

PRODUCTION DES PRAIRIES ET CLIMAT

LES RÉFÉRENCES DE PRODUCTIONS FOURRAGÈRES, PROPOSÉES AUX TECHNICIENS ET AUX ÉLEVEURS, SONT LE PLUS SOUVENT DES DONNÉES MOYENNES ISSUES d'expérimentations diverses et/ou d'observations en exploitation.

Cependant, ces valeurs moyennes masquent une très grande variabilité de la production, imputable pour une large part au climat.

La connaissance des lois liant la croissance et le développement des plantes aux paramètres du climat permettrait d'accéder à la notion de risque et de définir, par exemple, des productions permises 2, 5 ou 8 années sur 10. La conséquence en serait une meilleure gestion des surfaces fourragères : adaptation du chargement, conduite du pâturage, volume des stocks de sécurité...

Cet article a pour but de préciser quelques acquis en matière de relations entre le climat et la croissance de la prairie, concernant :

- le premier cycle de printemps,
- les repousses de printemps,
- les repousses estivales et automnales.

LE PREMIER CYCLE DE PRINTEMPS

Cas des graminées pérennes

LEMAIRE et SALETTE (I.N.R.A. Lusignan - Angers 1981) ont montré qu'en l'absence de facteurs nutritionnels limitants (en particulier l'azote et l'eau) il était possible d'établir des relations stables entre la croissance et la température :

$$Y = a (\Sigma \theta - b) \quad (1)$$

Y : matière sèche produite (en kg/ha),

a : vitesse de croissance potentielle (kg M.S./ha/degré × jour),

$\Sigma \theta$: cumul des températures moyennes en base 0 °C,

b : cumul des températures au départ apparent de la végétation.

— Les valeurs de a sont relativement stables : 10 à 12 kg M.S./ha/degé × jour.

— Les valeurs de b dépendent bien sûr de l'origine choisie pour le cumul des températures :

— en zone à hiver rigoureux, les meilleurs ajustements sont obtenus avec des cumuls de températures à partir de début janvier - début février ;

— en zone à hiver doux, LEMAIRE et SALETTE obtiennent les meilleurs résultats avec des cumuls depuis la dernière exploitation de l'automne précédent (réalisée vers le 25-30 octobre). Mais ces mêmes auteurs constatent que le fait de retarder cette dernière coupe n'entraîne qu'un retard nettement plus faible du départ apparent en végétation, les décalages de coupe et de départ en végétation étant exprimés en somme de températures.

Les figures 1 et 2 illustrent des résultats observés par l'I.T.C.F. dans

FIGURE 1
ÉVOLUTION DU RENDEMENT AU 1^{er} CYCLE
DE LA FÊTUQUE ÉLEVÉE CLARINE EN FONCTION
DE LA DATE ET DES TEMPÉRATURES CUMULÉES
(du début de la croissance jusqu'au début épiaison ; I.T.C.F. 1978-1982)

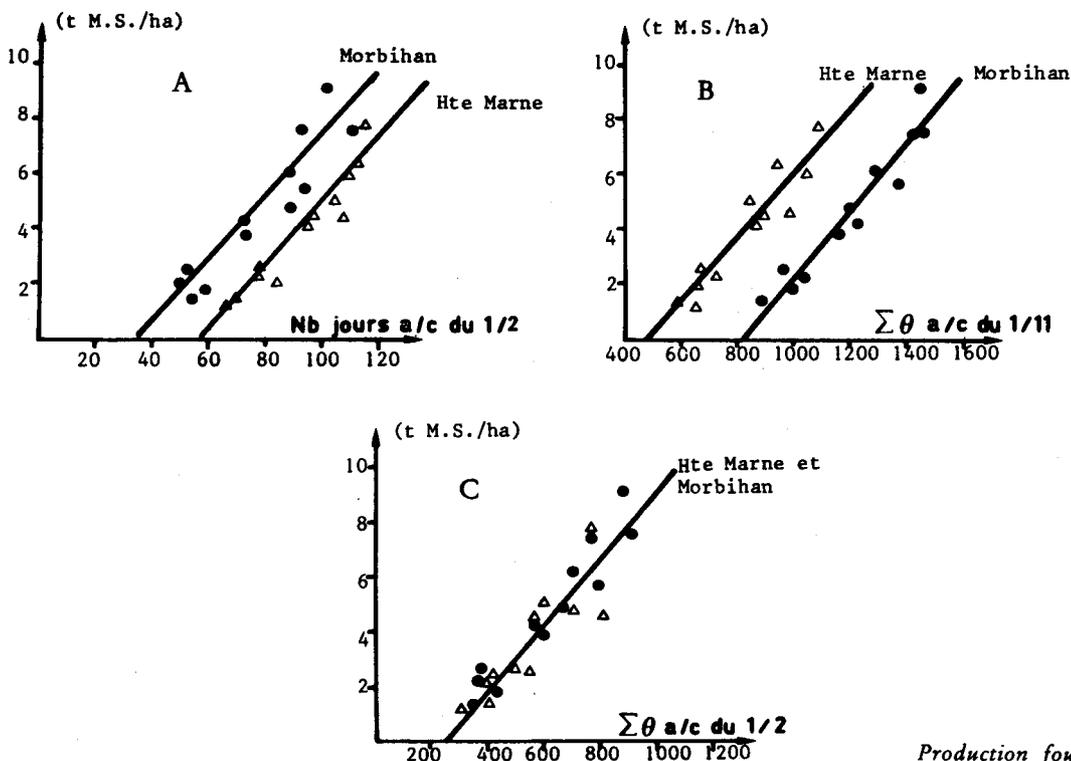
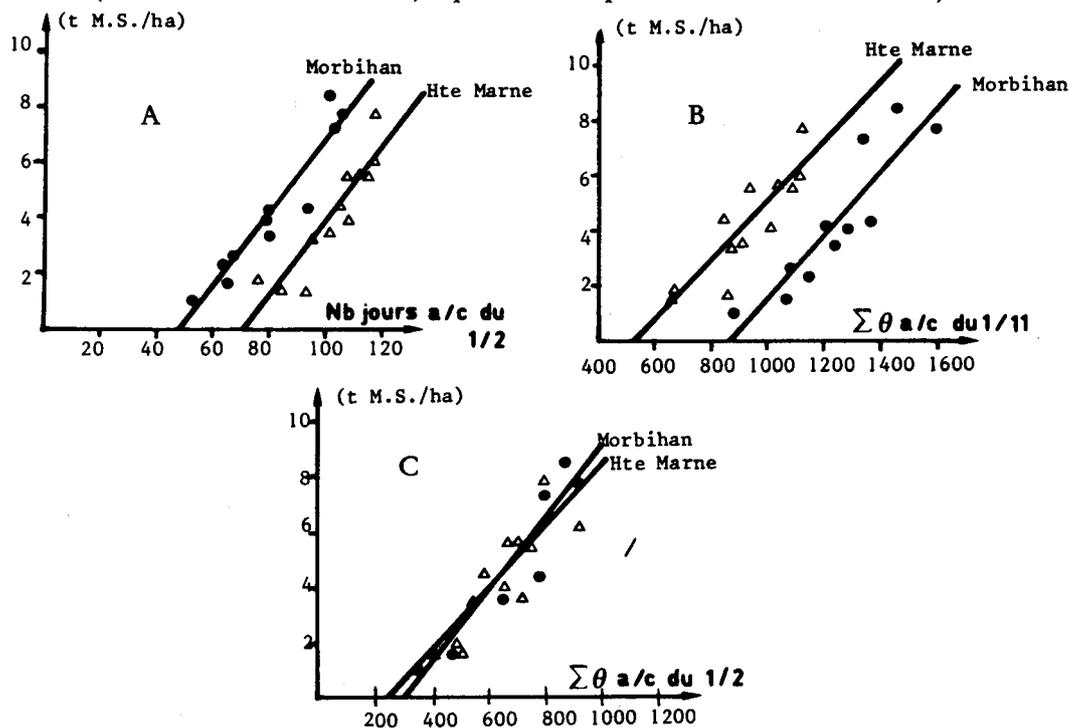


FIGURE 2
ÉVOLUTION DU RENDEMENT AU 1^{er} CYCLE
DU DACTYLE LUCIFER EN FONCTION DE LA DATE
ET DES TEMPÉRATURES CUMULÉES
 (du début de la croissance jusqu'au début épiaison ; I.T.C.F. 1978-1982)



l'Ouest (Morbihan) et l'Est (Haute-Marne) sur fétuque et dactyle. Les valeurs de a, b et des coefficients de corrélation, selon l'origine du cumul des températures, sont reportés dans le tableau I.

TABLEAU I
COEFFICIENTS DES RÉGRESSIONS ENTRE RENDEMENT
ET SOMMES DE TEMPÉRATURES

ORIGINE CUMUL θ		a		b		Coeff. Corrélation			Nbre de données
		1/11	1/2	1/11	1/2	1/11	1/2	Dernière coupe	
FETUQUE	MORBIHAN	12,2	12,0	816	225	0,95	0,95	0,81	12
	Hte MARNE	11,7	11,7	489	221	0,94	0,88	-	12
	ENSEMBLE	-	11,9	-	225	-	0,92	-	24
DACTYLE	MORBIHAN	11,4	12,8	868	320	0,93	0,93	0,75	11
	Hte MARNE	10,8	11,3	525	276	0,86	0,84	-	12
	ENSEMBLE	-	11,4	-	288	-	0,88	-	23

Dans chacun des lieux pris isolément, l'origine du cumul au 1/11 ou au 1/2 a peu d'effet sur la qualité des relations. Par contre, dans le cas du Morbihan (voir le tableau I), le cumul à partir de la dernière coupe d'automne entraîne une diminution nette des coefficients de corrélation (dernières coupes d'automne réalisées entre le 26/10 et le 26/11). Les écarts de précocité du départ en végétation entre les deux lieux sont de l'ordre de 3 semaines (figures 1A et 2A). Le cumul des températures depuis le 1/11, loin d'expliquer ces écarts, les accentue en les inversant (figures 1B et 2B). Par contre, si l'on prend pour origine le 1/2, il est possible de confondre les deux lieux en une même relation (figures 1C et 2C). Les écarts types résiduels restent cependant importants.

En conclusion, le modèle linéaire exprimé par la relation (1) permet d'expliquer des écarts importants entre régions et/ou années climatiquement très différentes, les cumuls de températures étant réalisés à partir de la fin de l'hiver (du 1/1 au 1/2). Cependant, les conditions de l'automne et de la première partie de l'hiver, la date de la dernière exploitation d'automne ne sont pas sans conséquences sur le départ en croissance au printemps suivant, en particulier dans les régions à hiver doux, mais certains points demandent à être précisés concernant :

- le report sur pied de la croissance acquise en début et en cours d'hiver (bilan croissance-sénescence) ;
- l'effet de l'importance du couvert végétal présent en début d'hiver sur l'évolution du tallage et le comportement au froid ;
- les phénomènes d'« induction à la croissance » : l'efficacité de la température sur la croissance des parties aériennes est nettement augmentée à la suite de l'induction florale ou même simplement après vernalisation (T.J. BEHAGHE, 1978 ; A.J. PARSONS et J. ROBSON, 1980), ce qui donnerait « un poids » très différent à la température, selon qu'il s'agit de l'automne-début hiver ou de la fin de l'hiver et du printemps.

Cas du ray-grass d'Italie après un semis d'automne

Pour des semis de fin septembre-début octobre, la relation suivante a été établie (I.T.C.F., 1978-1980, Bretagne-Normandie) concernant la production au printemps suivant (en kg M.S./ha) :

$$M.S. = 10,7 (\Sigma \theta - 1183), (r = 0,96) \quad (2)$$

dans laquelle $\Sigma \theta$ est la somme des températures en base 0 °C, cumulées depuis le semis et le terme $b = 1183$ représente la somme des températures du semis au départ apparent de la végétation.

En fait, des observations ultérieures (I.T.C.F., E.D.E., Pays de Loire, 1979-1982) ont montré que la valeur de b était elle-même dépendante de la date de semis et/ou des conditions de l'hiver :

$$b = 0,52 \Sigma \theta' + 733, (r = 0,80) \quad (3)$$

22 avec pour $\Sigma \theta'$ la somme des températures du semis au 31/12.

Ainsi, un retard au semis de 100° entraîne un retard du départ apparent de la végétation de 48°. La relation (3) est applicable lorsque la somme des températures cumulées du semis au 31/12 devient inférieure à 900 - 1000°.

LES REPOUSES DE PRINTEMPS

L'analyse de la croissance des repousses de printemps en fonction du climat se complique du fait de l'évolution de la morphologie de ces repousses. Entre le début et la fin du printemps, les repousses de la prairie passent par divers états :

- état strictement feuillu, après une exploitation très précoce du 1^{er} cycle ; la prairie est surtout constituée de talles nées avant l'hiver ;
- présence de talles feuillues et de talles en cours de montaison, en proportions évolutives ;
- présence en fin de printemps de talles essentiellement feuillues nées après la fin de l'hiver ou au cours du printemps.

Le potentiel de croissance des repousses et leur réponse aux facteurs climatiques sont très dépendants de l'évolution de cette structure de la prairie. De plus, ce potentiel dépend de l'importance du couvert ou de son état (verse) lors de l'exploitation précédente.

LA PRODUCTION ESTIVALE ET D'ARRIÈRE-SAISON

Mis à part les espèces « remontantes » (ray-grass d'Italie, certains bromes...), l'herbe d'été est essentiellement feuillue. Elle est issue de talles nées après la fin de l'hiver, dont le potentiel de croissance est très inférieur à celui du premier cycle de printemps.

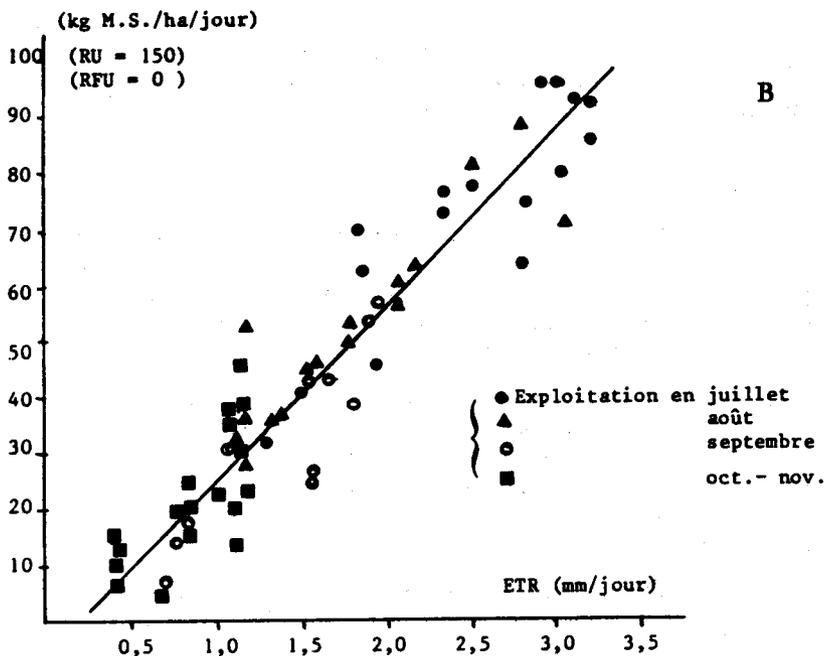
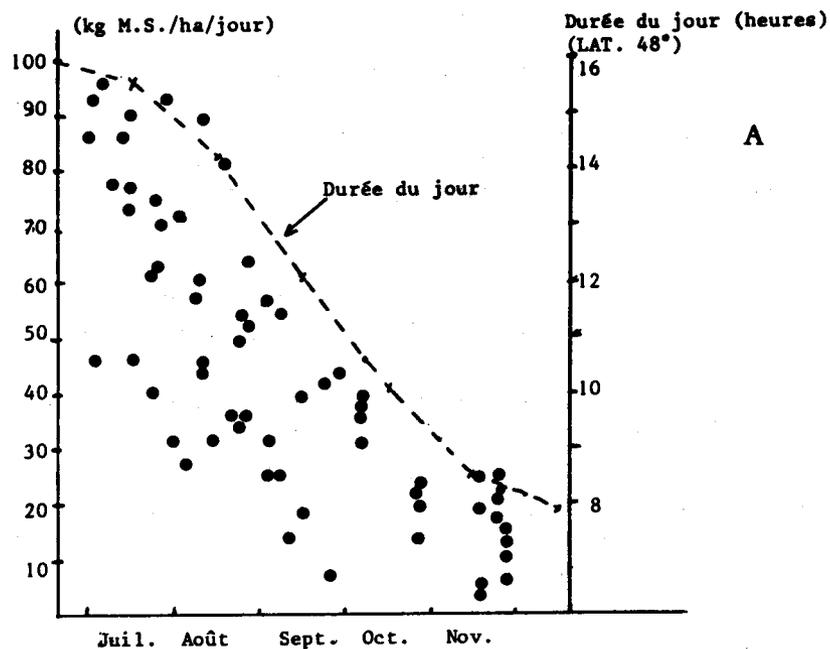
Globalement sur la période estivale, le facteur limitant prépondérant est l'alimentation en eau.

Un deuxième facteur limitant peut être constitué par les températures excessives : au-delà de 25 °C le ray-grass anglais voit sa croissance nettement ralentie, alors que le dactyle et la fétuque supportent un seuil plus élevé (30 °C). Cet effet des températures extrêmes est à rapprocher de celui d'une demande climatique trop élevée.

Par ailleurs, même en l'absence de ces deux facteurs limitants, la production potentielle de la prairie décroît régulièrement depuis la fin du printemps jusqu'à l'arrêt hivernal de la croissance. Cette évolution saisonnière est liée à la décroissance de l'énergie incidente, en relation avec la durée du jour (figure 3A). A ce facteur s'ajoutent les faibles températures pour la période automnale.

En cas d'alimentation en eau limitante, la sécheresse se manifeste directement sur la repousse en cours, mais peut aussi avoir un arrière-effet sur les repousses suivantes.

FIGURE 3
CROISSANCE DES REPOUSSES DU DACTYLE LUCIFER
EN FONCTION DE LA DATE D'EXPLOITATION ET DE L'E.T.R.
 (Bignan, Morbihan ; 1979-1982)



La figure 3 (I.T.C.F., Morbihan, 1979 - 1982) met en évidence l'extrême variabilité de la production estivale et automnale, observée pendant 4 années consécutives, sur des repousses d'un dactyle (*Lucifer*) recevant 60 unités d'azote à chaque exploitation (temps de repousse : 4 semaines).

ROBELIN (1962) a montré l'existence d'une relation linéaire de proportionnalité stricte entre la production globale (P) et la transpiration (E) de la plante : $P = k \times E$. A l'échelle du couvert végétal, il n'est pas possible de dissocier la transpiration de la plante et la quantité d'eau globalement perdue par l'ensemble sol-plante, c'est-à-dire l'évapotranspiration. Les relations entre la production (Y) et l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) sont alors de la forme : $Y = a + b \times E.T.R.$, dans laquelle a est généralement négatif et la valeur $-\frac{b}{a}$ serait liée à la quantité d'eau perdue directement par le sol. La production est maximum pour $E.T.R. = E.T.M.$ (évapotranspiration maximale).

En conditions expérimentales, E.T.R. peut être déterminée par des moyens complexes (humidimètres à neutrons, tensiomètres...). Au niveau de la parcelle agricole, on ne peut que faire une estimation de l'E.T.R.

Les termes essentiels du bilan hydrique sont :

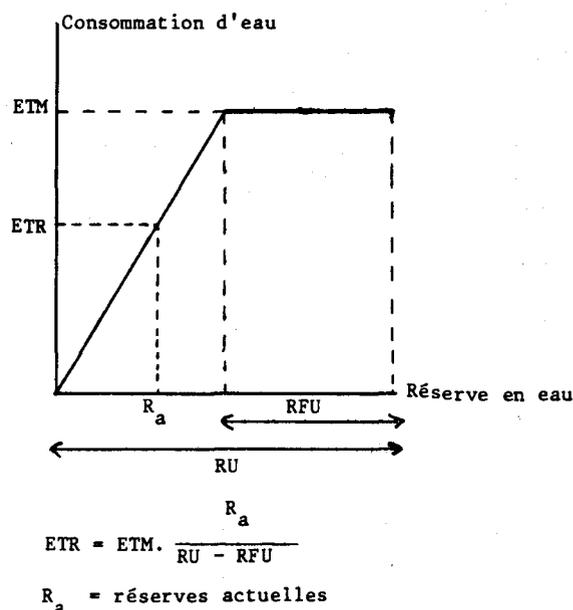
- la pluie (et éventuellement l'irrigation),
- l'E.T.M. ($E.T.M. = K \times E.T.P.$, avec $K = 1$ pour les prairies),
- la contribution en eau du sol.

Les données concernant le climat sont facilement accessibles. La contribution en eau du sol est par contre beaucoup plus difficile à évaluer. HALLAIRE (1963) propose un modèle de consommation d'eau par la plante en fonction des réserves hydriques du sol en faisant appel aux notions de R.U. (réserve utilisable) et de R.F.U. (réserve facilement utilisable) : dans les limites de la R.F.U., la consommation d'eau est égale à l'E.T.M. ; en dessous, la consommation d'eau (E.T.R.) est proportionnelle à la quantité d'eau restant dans le sol (figure 4).

La valeur de R.U. dépend des caractéristiques physiques du sol, mais aussi de la profondeur d'enracinement, de la répartition des racines et de leur capacité à extraire l'eau du sol. La R.F.U. est une fraction de la R.U., variable selon les types de sol, mais dépendante également de la demande climatique.

Nous avons appliqué ce modèle de consommation d'eau dans la situation présentée sur la figure 3A (*Dactyle Lucifer*, Bignan, 1979-1982). Les valeurs de E.T.R. (exprimées en mm/jour, pour chaque repousse) ont été établies à partir de données climatiques décennales. Nous avons testé plusieurs hypothèses de R.U. et de R.F.U. Les combinaisons (R.U. = 150 ; R.F.U. = 0) et (R.U. = 150 ; R.F.U. = 50) sont celles qui maximisent le coefficient de corrélation entre la croissance par jour et l'E.T.R./jour (les caractéristiques physiques du sol et les observations sur l'enracinement ont conduit à estimer la R.U. de 150 à 200 mm).

FIGURE 4
MODÈLE DE CONSOMMATION D'EAU
(d'après HALLAIRE)



La comparaison des figures 3A et 3B montre que l'application du modèle permet d'expliquer une très large part de la variabilité observée ($r^2 = 0,89$), pour toutes les exploitations réalisées entre le 1/7 et le 30/11 (les repousses de printemps - avant le 1/7 - n'ont pas été prises en compte).

La même démarche a été appliquée à d'autres situations. Les résultats figurent au tableau II. Ils font apparaître des efficacités de l'eau consommée plutôt élevées : 24 à 27 kg de M.S. par mm d'E.T.R. au niveau de

TABLEAU II
RELATION ENTRE LA CROISSANCE ET L'E.T.R.
(Bignan, Morbihan ; Chaumont, Haute-Marne ;
Manoncourt, Meurthe-et-Moselle)
(Y (en kg M.S./ha/jour) = a + b.E.T.R.)

LIEU	ESPECE-VARIETE	PERIODE	RU - RFU	a	b	r	n
BIGNAN	Dactyle LUCIFER	1/7au30/11	150-50	- 3,31	28,2	0,94	64
"	Fétuque CLARINE	"	150- 0	- 1,03	26,1	0,89	63
"	RGA HORA	"	150- 0	- 6,05	26,7	0,87	62
"	RGI TETONE(18 mois)(1)	"	150- 0	-17,77	24,9	0,88	52
CHAUMONT	Dactyle PRAIRIAL	"	60- 0	- 9,37	29,2	0,86	57
MANONCOURT	Prairie naturelle	Toutes Les repousses	150-90	-11,57	28,8	0,87	51

3 mm d'E.T.R./jour (les chiffres les plus souvent cités sont de l'ordre de 20 à 25 kg de M.S. par mm d'E.T.R.).

On note également que pour la prairie cultivée (à l'inverse de la prairie permanente) les meilleurs ajustements correspondent à des valeurs faibles ou nulles de la R.F.U.

Ces exemples montrent que la prise en compte du seul facteur « alimentation en eau » permet d'expliquer 74 à 89 % de la variabilité de la production estivale et automnale, dans des situations de températures et d'E.T.P. maxima peu élevées.

Lorsqu'une telle démarche se limite à la période estivale, des relations très satisfaisantes peuvent également être établies entre la production et l'indice de recouvrement des besoins en eau défini par $\frac{E.T.R.}{E.T.M.}$ (voir les

articles de P. PELLETIER et B. GAILLARD dans ce même numéro), mais ce critère ne permet pas de tenir compte de l'évolution saisonnière du potentiel de production.

Cependant des problèmes importants restent à résoudre au niveau de la détermination de la contribution en eau du sol : caractéristiques hydriques des sols, enracinement des cultures, modèle de consommation d'eau par la plante...

CONCLUSION

Si de nombreux travaux restent à faire pour mettre au point des modèles performants de production fourragère en fonction du climat, les démarches qui viennent d'être présentées permettent néanmoins de mieux valoriser des résultats expérimentaux. Des exemples sont présentés dans les articles suivants de P. PELLETIER et B. GAILLARD.

J.L. RAPHALEN et X. LE BRIS,
I.T.C.F.

LISTE DE MOTS-CLÉS

Courbe de croissance, dactyle, *Dactylis glomerata*, donnée climatique, eau du sol. *Festuca arundinacea*, fétuque élevée, fourrage, gramineae, *Lolium multiflorum*, modélisation, ray-grass d'Italie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEHAEGHE T.J. (1978) : « The seasonal discrepancies between potential and actual grass growth, and essay of explanation by eco-physiological constraints », *Proc. 7th Gen. Meeting Europ. Grassl. Fed.*, Gent 2 (1-20).
- GAILLARD B. et LE BRIS X. (1984) : « Influence de quelques facteurs climatiques sur la croissance de l'herbe des prairies du Nord-Est de la France », *recueil des communications du Forum des Fourrages de l'Est* (p. 20-47).
- GILLET M. (1980) : *Les graminées fourragères*, Paris, Gauthier - Villars, 1 vol., 306 pages.
- GILLET M., LEMAIRE F. et GOSSE G. (1984) : « Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères », *Agronomie*, 1984, 4 (1), p. 75-82.
- LEMAIRE G. (1983) : « Herbe. Exploitation d'automne et conséquences au printemps », *Cultivar* n° 164, p. 131-133.
- LEMAIRE G. (1984) : *Informations orales*, Journée I.N.R.A. Angers 15 mai 1984.
- LEMAIRE G. et SALETTE (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, p. 843-846.
- PARSONS A.J. et ROBSON M.J. (1980) : « Seasonal changes in the physiology of S24 perennial ryegrass. 1 : response of leaf extension to temperature during the transition from vegetative to reproductive growth », *Ann. Bot.*, 46, p. 435-444.
- RAPHALEN J.L. (1981) : « Production du ray-grass d'Italie semé en automne, au cours du premier cycle du printemps suivant », *Fourrages* n° 85, p. 53-58.
- ROBELIN M. (1969) : « L'alimentation en eau des plantes fourragères », *Fourrages*, n° 38, p. 31-40.
- ROBELIN M., MORIZET J. et BAUCHER G. (1984) : « Résultats de 18 années d'observations lysimétriques sous climat limagnais - II. Étude des relations entre l'eau et la production végétale », *Agronomie*, 4 (5), p. 407-416.