

*L'ACTION DES FACTEURS CLIMATIQUES  
SUR LA CROISSANCE DE L'HERBE  
EXEMPLE D'UNE PRAIRIE A AGROSTIS TENUIS  
ET POA PRATENSIS DES MONTS D'Auvergne*

**D**ANS UN ESSAI CONDUIT DE 1973 À 1979 PAR L'ÉQUIPE I.N.R.A. DU DOMAINE DE MARCENAT (CANTAL), LA CROISSANCE DE L'HERBE A ÉTÉ SUIVIE SUR DES périodes de six semaines entre deux coupes, sur trois séries de parcelles différant seulement par la date de la coupe initiale : 14 mai, 28 mai et 11 juin.

Toutes les deux semaines, du 25 juin au 15 octobre, il était ainsi possible de disposer d'une référence de production obtenue après six semaines de repousse (le dispositif ne permet pas d'analyser la phase de transition de l'hiver au printemps, précédant le 15 mai).

Une fertilisation azotée élevée, 360 N, et une fumure de fond : 100 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 480 K<sub>2</sub>O permettaient d'écarter toute insuffisance de la nutrition minérale.

L'analyse des relations entre Matière Sèche récoltée et paramètres climatiques en régression linéaire multiple (1) a conduit à distinguer deux catégories de facteurs :

---

(1) Publication en préparation : F. de MONTARD, W. MACKIEWICZ, J. LOUYOT... (1981). Réalisation technique : E. ALBARET, A. MANE.

- des paramètres caractérisant la période de croissance de six semaines considérée : rayonnement global incident, déficit hydrique relatif et température moyenne ; ce sont les facteurs de base de la croissance végétative de l'herbe ;
- des paramètres caractérisant la part de la croissance liée au développement floral printanier des plantes prairiales (composition botanique en annexe) ; ces paramètres sont définis sur une longue période : entre l'équinoxe d'automne et la récolte considérée.

### 1) Les facteurs de base de la croissance végétative

La croissance, mesurée sur six semaines entre deux coupes, est assez médiocrement liée, en première analyse, au rayonnement global incident. Pourtant, ce paramètre caractérise l'énergie disponible pour la photosynthèse ; mais, précisément, cette énergie a le plus souvent deux effets secondaires qui diminuent la photosynthèse nette : primo, l'apparition d'un déficit hydrique qui ralentit les échanges gazeux et freine la photosynthèse, secundo, l'augmentation de la température qui entraîne l'accroissement des pertes respiratoires.

L'analyse en régression multiple, effectuée sur soixante-cinq périodes de six semaines de 1973 à 1979, donne les résultats suivants :

$$\text{M.S.} = 1.385 + 6,78 \text{ Rg} - 390 \Theta - 18,2 \text{ DHa} - 9,0 \text{ DHp}$$

$$r^2 = 0,698 : \text{très hautement significatif.} \quad n = 65$$

- où M.S. = matière sèche récoltée, en kg par hectare  
 $\Theta$  = température, en degrés centigrades, de la période considérée  
 Rg = total du rayonnement global incident de la période de croissance (42 jours) en MJ/m<sup>2</sup>

DHa = déficit hydrique relatif de la période considérée  $\frac{\text{ETP} - \text{ETR}}{\text{ETP}}$   
 (= déficit hydrique actuel), en %

DHp = déficit hydrique relatif de la période précédente (période de six semaines), en %

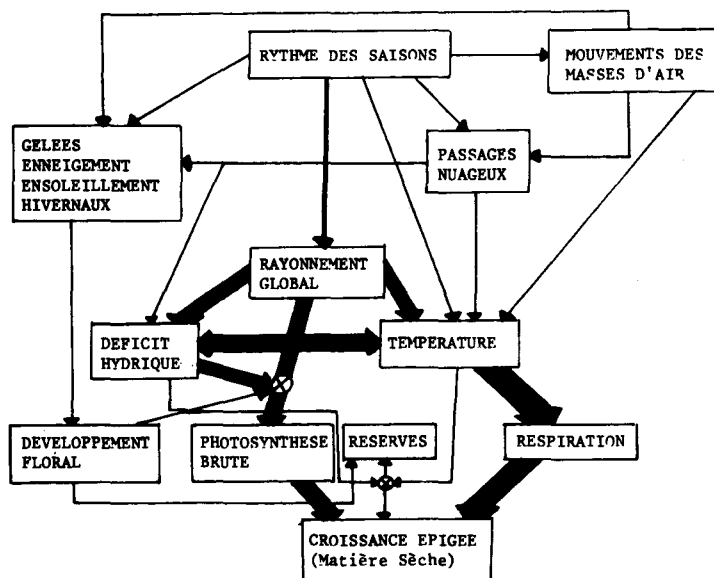
Des résultats analogues ont été obtenus sur ray-grass Réveille à Orcival (Puy-de-Dôme), à 1.000 m d'altitude, sur la façade nord-ouest des Monts Dore, la plus arrosée (J. DEJOU et F. de MONTARD, 1981) ; d'autres, convergents, sont en cours d'acquisition sur les pelouses sèches du Larzac (A. LANGLET et F. de MONTARD). Ce type de présentation de l'action des facteurs climatiques sur la croissance paraît donc facilement généralisable.

Il faut toutefois attirer l'attention sur les corrélations entre les facteurs de la croissance végétative : chaque grande région, chaque zone d'altitude, plaine, moyenne montagne ou haute montagne, présente une « configuration climatique » particulière qui risque de biaiser les termes de l'équation de régression multiple par le fait même de l'existence de liaisons entre les variables explicatives. Des corrélations hautement significatives existent en moyenne montagne du Massif Central entre le rayonnement global, le déficit hydrique actuel et la température ; par contre, le déficit hydrique de la période immédiatement antérieure est un facteur indépendant (cf. tableau I).

**TABLEAU I**  
CORRÉLATIONS ENTRE VARIABLES CLIMATIQUES  
EXPLICATIVES DE LA « CROISSANCE VÉGÉTATIVE »

	$\theta$	Rg	DHa	DHg
Rg	0,68 <sup>xx</sup>	1,00		
DHa	0,61 <sup>xx</sup>	0,68 <sup>xx</sup>	1,00	
DHp	0,12	- 0,24	0,08	1,00

**FIGURE 1**  
**MODE D'ACTION DES FACTEURS CLIMATIQUES**  
**« VÉGÉTATIFS »**  
**(aspects principaux)**



Ces liaisons peuvent s'expliquer par le « fonctionnement » du climat, mais les actions sur les processus physiologiques de base (figure 1) peuvent être rapportées à un facteur dominant ou à un seul de ses effets; pour cette raison, nous avons écarté les résultats de croissance de la courte période de transition hiver-printemps durant laquelle la température est si limitante qu'elle masque les facteurs de la photosynthèse et de la respiration (dans notre dispositif expérimental, les premiers contrôles concernent la période du 14 mai au 25 juin, alors que la croissance débute réellement entre le 20 avril et le 10 mai selon l'année).

**TABLEAU II**  
**POIDS DES FACTEURS CLIMATIQUES ET LEUR HIÉRARCHISATION**  
**VIS-A-VIS DE LA MATIÈRE SÈCHE PRODUITE**

	CONSTANTE	COEFFICIENT REGIONAL	ECART-TYPE DU FACTEUR	ECART MOYEN APPARENT LIÉ AU FACTEUR (Kg/ha)	% DE L'ECART-TYPE MS	RANG DU FACTEUR
MS en Kg/ha	1 384	1	1 080		100	
Température		- 390	1,90	741	69	2
Rg ( $\Sigma$ MJ de 42 jours)		6,78	146,70	997	92	1
Déficit hydrique actuel		- 1 817	0,242	440	41	3
Déficit hydrique précoce		- 905	0,263	238	22	4
Autres facteurs (résidu)				593	55	

Le signe et la valeur absolue des coefficients de l'équation de régression indiquent l'effet dominant de chaque facteur climatique compte tenu des autres. Dans ce contexte :

- le rayonnement global Rg prend la signification de facteur dominant de la photosynthèse brute ; ses effets secondaires sur la respiration et l'alimentation en eau sont exprimés directement par les termes du déficit hydrique et la température ;
- la température  $\theta$  ne garde plus que la signification de régulateur des pertes respiratoires, la photosynthèse étant extrêmement liée au rayonnement global Rg ;
- le déficit hydrique DH joue un rôle de frein sur la photosynthèse ;
- la température et le déficit hydrique agissent directement sur les réserves mais leur importance est en principe surtout sensible en début de repousse. D'autres facteurs agissent très vigoureusement sur la mobilisation des réserves au printemps et sur la « croissance liée au développement floral ».

Le poids relatif des facteurs peut être apprécié en considérant l'écart moyen lié à un facteur, produit de l'écart-type du facteur par son coefficient de régression (tableau II).

Ce tableau fait ressortir que l'influence d'un facteur peut être très importante d'après l'équation de régression, mais qu'elle est dans le même temps contrebalancée par celles des autres facteurs qui sont liés au premier. Ce tableau est commode pour établir la hiérarchie des facteurs ; mais cette notion même doit être aussitôt tempérée par le fait que les trois premiers facteurs sont liés entre eux.

Sous ce climat, en période de croissance active, au-delà d'un seuil de température moyenne de 6 à 7 °C, le premier facteur de la croissance est le rayonnement global, ensuite interviennent la température par son action sur l'activité respiratoire, puis le déficit hydrique actuel et enfin le déficit de la période antérieure.

Le poids attribué à chaque facteur dépend à la fois du type de climat et des écotypes concernés.

## **2) La croissance liée au développement floral printanier**

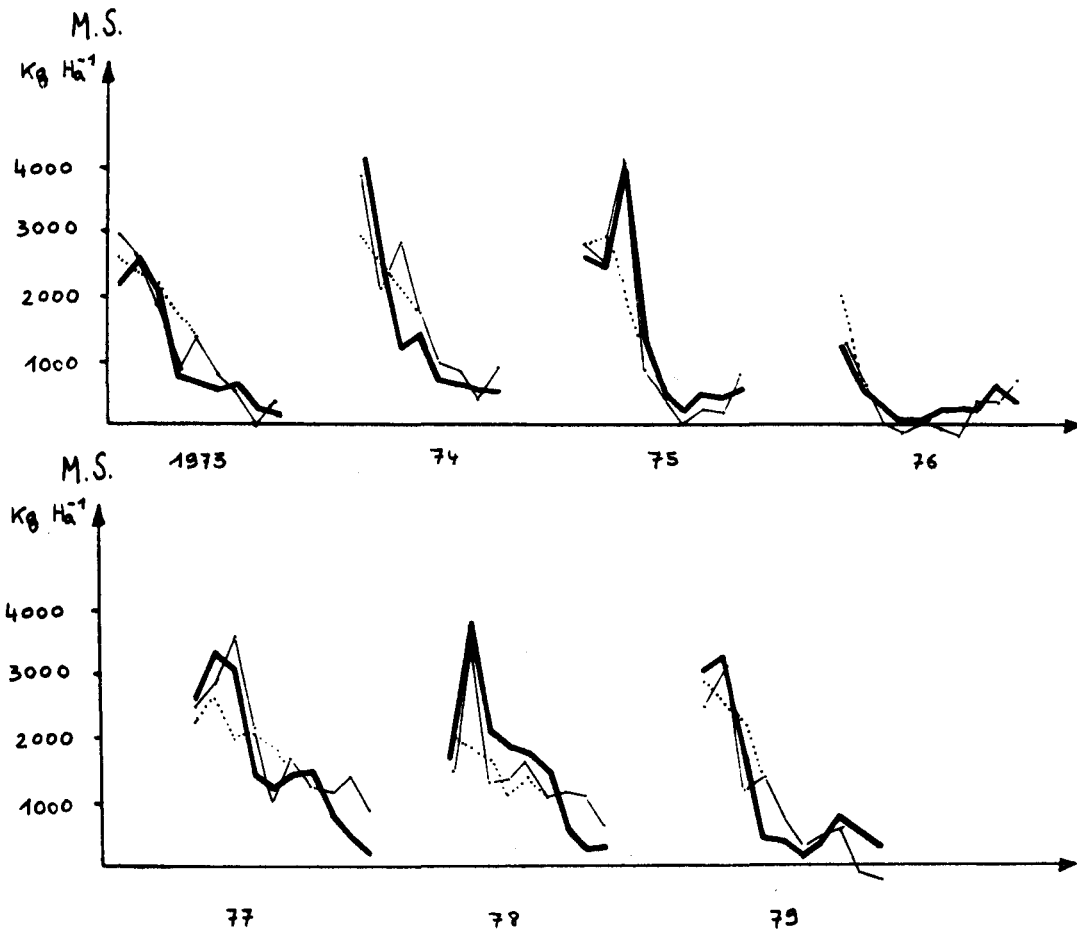
La comparaison des valeurs mesurées et calculées (figure 2) permet de mettre en évidence des excédents et des déficits de production très importants (jusqu'à 2,0 t de M.S. en excédent et 1,0 t de M.S. en déficit) par rapport au modèle de croissance de base, particulièrement dans la première partie de la saison de végétation, avant le 20 août.

Ces pics et ces creux sont à mettre en rapport avec la réalisation plus ou moins complète, selon les dates des coupes initiale et finale de la période considérée, du développement floral et du retentissement sur la période suivante de la crise du tallage qui intervient à certains moments de cette phase de développement (GILLET, 1980). Vingt-six périodes sur les soixante-cinq observées sont concernées par ces processus.

On constate en effet que la répartition des excédents et déficits de production est systématique dans le temps, selon une loi sinusoïdale très amortie (figure 3).

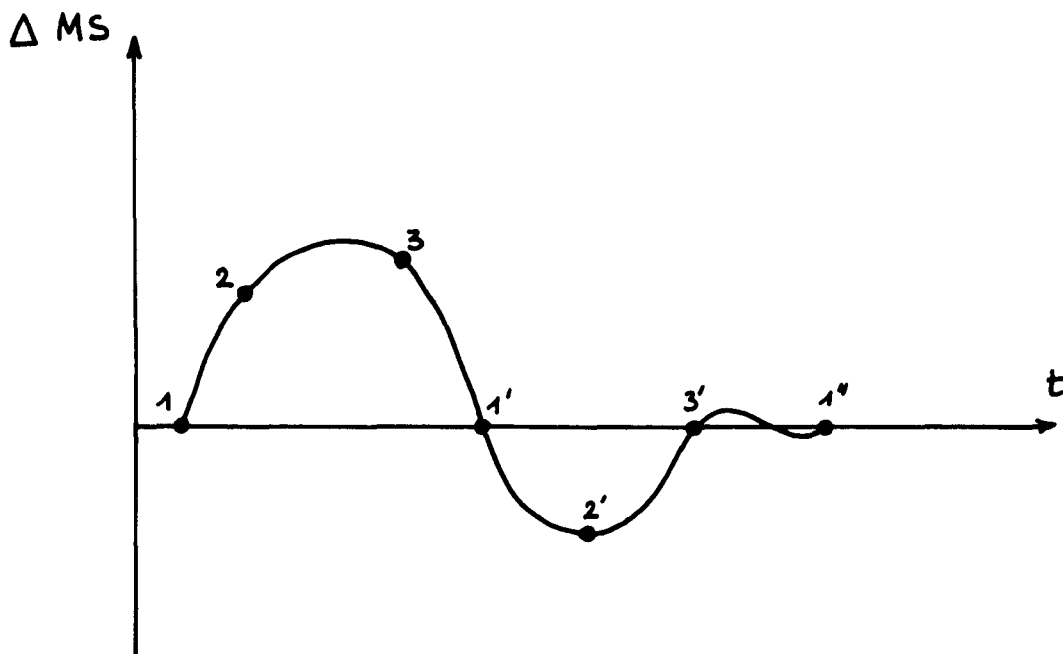
Ces fluctuations ne se produisent ni à la même date, ni au même rythme, ni avec la même intensité d'une année à l'autre ! Parfois, les excédents ne se manifestent pas (1976) ou sont très retardés (jusqu'au début août en 1978).

FIGURE 2  
CROISSANCE DE L'HERBE A MARCENAT  
(Cantal, altitude 1.100 m)



- Production mesurée  
(périodes de 42 jours, les points sont espacés de 14 jours).
- ..... Production ajustée aux paramètres végétatifs
- Production ajustée à l'ensemble des paramètres

**FIGURE 3**  
**SCHÉMA DES FLUCTUATIONS**  
**DE LA PRODUCTION DE MATIÈRE SÈCHE**  
**LIÉES AU DÉVELOPPEMENT FLORAL**



- 1 Croissance végétative de début de saison.
- 2 et 3 Excédents liés au développement floral.
- 1' Compensation entre croissance liée au développement et déficit de tallage.
- 2' Plein effet du déficit de tallage.
- 3' et 1'' Retour au stade végétatif.

1, 2 et 3 : Points concernant les parcelles 1, 2 et 3 dont les coupes sont décalées de deux semaines.



Après de longs tâtonnements, nous avons mis en évidence le meilleur paramètre climatique permettant d'étalonner la durée et de recenser les différentes courbes annuelles sur un pas commun (figure 4) : il s'agit du *total d'heures d'ensoleillement direct* (sans neige) compté depuis l'équinoxe d'automne jusqu'au 42<sup>e</sup> jour précédant le début de la période de croissance : l'ensemble des pics de croissance correspond environ à la plage 550 à 600 heures d'ensoleillement hivernal.

Le retour à l'état végétatif (phase 2) est marqué par des fluctuations aléatoires inexplicables ; de ce fait, on a simplifié la représentation du déroulement des phases a, b, c, et d par l'ajustement à un segment de parabole :

$$\text{Dif M.S.} = -23\,840 + 84,0 \text{ Sh} - 72,0 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Sh}^2$$

$$r^2 = 0,460 : \text{hautement significatif} \quad n = 26$$

où Dif M.S. = M.S. mesurée — M.S. calculée d'après le modèle de croissance végétative (en kg par hectare)

Sh = Somme des heures d'ensoleillement

Ainsi, quarante-deux jours avant la période, on a une assez bonne information sur l'occurrence d'un excédent ou d'un déficit avec une précision médiocre sur l'intensité du phénomène. En effet, si cette représentation permet d'expliquer 46 % de la variance de ces écarts, elle rend très mal compte de certains pics exceptionnels ; ces pics se produisent systématiquement une fois par an (sauf en 1976) et correspondent très vraisemblablement au cas où la plupart des apex floraux ont été épargnés, à un stade très précoce, lors de la coupe initiale de la période considérée.

*La période à laquelle se produisent ces pics exceptionnels* est parfaitement déterminée par trois facteurs :

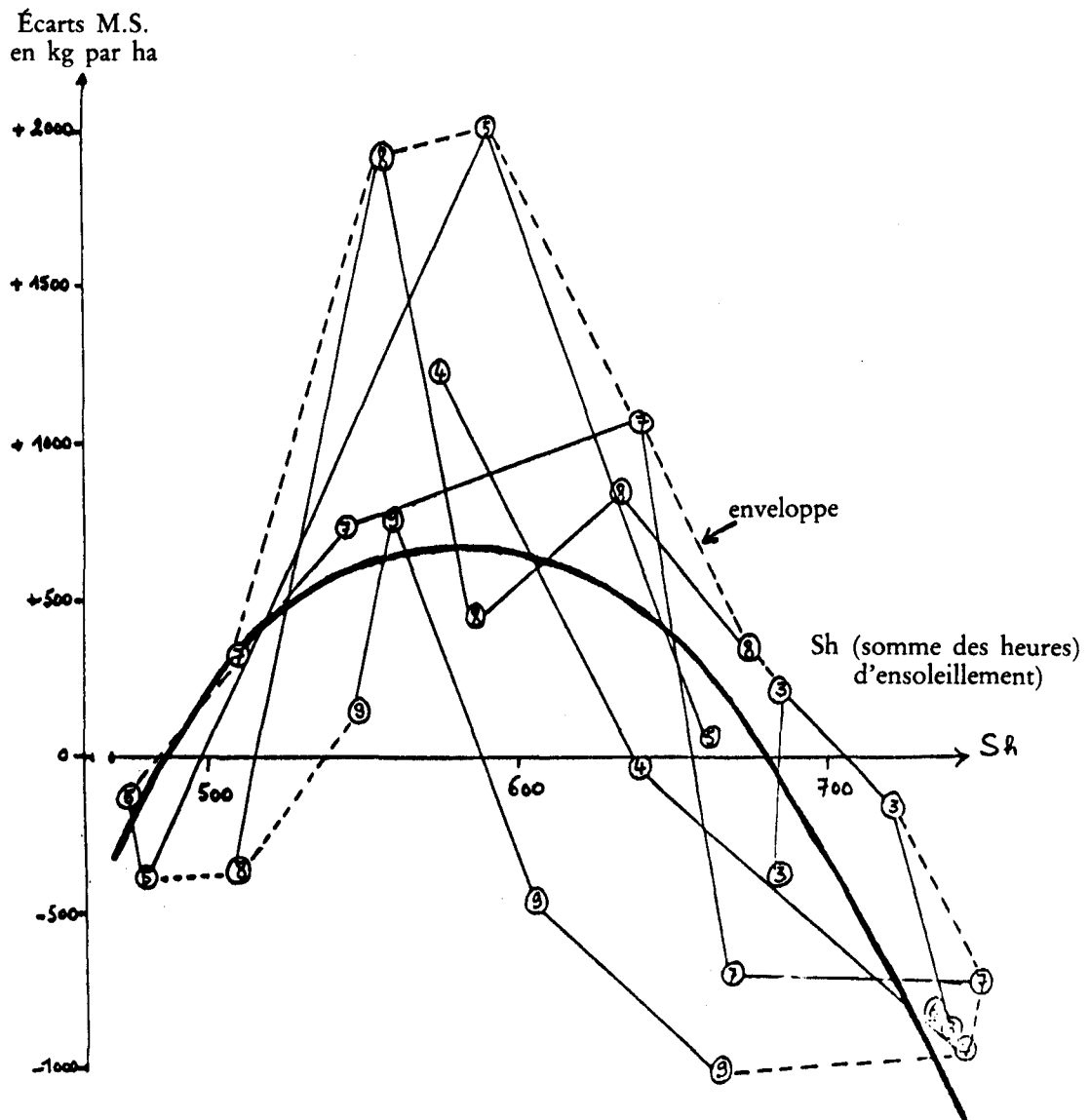
- le total des heures d'ensoleillement de l'équinoxe au début (ou à la fin) de la période de croissance,
- le nombre de jours de gelée depuis l'été précédent,
- les conditions d'enneigement durant ces gelées.

En fait, *les conditions de l'hivernage, gel et neige, déterminent exactement la durée d'ensoleillement nécessaire pour atteindre le pic majeur :*

FIGURE 4  
ÉCARTS PRINTANIER

④ = 1974  
⑨ = 1979  
etc.

Écarts aux valeurs ajustées aux facteurs de la croissance végétative



$$S'h = 995 + 4,22 \text{ JgO} - 4,92 \text{ JgN} \quad n = 6$$

$$r^2 = 0,790 : \text{significatif}$$

où S'h = durée d'ensoleillement direct du 21 septembre jusqu'à la fin de la période du pic majeur,

JgO = nombre de jours de gelée sans enneigement,

JgN = nombre de jours de gelée avec un enneigement supérieur à 10 cm d'épaisseur.

On constate ainsi qu'en 1976 le pic théorique se produit *avant* le début des mesures.

*L'intensité de ces excédents exceptionnels est elle-même fortement liée à la répartition des gelées au cours de l'hiver :*

$$\text{Dif M.S. MAX} = 4\,033 - 22,7 \text{ D} - 25,7 \text{ Jap}$$

$$r^2 = 0,893 : \text{hautement significatif} \quad n = 6$$

où Dif M.S. MAX = excédent maximum observé durant la phase de croissance liée au développement floral (en kg par hectare),

D = date du 100<sup>e</sup> jour de gelée depuis la fin de l'été précédent (exprimée en nombre de jours écoulés depuis le 1<sup>er</sup> janvier),

Jap = nombre de jours de gelée se produisant après l'obtention d'une durée d'ensoleillement de 550 heures depuis le 21 septembre précédent.

## CONCLUSION

L'analyse en régression multiple de la matière sèche produite par une prairie en fonction de divers paramètres climatiques permet d'exprimer une très grande part de la variance observée (90 %, en groupant tous les facteurs retenus dans une même régression multiple) avec un dispositif pourtant très simple et léger, comprenant trois dates de première coupe avec deux répétitions seulement.

Elle conduit à distinguer les paramètres de la croissance végétative de ceux des excédents de croissance liés au développement floral. Si les seconds paraissent très spécifiques des écotypes concernés, les premiers ont par contre une portée générale sous nos climats.

A la suite de ces travaux, deux types de question sont apparues :

1) *Peut-on prévoir le potentiel de croissance herbagère d'une région ?*

Le présent modèle concerne une région de moyenne montagne tempérée où les températures restent tardivement trop basses pour permettre la croissance ; dès que le verrou « température » commence à être levé, on constate le caractère explosif de la croissance et sa liaison étroite avec le rayonnement incident total reçu ; cette explosion correspond à des jours très longs tandis qu'en plaine atlantique le démarrage a lieu lentement autour de l'équinoxe : le facteur « somme de température » rend alors bien compte des croissances observées (LEMAIRE et RAPHALEN) jusqu'à un certain stade.

Ainsi, selon les régions, les configurations climatiques ne sont donc pas les mêmes et les lois de croissance ne peuvent se réduire à un schéma simple unique. Il faut donc envisager des régions et des altitudes diversifiées : plaine, moyenne montagne et haute montagne, ouest, est et nord, sud-ouest, centre et zone méditerranéenne par exemple.

A partir de l'étude de variétés cultivées ou de prairies permanentes bien typées, on peut *paramétrer le climat par des caractéristiques de distribution statistique des facteurs de la croissance* sur tout ou partie de la période de végétation active, en faisant en sorte de bien faire ressortir l'influence de la date de première exploitation qui est très grande dans la maîtrise de la croissance explosive printanière pour la conduite du pâturage.

La distinction entre la croissance végétative et la croissance liée au développement, malgré son caractère quelque peu schématique, a le mérite de clarifier l'interprétation en distinguant les différentes influences en jeu, c'est-à-dire les paramètres universels (température, déficit hydrique et rayonnement global) et les paramètres spécifiques du comportement reproducteur des écotypes et variétés.

Nous répondrons donc : oui, la prévision, sur une base statistique, est possible, mais il reste à faire un travail expérimental très important quoique simple dans son principe. Il faut souligner que les données météorologiques utilisées ici sont celles du STFECE I.N.R.A., c'est-à-dire d'un poste type « abri anglais MN » standard ; il n'y a aucunement recours à des enregistrements spéciaux ; la formule d'ETP utilisée ici est celle de TURC (1961), particulièrement simple (avec l'adoption d'un coefficient cultural égal à 1,2 (ROBELIN, 1975).

2) *Quels objectifs expérimentaux peut-on envisager concernant la réponse de l'herbe au climat, dans le futur ?*

La première étape consiste, en une région donnée, à décrire le « *profil climatique* » des principales espèces et variétés fourragères et des principaux types de prairie permanente ; ... éventuellement, la *modification de ces profils sous l'influence de facteurs agronomiques* : fréquence d'exploitation, fertilisation...

La deuxième consiste à étudier *les profils climatiques de la grande région* selon le climat dominant, atlantique, continental, méditerranéen et selon l'altitude, en cernant les facteurs du comportement de variétés-tests. Ainsi, un programme est en cours de lancement sur la base du comportement du ray-grass anglais à l'initiative de A. J. CORALL (Hurley et réseau F.A.O.) ; les exposés de ce jour ont donné certains éléments de réponse pour l'Ouest et le Massif Central.

Sans doute, il reste beaucoup à faire, mais d'une part les méthodes sont disponibles et d'autre part l'acquis des expérimentations fourragères est très vaste et peut être exploité en utilisant les banques de données météorologiques de la France, au moins pour les essais les mieux conduits et les plus sûrs ; il est surtout nécessaire d'accéder correctement à l'ordinateur et de savoir élaborer les données de base en données significatives pour le fonctionnement végétal.

Les nouvelles expérimentations doivent s'attacher :

- à étudier sur le même lieu plusieurs dates de première coupe ;
- à réaliser des modèles d'exploitation très simples (par exemple, coupe toutes les six semaines) ou plus complexes (par exemple,

fréquence de coupe variable selon le régime thermique, le régime pluviométrique et la saison) ;

- à vérifier les niveaux nutritionnels du peuplement prairial (analyses du sol et de la plante), particulièrement en azote, phosphore et potasse et éventuellement à les maîtriser.

#### ANNEXE

##### COMPOSITION BOTANIQUE (spécifique en %)

<i>Agrostis tenuis</i>	22	Agrostide vulgaire
<i>Poa pratensis</i>	20	Pâturin des prés
<i>Achillea millefolium</i>	11	Achillée
<i>Phleum nodosum</i>	8	Fléole des prés
<i>Trifolium repens</i>	8	Trèfle blanc
<i>Taraxacum of.</i>	7	Pissenlit
<i>Trisetum flav.</i>	4	Avoine jaunâtre
<i>Ranunculus acris</i>	3	Renoncule âcre
<i>Festuca rubra</i>	3	Fétuque rouge
<i>Meum a.</i>	2	Fenouil alpin
<i>Conopodium den.</i>	2	Noisette de terre
<i>Poa annua</i>	2	Pâturin annuel
Autres	8	Autres
	<hr/>	
	100	

F. de MONTARD,  
I.N.R.A., Clermont-Ferrand.