrouver toute une série de situations bien connues : les zones en pente portent une végétation mieux adaptée à la sécheresse, où les flétrissements sont plus fréquents que dans les zones de bas-fonds.

2) La deuxième situation générale correspond à

$$P_A - E_{TPA} < 0 \quad (P_A \text{ et } E_{TPA} \text{ étant encore les valeurs annuelles)}$$

et, ici encore, on peut faire deux subdivisions :

a) Nous commencerons par la situation la plus défavorable où  $P_1$  est toujours inférieur à  $(E_{TP})_1$ . À la limite, cette situation est celle des déserts. Cela ne veut pas dire qu'il n'y pousse rien, mais la croissance des végétaux se fait par à-coups et elle s'arrête dès que la réserve d'eau constituée est épuisée. Les plantes adaptées à ces régions ont d'ailleurs une anatomie et une physiologie spéciales. Que l'on pense, par exemple, aux plantes grasses.

18 D'autre part, les précipitations sont souvent orageuses et très intenses ; il se produit des ruissellements qui non seulement alimentent des rivières à

écoulement temporaire, mais qui permettent des infiltrations dans les zones basses permettant l'existence de quelques sources, ou de zones où une certaine production végétale est possible. Il est très caractéristique de voir, dans les régions très sèches, croître quelques plantes buissonnantes le long du lit desséché des rivières. L'effet du terme R est alors très marqué.

b) La deuxième subdivision nous conduit à écrire à nouveau :

$$P_1 > (E_{TP})_1 \text{ et}$$

$$P_j < (E_{TP})_j$$

Mais cette fois-ci la somme annuelle  $P_1 + P_j$  est inférieure à la somme annuelle des  $(E_{TP})_1 + (E_{TP})_j$ . La situation devient alors la suivante : ou bien on peut cultiver tout le territoire, mais seulement pendant la période où  $P_1 > (E_{TP})_1$ , ou bien on ne cultive qu'une partie de la surface, mais pendant toute l'année.

Il faut nuancer ce que la logique mise en évidence par la classification précédente a de trop strict quand il s'agit des applications.

Tout d'abord, la notion d' $E_{TP}$  est une notion théorique limite correspondant au développement sans déficit hydrique d'une végétation dans une région donnée. On est conduit en fait à considérer une valeur  $E_{TM}$  qui représente l'évaporation maximale d'une culture, compte tenu du fait qu'elle évapore très peu pendant la période allant du semis à la germination ou pendant la période de maturation des graines : la valeur prévisionnelle d' $E_{TP}$  est donc trop élevée.

Il faut dire également un mot de  $E_{TR}$  qui correspond à la transpiration réelle d'une culture compte tenu des périodes de manque d'eau. On a donc :

$$E_{TP} > E_{TM} > E_{TR}$$

Le fait qu'un végétal transpire à  $E_{TR}$  correspond à une baisse de rendement ainsi que nous le dira M. ROBÉLIN. L'objectif est donc d'assurer l' $E_{TM}$ .

Par ailleurs, les raisonnements prévisionnels ne peuvent être établis que sur des valeurs moyennes. Or, dans le bilan de l'eau, le terme « précipitation » est très variable, de l'ordre de 30 % autour de la moyenne. Il s'ensuit que l'agriculteur, et plus particulièrement l'herbager, doit raisonner son système de production en fonction des déficits climatiques possibles. Le coût des mesures envisagées pour s'adapter au déficit climatique doit être considéré comme une assurance.

Certains des exposés qui vous seront présentés feront certainement état de ce problème. Je me contenterai, dans la suite de ce texte, de raisonner sur les cas moyens.

### MÉTHODES D'ADAPTATION DES SYSTÈMES HERBAGERS AUX CONDITIONS DE SÉCHERESSE

Dans le cas I<sub>a</sub>, où la différence : précipitations moins E<sub>TP</sub> est toujours positive, même sur des intervalles de temps courts, il n'y a jamais de problèmes de sécheresse mais des problèmes d'excès d'eau.

Dans les cas I<sub>b</sub> et II<sub>b</sub>, une première solution va consister à n'affectuer que les cultures dont la période de croissance correspond à celle où le bilan précipitation-évaporation est positif.

Toutefois, dans le cas I<sub>b</sub>, si la quantité E<sub>u</sub>, c'est-à-dire le stock d'eau, est telle que :  $E_u > [P_j - (E_{TP})_j]$  en valeur absolue, les végétaux peuvent croître en tout temps.

C'est alors le facteur pédologique qui est en cause, c'est-à-dire la profondeur du sol. Mais il n'y a pas nécessairement parallélisme entre profondeur du sol et profondeur d'enracinement. La profondeur d'enracinement dépend de l'espèce : la luzerne peut s'enraciner plus profondément que les graminées. Toutefois, cet enracinement dépendra aussi des conditions d'exploitation de la plante. Le surpâturage, la pauvreté en éléments nutritifs sont des facteurs qui limitent l'enracinement. De même, la présence d'horizons engorgés à faible profondeur limite le développement racinaire. Le drainage est donc paradoxalement, dans un certain nombre de cas, un facteur de résistance à la sécheresse. Le maintien d'une bonne structure, en évitant le pâturage par temps trop humide par exemple, le sous-solage s'il existe des horizons indurés sont autant de facteurs favorisant l'enracinement.

Dans le cas II<sub>b</sub>, où les précipitations annuelles sont inférieures à l'E<sub>TP</sub> annuel, il n'est pas possible de faire croître les plantes toute l'année. Bien entendu, en jouant sur l'enracinement et sur l'état du sol comme dans le cas I<sub>b</sub>, on peut prolonger la période de végétation mais, encore une fois, pas pendant toute l'année.

On peut alors jouer sur le ruissellement : celui-ci peut spontanément reconstituer des réserves en bas-fonds. Mais on peut le capter par des barrages

ou des lacs collinaires et disposer de réserves d'eau permettant d'irriguer une partie de la surface. Ces barrages peuvent d'ailleurs descendre au-dessous du lit des rivières pour constituer une nappe d'eau en profondeur dans laquelle on puisera avec des pompes car, dans ces conditions, l'eau s'évapore beaucoup moins que lorsqu'elle est stockée superficiellement par des barrages.

On peut également accroître le volume du stock du sol disponible pour le végétal en faisant des cultures en lignes espacées ; c'est le cas de la luzerne en Afrique du Nord. Car nous n'avons considéré, pour calculer  $E_u$ , que la profondeur  $Z$  et nous n'avons pas pris en compte la surface disponible pour une plante donnée. En écartant les végétaux, on accroît cette surface, donc le volume d'eau disponible. Il faut alors soigneusement détruire la végétation adventice qui peut se développer entre les lignes et qui évaporerait de l'eau pour son propre compte.

Il est également possible de pratiquer l'irrigation à partir des rivières, mais à condition qu'elles aient un débit suffisant ; c'est le problème dont nous parlera M. DEVILLERS.

On peut également faire appel à des eaux usées si elles ne renferment pas de produits toxiques ou de parasites : elles ont souvent en outre l'avantage d'apporter les éléments fertilisants.

Il est évident qu'à partir du moment où on ne peut plus compter sur une production continue de l'herbe, il faut constituer des réserves par fanage ou ensilage. Il vient alors se superposer aux problèmes de production eux-mêmes, les problèmes de technicité des producteurs, de coût des investissements et de productivité de l'herbe par les animaux qui assureront la rentabilité de ces opérations. C'est là où la notion d'assurance contre le risque « sécheresse », qui doit prendre en compte non seulement la non-croissance mais la dépréciation, voire même le décès des animaux.

## LE PROBLÈME DE L'EFFICACITÉ DE L'EAU

Quand on détermine le coefficient de transpiration, c'est-à-dire le rapport de la quantité évaporée à la quantité de matière sèche formée, on constate que ce rapport est élevé, ainsi que le montre le tableau suivant :

**EAU ÉVAPORÉE**  
(en kg par kg de matière sèche formée)

<i>Nature du végétal</i>	<i>Valeur - Akron (Colorado)</i>
Blé dur .....	542
Blé ordinaire .....	557
Avoine .....	583
Orge .....	518
Mais .....	349
Lin .....	783
Betterave sucrière .....	377
Luzerne .....	844

Ces chiffres sont d'ailleurs susceptibles de varier très sensiblement d'une année à l'autre. A Akron, le coefficient de transpiration passe de :

680 à 1.050 pour la luzerne,

400 à 600 pour le blé,

270 à 500 pour le maïs (cités par DEMOLON)

sous la simple influence de la variation des conditions climatiques.

Voici, par ailleurs, l'influence de la fertilisation :

<i>Sol</i>	<i>Coefficient de transpiration du maïs</i>	
	<i>Sans engrais</i>	<i>Avec engrais</i>
Pauvre .....	550	350
Moyen .....	479	341
Fertile .....	392	347

(Cités par DEMOLON).

22 Il ressort de ces considérations que la quantité de matière sèche produite dépend du végétal, des conditions de l'année et de la richesse du sol.

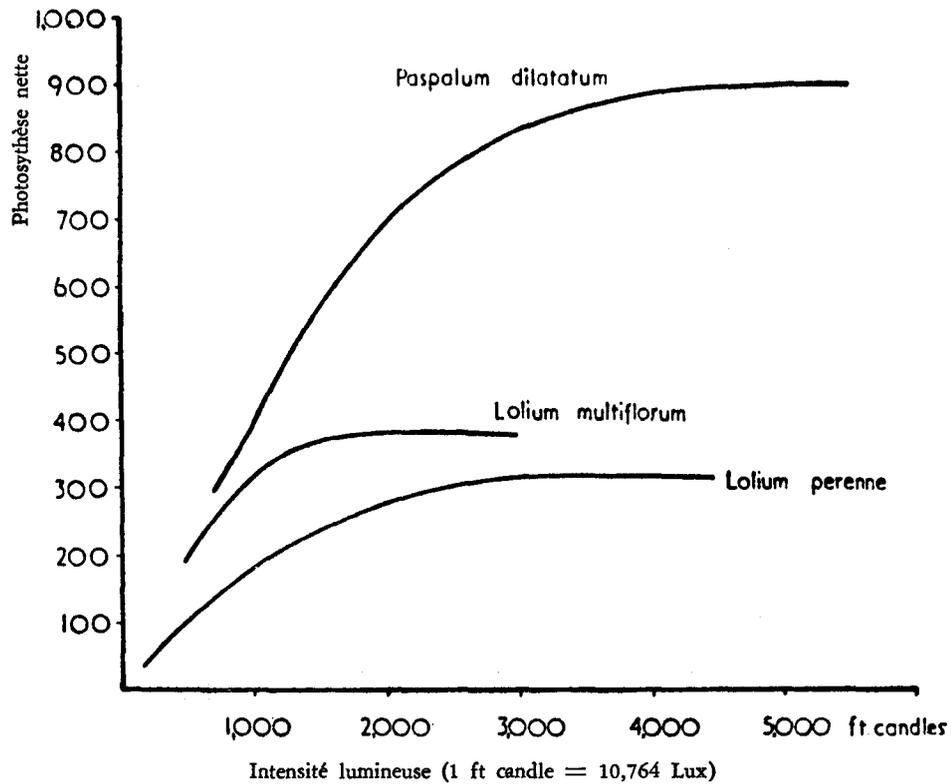
*Sécheresse et politique  
d'utilisation de l'eau*

Le problème du comportement du végétal, qui paraît être un des facteurs essentiels de la variation annuelle du coefficient de transpiration, s'explique aisément par des considérations physiologiques que l'on peut schématiser ainsi (COOPER) :

FIGURE 2

EFFET DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE SUR LA PHOTOSYNTHÈSE  
DES GRAMINÉES TEMPÉRÉES ET TROPICALES

(d'après COOPER et TANTON, 1968)



La perte en eau (évapotranspiration) est sensiblement proportionnelle, toutes choses égales par ailleurs, à la quantité d'énergie reçue. Par contre, l'activité de la photosynthèse croît moins que proportionnellement avec ces facteurs et tend vers une limite caractéristique des espèces et même des variétés.

Or, lorsque nous sommes en conditions d'évaporation intense, l'insolation et la température sont élevées, si bien que même si l'on fournit à la plante l'eau qui lui est nécessaire, le rapport  $\frac{\text{quantité d'eau consommée}}{\text{matière sèche formée}}$  va nécessairement en diminuant.

Les quelques données suivantes dues à MARTY et PUECH illustrent très clairement cette conclusion :

	<i>Luzerne</i>	<i>Ray-grass Trèfle violet</i>	<i>Fétuque</i>	<i>Sorgho Grazer</i>	<i>Maïs I.N.R.A. 260</i>	<i>Maïs I.N.R.A. 400</i>	<i>Maïs Pioncer 3567</i>
Coefficient de transpiration . . . .	500	360	475	315	322	265	264

Et, d'autre part, ces auteurs, considérant la variation du coefficient de transpiration au cours des saisons, sont amenés à conclure que pour des graminées comme la fétuque, l'effcience de l'eau est d'autant plus faible que l'évaporation est plus forte et que l'eau est donc mal valorisée par un certain nombre de végétaux.

L'intensification de la production fourragère par l'irrigation passerait par une combinaison des plantes fourragères habituelles qui ne seraient ni irriguées ni pâturées pendant la période chaude (juillet à septembre), l'irrigation étant appliquée à des sorghos et à des maïs dont l'activité photosynthétique reste élevée pendant la période où l'insolation et surtout la température sont élevées. On pourrait également envisager de constituer des réserves fourragères pour alimenter les troupeaux pendant cette période.

En conclusion, on constate que, partant des données climatiques, on peut imaginer des systèmes de productions fourragères adaptés à des situations de sécheresse. Ceci implique, suivant les cas, une amélioration des sols, la fertilisation, un contrôle de l'utilisation de l'eau, le choix des espèces fourragères en fonction de leurs aptitudes physiologiques (faible coefficient d'évaporation aux périodes les plus chaudes), la constitution de réserves fourragères à consommer pendant les périodes dites sèches et, enfin, une variation de l'importance du troupeau. Le choix de ces techniques dépend des conditions de milieu, des capacités techniques des éleveurs et des possibilités d'investissement.

S. HENIN.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) J.-P. COOPER (1969) : « Potentialités des productions fourragères », *Fourrages* n° 38.
- (2) A. DEMOLON (1941) : *La croissance des végétaux*, 1 volume, Dunod, Paris.
- (3) J.-R. MARTY et J. PUECH (1971) : « Efficience de l'eau en production fourragère », *L'Académie Agriculture de France*, tome 57, n° 11.