

PRÉVISION DU CHARGEMENT EN PRODUCTION DE VACHES ALLAITANTES : PRISE EN COMPTE DES RELATIONS CLIMAT-RENDEMENT

A PARTIR DES RÉFÉRENCES ACQUISES EN MATIÈRE DE PRODUCTION FOURRAGÈRE AU COURS DE 4 ANNÉES D'ESSAIS À LA FERME EXPÉRIMENTALE DE JEU-LES-BOIS (Indre), il semblait intéressant de cerner l'incidence du climat sur le rendement de prairies pâturées et d'en déduire des conséquences pratiques pour les chargements possibles au printemps et en été.

Les relations climat-rendement ainsi mises en évidence ne s'appliquent cependant qu'à un milieu précis, celui caractérisant la région naturelle de bordure de Brenne où se trouve la ferme, mais la démarche à effectuer est la même pour d'autres situations de milieu naturel.

Ce travail peut être considéré comme une application pratique d'un mode de raisonnement développé antérieurement par le Laboratoire I.N.R.A. d'Agronomie de la Prairie d'Angers - Lusignan.

I. LES FACTEURS CLIMATIQUES AGISSANT SUR LA CROISSANCE DE L'HERBE

Il s'agit essentiellement, au printemps, de la *température* alors qu'en période estivale, c'est le *déficit hydrique* qui intervient (voir l'article de J.L. RAPHALEN et X. LE BRIS dans ce même numéro).

Or, il n'existe à ce jour que peu de modèles fiables permettant de quantifier en « vraie grandeur » la variabilité de la production liée au climat. Les relations les mieux connues actuellement sont celles existant entre, d'une part :

— le rendement du premier cycle du printemps et le cumul des températures moyennes journalières supérieures à 0 °C, effectué à partir d'une date variable selon les régions ;

— d'autre part, le rendement estival et l'alimentation en eau de la plante.

Ce sont ces deux liaisons qui ont été mises en évidence dans le contexte précis de Jeu-les-Bois, sur trois années d'essais seulement (1979 à 1981), l'année 1978 n'étant pas suffisamment fiable quant aux rendements fourragers obtenus, en raison du faible niveau de fertilité des sols au démarrage des essais.

II. RENDEMENT FOURRAGER AU PREMIER CYCLE D'EXPLOITATION DU PRINTEMPS ET TEMPÉRATURES

1. Forme générale du modèle

L'équation générale obtenue est de la forme :

M.S. = $a (\sum \theta - b)$, avec :

M.S. = production fourragère à un instant donné,

$\sum \theta$ = somme des températures moyennes journalières en base 0 °C,

a = vitesse de croissance de la prairie en kg M.S./ha/degré × jour,

b = départ apparent en végétation de la prairie, depuis la date d'origine choisie (en degré × jour).

2. Application aux résultats de Jeu-les-Bois

Les références utilisées dans l'élaboration du modèle sont celles de prairies permanentes ou de longue durée, situées sur sols superficiels hydromorphes et à base de ray-grass anglais, pâturin ou dactyle, toutes ayant reçu une fertilisation azotée de 50 unités/ha en fin d'hiver.

Dans les conditions de Jeu-les-Bois, l'origine prise pour le cumul des températures en base 0 a été le 1/01, date permettant d'obtenir la meilleure précision dans l'estimation du rendement au 1^{er} cycle.

Le modèle a été obtenu avec 22 rendements de 1^{er} cycle, dont un très élevé (> 7 t M.S./ha) correspondant à une fauche tardive en foin. L'équation générale est la suivante :

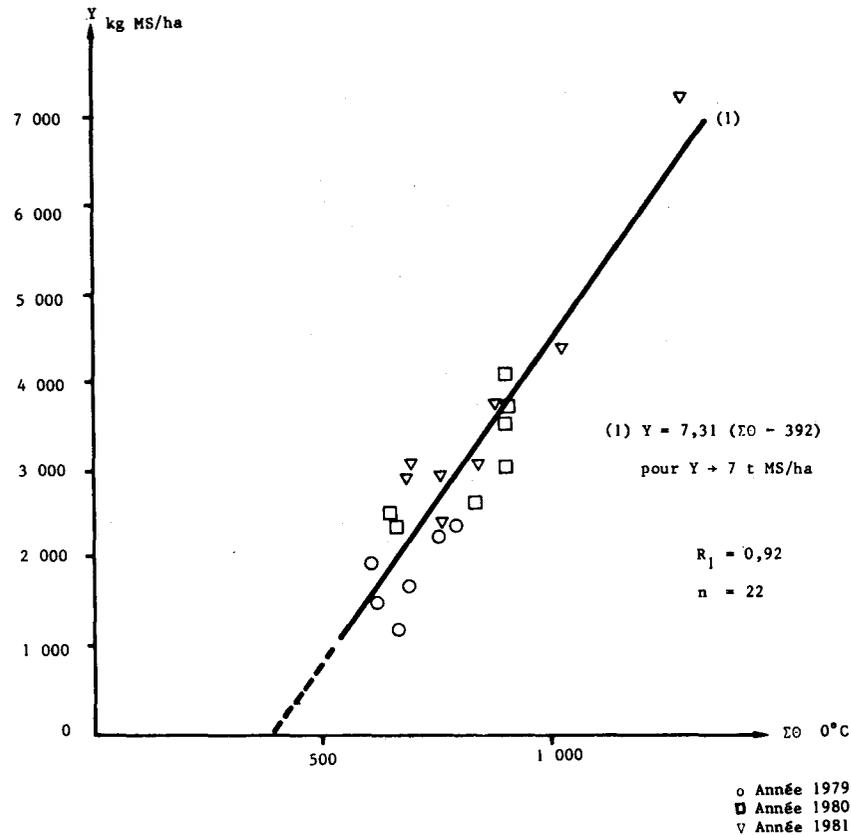
$$(1) \text{ M.S.} = 7,31 (\sum \theta - 392) \quad (n = 22) \quad (\text{voir figure 1})$$

Cela signifie qu'au cours d'une journée où la température moyenne est de 10 °C, la vitesse de croissance de la prairie sera de 73 kg M.S./ha pendant le 1^{er} cycle d'exploitation.

Le départ en végétation de la prairie s'effectuera aux environs de 390 °C × jour depuis le 1/01.

Par rapport à la date d'exploitation de la prairie, la prise en compte des cumuls de température en base 0 °C améliore très nettement l'estimation du rendement au 1^{er} cycle. La précision du modèle est en effet d'autant plus grande que son coefficient de corrélation R est proche de 1. Avec la température, le modèle (1) a une bonne précision : $R_1 = 0,92$, mais celle-ci décroît fortement si le rendement fourrager est estimé par le temps : $R_1 =$

FIGURE 1
RELATION ENTRE LA SOMME DES TEMPÉRATURES POSITIVES
ET LE RENDEMENT AU 1^{er} CYCLE
 (Prairies permanentes ou pérennes sur sols superficiels ;
 50 unités d'azote/ha en fin d'hiver)



Ceci confirme donc le choix du critère « somme de températures en base 0 » dans l'explication de la variabilité de la production fourragère de printemps.

3. Utilisation pratique du modèle

a) Prédiction des dates d'obtention de différents niveaux de rendements fourragers

On peut considérer certains seuils de rendements fourragers comme des objectifs à atteindre au cours de l'exploitation des surfaces en herbe, avec par exemple :

— 1 t M.S./ha, correspondant au rendement minimum retenu pour la mise à l'herbe des animaux ;

— 3 t M.S./ha, correspondant à un rendement possible pour la fin du 1^{er} cycle d'exploitation, avec retour des animaux sur la première parcelle pâturée en début de 1^{er} cycle ;

— 4 t M.S./ha, correspondant à un rendement maximum de pâture tardive ou à une fauche précoce en ensilage de 1^{re} coupe ;

— 5 t M.S./ha, correspondant uniquement à un rendement de fauche en ensilage de 1^{re} coupe.

Le modèle (1) donne la valeur du cumul des températures en base 0 à atteindre pour obtenir l'un de ces niveaux de rendements.

Or, la variabilité climatique inter-annuelle fait que cette somme de températures sera atteinte plus ou moins rapidement selon les années, influençant donc la pousse de l'herbe au printemps.

Pour mieux mettre en évidence cette variabilité climatique, il semble intéressant de ne plus raisonner en année moyenne, mais plutôt sur une séquence d'années. C'est pourquoi une *analyse fréquentielle*, effectuée sur 32 années, de 1950 à 1981 ⁽¹⁾, permet à la fois de situer les années les unes par rapport aux autres et d'introduire la notion de fréquence ou de *risque* qui doit être prise en compte dans le raisonnement d'un système fourrager. Les résultats figurent au tableau I.

TABLEAU I
ANALYSE FRÉQUENTIELLE DES DATES D'OBTENTION
DE DIFFÉRENTS NIVEAUX DE RENDEMENT

Pour obtenir un rendement de :	1 t M.S. /ha	3 t M.S. /ha (1)	4 t M.S. /ha (2)	5 t M.S. /ha (2)
Σθ de :	529° C	802° C	939° C	1076° C
2 années sur 10	27 mars	25 avril (29 jours)	7 mai (41 jours)	16 mai (50 jours)
5 années sur 10	6 avril	8 mai (27 jours)	13 mai (37 jours)	23 mai (47 jours)
8 années sur 10	15 avril	11 mai (26 jours)	20 mai (35 jours)	30 mai (45 jours)

(1) durée 1^{er} cycle depuis la mise à l'herbe

(2) durée 1^{er} cycle

Il apparaît donc que la mise à l'herbe des animaux peut se faire, autour du 5 avril, 5 années sur 10 et autour du 15 avril, 8 années sur 10. La date de retour sur la première parcelle pâturée, avec un rendement de fin de 1^{er} cycle de 3 t M.S./ha se situe autour du 3 mai (ou du 15 mai pour un rendement de 4 t M.S./ha), avec une fréquence de 5 années sur 10. Les durées moyennes du 1^{er} cycle seront alors respectivement de 27 (et 37) jours.

Pour atteindre un rendement de fauche ensilage de 5 t M.S./ha, il faudra attendre environ le 25 mai pour 5 années sur 10, ou le 30 mai, 8 années sur 10.

b) Prévion des niveaux de chargement possible

Le niveau de chargement à l'hectare est un critère très important de la gestion des surfaces en herbe, et en particulier du pâturage.

A partir des précédentes dates d'obtention des rendements en début et fin de 1^{er} cycle (1 t M.S./ha et 3 ou 4 t M.S./ha), on peut déduire le *chargement* possible au cours du 1^{er} cycle du printemps, exprimé en besoin de surface/animal :

$$\text{Besoin surface/animal (ares)} = \frac{1}{\text{chargement}} = \frac{\text{durée 1}^{\text{er}} \text{ cycle} \times \text{quantité de M.S. d'herbe à offrir/jour/animal}}{\text{rendement moyen du 1}^{\text{er}} \text{ cycle}}$$

Au 1^{er} cycle, la quantité d'herbe à offrir par jour à un couple mère-veau a été définie égale à 23 kg M.S., valeur qui permet au printemps une alimentation à volonté du troupeau. Les résultats obtenus figurent au tableau II.

TABLEAU II
ANALYSE FRÉQUENTIELLE DES BESOINS
EN SURFACE/ANIMAL AU 1^{er} CYCLE D'EXPLOITATION

Rendement en fin de 1 ^{er} cycle	3 t M.S. /ha		4 t M.S. /ha	
	Surface en ares par couple	Chargement (couple/ha)	Surface en ares par couple	Chargement (couple/ha)
2 années sur 10	26,5	3,8	33,1	3,0
5 années sur 10	29,9	3,3	37,1	2,7
8 années sur 10	34,0	2,9	40,9	2,4

Pour un rendement en fin de 1^{er} cycle de 3 t M.S./ha, il apparaît donc nécessaire de fournir au moins 30 ares/couple mère-veau pendant le 1^{er} cycle d'exploitation pour satisfaire les animaux 5 années sur 10 (soit un chargement possible de 3,3 couples/ha) et 34 ares pour les satisfaire 8 années sur 10 (soit un chargement possible plus faible : 2,9 couples/ha).

Pour un rendement de 4 t M.S./ha en fin de 1^{er} cycle, les surfaces nécessaires augmentent et sont respectivement de 37 et 41 ares/couple si l'on veut passer 5 ou 8 années sur 10 (le chargement possible diminue alors de 2,7 à 2,4 couples/ha).

III. RENDEMENT FOURRAGER EN ÉTÉ ET ALIMENTATION EN EAU

1. Forme générale du modèle

L'équation générale est de la forme (pour plus de détail, voir l'article de J.L. RAPHALEN et X. LE BRIS) :

$$M.S. = a \frac{E.T.R.}{E.T.M.} + b, \text{ avec :}$$

- M.S. = vitesse de croissance moyenne de l'herbe,
E.T.R. = évapotranspiration réelle,
E.T.M. = évapotranspiration maximale.

On sait de plus que $E.T.M. = K \times E.T.P.$, où E.T.P. est une donnée connue : c'est la demande en eau purement climatique que l'on peut mesurer directement ou calculer à partir des données du climat. K est un coefficient fonction de la nature du couvert végétal, qui, dans le cas des prairies, est voisin de 1.

Le terme E.T.R. est calculé à partir d'un bilan hydrique, le plus souvent décadaire, faisant intervenir les pluies, la valeur de l'évapotranspiration potentielle E.T.P. et la contribution en eau du sol, appréhendée par sa réserve utile R.U.

2. Application aux résultats de Jeu-les-Bois

Les références utilisées dans l'élaboration du modèle ne concernent que celles de prairies permanentes situées sur sols superficiels ou profonds, dont les réserves utiles ont été déterminées par des profils pédologiques (observation de la profondeur d'enracinement et de la répartition des racines, définition du type de sol).

Sur prairies permanentes, les réserves utiles estimées varient ainsi de 65 à 125 mm.

La période estivale correspond à 1 ou 2 exploitations des prairies et se termine à une date fixée au 20 octobre (date au-delà de laquelle la croissance de l'herbe devient très faible, dans les conditions de Jeu-les-Bois).

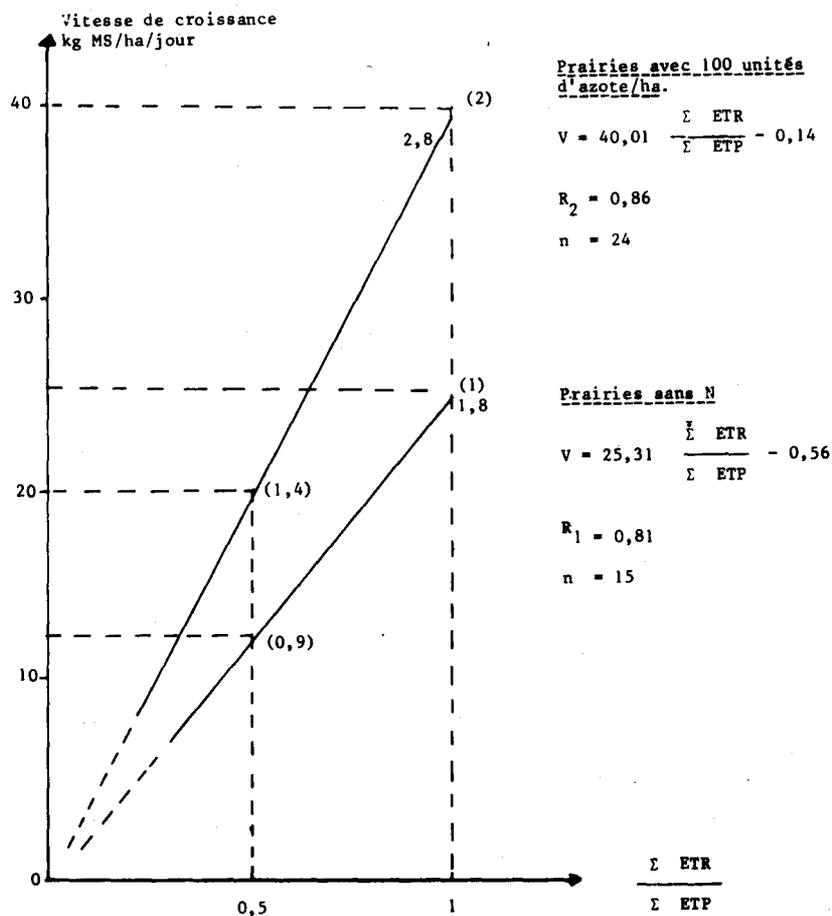
Selon que les parcelles expérimentales reçoivent ou non de l'azote au cours de la période estivale, la vitesse de croissance de l'herbe varie ; le modèle a par conséquent été élaboré pour les prairies ne recevant aucun apport d'azote pendant l'été et pour celles en recevant 100 unités/ha en 2 apports.

Les relations obtenues sont les suivantes (figure 2) :

- prairies ne recevant pas d'azote pendant l'été :

$$(2) \quad V = 25,31 \frac{\sum E.T.R.}{\sum E.T.P.} - 0,56 \quad (n = 15)$$

FIGURE 2
RELATION ENTRE L'INDICE DE SATISFACTION
DES BESOINS EN EAU PENDANT L'ÉTÉ
ET LA VITESSE DE CROISSANCE MOYENNE DE L'HERBE



où V est la vitesse de croissance de l'herbe en kg M.S./ha/jour,

et $\frac{\Sigma \text{ E.T.R.}}{\Sigma \text{ E.T.P.}}$ le degré de satisfaction des besoins en eau de la plante sur l'ensemble de la période estivale .

• prairies recevant 100 unités d'azote/ha pendant l'été :

$$(3) \quad V = 40,01 \frac{\Sigma \text{ E.T.R.}}{\Sigma \text{ E.T.P.}} - 0,14 \quad (n = 24)$$

La précision de ces modèles est bonne, puisque les coefficients de corrélation sont respectivement : $R_2 = 0,81$ et $R_3 = 0,86$.

3. Utilisation pratique du modèle pour la prévision des niveaux de chargement possibles

Afin de mieux cerner la variabilité inter-annuelle du déficit hydrique estival et de son influence sur les rendements fourragers pendant cette période, une étude fréquentielle a également été établie sur les 32 années 1950 à 1981⁽¹⁾, en prenant comme valeur moyenne de réserve utile d'un sol : 75 mm et en fixant la durée de la période estivale comme allant du 10/06 au 20/09 (soit 102 jours).

Le tableau III présente les résultats de l'étude fréquentielle. Il apparaît donc que le déficit hydrique est proche de 0,5 dans 50 % des cas, et que 8 années sur 10, il est voisin de 0,3, donc assez accentué.

TABLEAU III
ANALYSE FRÉQUENTIELLE DES VITESSES DE CROISSANCE DE L'HERBE EN ÉTÉ ET DES BESOINS EN SURFACE/ANIMAL

Niveau du Risque	Degré de satisfaction des besoins en eau ETR/EETP	Parcelles sans N			Parcelles avec 100 U d'N/ha		
		Vitesse de croissance kg MS/ha/j	Surface en ares par couple	Chargement couple/ha	Vitesse de croissance kg MS/ha/j	Surface en ares par couple	Chargement couple/ha
2 années sur 10	0,72	17,7	79,3	1,3	28,7	48,9	2,0
5 années sur 10	0,48	11,6	120,8	0,8	19,1	73,5	1,4
8 années sur 10	0,34	8,1	173,9	0,6	13,5	104,0	1,0

Plus le déficit hydrique est important, plus la vitesse de croissance de l'herbe est faible, variant du simple au double quand le niveau de fréquence passe de 80 à 20 % des cas.

La fertilisation azotée semble intervenir fortement sur la vitesse de croissance de l'herbe en été : on passe de 12 à 19 kg M.S./ha/jour 5 années sur 10 en apportant 100 unités d'azote par hectare, ce qui traduit donc une augmentation sensible du rendement fourrager.

Comme au printemps, on peut déduire les *niveaux de chargement* possibles en été, exprimés en besoins de surface/animal :

$$\text{Besoin en surface/animal} = \frac{\text{quantité d'herbe à offrir/couple/jour (kg M.S.)}}{\text{(ares) vitesse de croissance de l'herbe (kg M.S./ha/jour)}}$$

En été, la quantité de M.S. d'herbe à offrir par jour à un couple mère-veau est définie égale à 14 kg, valeur qui permet de maintenir les vaches à poids constant et d'obtenir un gain de poids vif d'un kg par jour pour les veaux.

Les résultats obtenus (tableau III) montrent ainsi que la surface nécessaire par couple mère-veau en été est respectivement de 121 et 74 ares pour les parcelles sans et avec azote, et ce, dans 50 % des cas. Cela correspond à un chargement de 0,8 ou 1,4 couples/ha.

Si l'on retient un niveau de chargement qui convienne 8 années sur 10, les surfaces/couples deviennent 174 et 104 ares sur les prairies sans et avec azote, soit 0,6 ou 1 couple/ha.

Le chargement estival varie dans une assez large proportion, à déficit hydrique constant, avec la fertilisation azotée (figure 2) :

— pour un déficit hydrique de 0,5 : le chargement estival possible sur les parcelles sans azote est de 0,9 couple/ha, alors qu'il est de 1,4 pour les parcelles avec 100 unités d'azote ;

— pour un déficit hydrique nul ($\frac{\Sigma \text{E.T.R.}}{\Sigma \text{E.T.P.}} = 1$) : le chargement estival possible est respectivement de 1,8 et 2,8 couples/ha pour les parcelles sans et avec azote, ce qui ne peut se produire qu'en conditions irriguées.

CONCLUSION

Les résultats expérimentaux obtenus dans les conditions de Jeu-les-Bois ont ainsi permis de mettre en évidence et surtout de quantifier les liaisons existant entre le rendement fourrager des prairies pâturées (permanentes ou de longue durée), au printemps et en été, et le climat (température et alimentation en eau).

A partir de telles relations, la prise en compte de la variabilité climatique inter-annuelle par le biais de l'analyse fréquentielle permet d'introduire la notion de risque dans le raisonnement des systèmes de pâturage, en particulier au niveau du chargement.

La détermination de telles relations et leur généralisation à d'autres conditions de sol et de climat devraient permettre :

— au niveau régional et à long terme, d'acquérir une meilleure connaissance des chargements possibles sur les différents types de prairies ;

— au niveau de chaque élevage, de définir les risques encourus en fonction de l'objectif de chargement souhaité par l'éleveur et de mettre en œuvre les techniques et les sécurités (stocks d'aliments, cultures mixtes...) adaptées au niveau de ce même risque de déficit fourrager.

P. PELLETIER,

I.T.C.F., Ferme Expérimentale des Bordes, Jeu-les-Bois (Indre).

LISTE DE MOTS-CLÉS

révision du chargement Centre, chargement, courbe de croissance, donnée climatique, eau du sol, fertilisation azotée, fourrage, Indre, pâturage, prairie permanente, prévision.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GILLET M. (1980) : *Les graminées Fourragères*, 306 p., Gauthier-Villars.
- GILLET M., LEMAIRE G. et GOSSE G. (1984) : « Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères », *Agronomie*, 4 (1), 75-82.
- LEMAIRE G. et SALETTE J. (1981) : « Analyse de l'influence de la température sur la croissance de printemps des graminées fourragères », C.R. Ac. Sc. Paris, t. 292, série III, 843-846.
- LEMAIRE G. et SALETTE J. (1981) : « Conséquences du rythme de croissance de l'herbe sur la conduite du pâturage au printemps. Possibilité de prévisions », *Fourrages*, 85, 23-37.
- LEMAIRE G., SALETTE J. et LAISSUS R. (1982) : « Analyse de la croissance d'une prairie naturelle normande au printemps. La production et sa variabilité », *Fourrages*, 91, 3-16.
- ROBELIN M. (1969) : « L'alimentation en eau des plantes fourragères », *Fourrages*, 38, 30-40.