

# Pédoclimat, fertilisation et croissance des prairies permanentes au printemps.

## II - Précocité du départ en végétation

M. Duru<sup>1,2</sup>, I. Calvière<sup>2</sup>, G. Balent<sup>2</sup>, A. Langlet<sup>2</sup>

L'accumulation de biomasse au cours d'une repousse peut schématiquement être décomposée en trois phases. Dans un premier temps, l'interception du rayonnement est limitante par insuffisance de surface foliaire, la croissance est alors d'allure exponentielle lorsque les facteurs du milieu (température, eau...) sont constants. Ensuite, l'accumulation de biomasse est d'allure linéaire en fonction du rayonnement intercepté (GOSSE et al., 1986), tant que la sénescence n'est pas commencée.

Pour des prairies permanentes très différentes du point de vue de leur composition botanique, nous avons montré que 80 % du rayonnement était intercepté pour un indice foliaire égal à 2,3 (d'après le modèle d'interception utilisé par LEMAIRE, 1985), ce qui correspond à environ 1,5 t MS/ha (DURU, 1989).

---

### *MOTS CLÉS*

Azote, départ en végétation, fertilisation, hauteur d'herbe, nutrition, phosphore, prairie permanente, réflectance, température.

### *KEY-WORDS*

Fertilization, growth start, nitrogen, permanent pasture, phosphorus, plant nutrition, reflectance, sward height, temperature.

### *AUTEURS*

1 : I.N.R.A., Station d'agronomie.

2 : I.N.R.A., Unité de Recherche sur les Systèmes Agraires et le Développement.

### *CORRESPONDANCE*

I.N.R.A., BP 27, F-31326 Castanet-Tolosan Cedex.

L'étude de la précocité du départ en végétation, défini par la date à laquelle ce seuil de production est atteint, nous semble intéressante à deux titres : d'une part elle caractérise la fin de la phase de mise en place du capteur photosynthétique permettant l'interception de la plus grande partie du rayonnement incident, d'autre part elle a valeur de référence pour guider les pratiques agricoles. Cette quantité de matière sèche correspond souvent à un seuil retenu pour la mise à l'herbe.

Concernant la modélisation de la croissance en fin d'hiver, il a été montré qu'au début du mois de février, la vitesse d'élongation des feuilles est accrue en liaison avec un changement d'affectation des assimilats (PARSON et ROBSON, 1980). Le rapprochement de plusieurs études montre que ce changement ne semble dépendre ni des espèces ni des conditions de nutrition et d'altitude (LEMAIRE, 1985 ; DURU, 1987a et b). C'est la raison pour laquelle on peut schématiquement découper la période hivernale en deux phases : avant début février, les conditions de croissance (température et nutrition azotée notamment) agissent principalement sur le tallage (LEMAIRE, 1985), alors que par la suite, elles permettent surtout d'accroître la surface foliaire par talle. Pour que la densité de talles augmente, il faut qu'il n'y ait pas de compétition pour la lumière (indice foliaire inférieur à 3-4 d'après SIMON et LEMAIRES, 1987). Si ces conditions sont réunies, l'apparition de talles dépendra des conditions de milieu : température, eau et éléments minéraux. Durant la deuxième phase, les mêmes facteurs interviendront mais principalement sur la croissance foliaire, du moins quand l'interception du rayonnement incident est supérieure à 80 %.

Concernant la prévision très tôt au printemps du départ en végétation, LEMAIRES (1985) a montré que la densité de talles en fin d'hiver était bien corrélée négativement à la somme de températures nécessaire pour obtenir 1,5 t MS/ha et pouvait donc servir d'indicateur dans le cas des prairies monospécifiques de graminées. Pour les peuplements plurispécifiques, une telle approche n'est pas possible. D'autres méthodes telles que la mesure de réflectance ont été utilisées (LANGLET et al., 1990 ; KÜNG-BENOIT, 1991). Mais il faut s'assurer que les mesures reflètent bien une densité de plantes (talles, tiges, stolons), et non uniquement un état de développement de l'indice foliaire.

## **Matériel et méthodes**

### **1. Sites et parcelles**

Ils ont été présentés de manière détaillée auparavant (DURU et al., 1993). Nous ne résumons que les caractéristiques principales. Trois sites et deux parcelles sur chacun d'eux ont été retenus : Pyrénées centrales (1 250 m d'altitude), Aubrac (900 à 1 000 m), vallée de l'Aveyron (600 à 800 m). Sur chaque site, les parcelles ont été échantillonnées de façon à recouvrir un gradient de nutrition P et K.

Dans la suite du texte, les parcelles seront caractérisées par deux premières lettres indiquant le site (PY : Pyrénées, AU : Aubrac, VA : vallée de l'Aveyron). Une troisième lettre rendra compte globalement du niveau de nutrition PK en l'absence de fertilisation minérale (S : satisfaisant, D : déficient).

Les caractéristiques physicochimiques des sols ont été détaillées précédemment (DURU et al., 1993). Les pourcentages de graminées, calculés à partir du nombre de contacts par la méthode des points quadrats (on note le nombre de contacts d'une même espèce) sont en 1991, respectivement pour les traitements sans et avec apport de phosphore, de 61-62 (VA.S), 59-61 (VA.D), 59-73 (AU.S), 56-62 (AU.D), 36-40 (PY.S), 42-64 (PY.D). Les principales dicotylédones (autres que les légumineuses) sont *Ranunculus acris* (VA.S), *Centaurea jacea*, *Ranunculus acris* et *Taraxacum officinalis* (VA.D), *Ranunculus acris*, *Polygonum bistorta* et *Scorzonera humilis* (AU.S), *Cerastium fontanum*, *Narcissus pseudonarcissus*, *Plantago lanceolata* et *Elymus repens* (AU.D), *Chaerophyllum aureum*, *Ranunculus acris* (PY.S), *Sanguisorba minor*, *Rhinantus major* et *Plantago lanceolata* (PY.D)

## 2. Traitements de fertilisation

Chaque traitement est caractérisé par un code. La lettre indique l'élément considéré, elle est suivie du chiffre 1 ou 0 selon que l'élément a été apporté ou non. Lorsque le phosphore est apporté sous forme de superphosphate (60 kg/ha), aucune mention supplémentaire n'est apportée. Si la dose est de 120 kg, nous avons indiqué P'1 ; s'il s'agit de scories, le code est complété par "sc".

En Aubrac et dans la vallée de l'Aveyron, l'étude a duré quatre années (1988 à 1991) pour les deux traitements témoins différant par l'apport d'azote (P0N1 = 150 kg/ha ; P0N0 = pas d'apport). Par ailleurs, six traitements différant par les apports phosphopotassiques (forme du phosphore principalement) ont reçu 150 kg d'azote, et trois d'entre eux sont sans apport d'azote. La fertilisation a été apportée début février (Aveyron), ou début mars (Aubrac). Le premier apport de phosphore a été effectué en 1989, il a été renouvelé sur les mêmes emplacements aux printemps 1990 et 1991. L'apport d'azote du traitement témoin est par contre réalisé chaque année sur des emplacements différents.

Dans les Pyrénées, l'expérimentation a été initialisée en 1986 et a été poursuivie jusqu'en 1991. Elle comprend chaque année trois traitements : témoin sans fertilisation (P0N0), apport seul d'azote à raison de 120 kg/ha (P0N1) et apport de P et K (noté P1N1, avec azote en 1988 et 1991, sans azote les autres années). Pour ce dernier traitement, les emplacements d'apports sont les mêmes chaque année.

Au sein de chaque parcelle, les emplacements nécessaires aux prélèvements d'herbe pour chaque date et chaque année ont été délimités en début d'expérimentation pour chacun des traitements.

### 3. Mesures

Les mesures de biomasse ont été effectuées à 6 dates espacées d'environ 2 semaines pour les traitements témoins et à 4 ou 6 pour les autres. Ces données ainsi que les teneurs en éléments minéraux permettent de calculer (DURU et al., 1993) des niveaux de nutrition pour N ( $I_N$ ), P ( $I_P$ ) et K ( $I_K$ ).

Des mesures de réflectance ont été réalisées à partir d'un radiomètre portable. Les données mesurées dans le rouge et le proche infrarouge permettent de calculer un Indice de Végétation IV, (LANGLET et al., 1990). Les hauteurs d'herbe ont été mesurées avec le sward-stick (BIRCHAM, 1983 ; DURU et BOSSUET, 1992). La connaissance de la masse d'herbe permet alors de calculer la masse volumique de la végétation. On considérera que c'est un indicateur de la densité de plantes. En accompagnement de ces mesures, le matériel sénescant a été séparé du matériel vivant. Ces observations n'ont été effectuées que sur le site Pyrénées, le 9 avril 1988.

Les températures et les pluviométries moyennes durant la période d'étude sont indiquées tableau 1.

Site	Année	Température		Pluviométrie	
		1/11 → 31/01	1/02 → 10/06	1/11 → 31/01	1/02 → 10/06
PY	1986	3,6	6,2	414	247
	1987	3,9	6,1	232	340
	1988	5,7	6,2	200	409
	1991	2,9	5,6	43	277
VA.S	1988		8,2	380	462
	1989		8,8	106	457
	1990		8,2	114	401
	1991		6,5	180	315
VA.D	1988		7,8	319	519
	1989	4,3	8,2	231	522
	1990	6	9,7	168	488
	1991	3	7,5	218	301
AU.S	1988	3,5	5,6	390	544
	1989	3,3	6,8	111	492
	1990	4,5	7,7	195	426
	1991	1,3	5,4	239	290
AU.D	1988	4,3	5,9	482	771
	1989	3,6	7,1	186	747
	1990	4,8	8,1	253	613
	1991	1,3	5,5	338	418

TABLEAU 1 : **Températures** (moyennes journalières, en °C) et **pluviométrie** (en mm) du 1<sup>er</sup> novembre au 30 juin.

TABLE 1 : *Average daily temperatures (°C) and rainfall (mm) from 1st November to 30th June.*

#### **4. Traitement des données**

Le calcul des sommes de température pour atteindre 1,5 t MS/ha est réalisé par interpolation en fonction des températures entre deux dates si la première valeur de biomasse est inférieure à 1,5 t/ha. Dans le cas contraire, on ajuste les données à une courbe de type  $MS = a \times e^{b\Sigma T}$ ,  $\Sigma T$  étant les sommes de températures initialisées à compter du 1<sup>er</sup> février, et MS étant considérée comme nulle au 1<sup>er</sup> février. Les valeurs sont arrondies à 5°C près.

Pour dissocier les effets de la nutrition minérale de ceux du climat sur la précocité du départ en végétation, on considérera d'une part les différents traitements de fertilisation une année donnée, et d'autre part les données de plusieurs années pour lesquelles les traitements de fertilisation azotée sont les mêmes. Dans ce dernier cas, les éventuelles différences de précocité observées pour un même niveau de nutrition azotée seront interprétées en relation avec les caractéristiques du climat, ou du sol si plusieurs parcelles sont comparées.

Pour établir les relations entre précocité du départ en végétation et nutrition minérale, on considérera les indices de nutrition correspondant aux valeurs de MS comprises entre 1 et 2 t/ha.

### **Résultats**

#### **1. Précocité du départ en végétation et traitements de fertilisation**

Les données du tableau 2 permettent de comparer plusieurs traitements une même année (AU et VA en 1990 et 1991 ; PY en 1988 et 1991).

Dans les Pyrénées, les sommes de températures pour atteindre 1,5 t varient de 350 à 840 et de 359 à 564, respectivement en 1988 et 1991. Ces écarts de 200 à 500 degrés-jours (°j) entre traitements correspondent à des différences de 3 à 5 semaines en considérant une hypothèse de température moyenne de 10°C.

Dans la vallée de l'Aveyron, les écarts entre traitements sont de 210 °j pour la parcelle type S, et 205 pour la parcelle type D en 1990. En 1991, les différences entre traitements atteignent 185 °j pour la parcelle S et 310 pour la parcelle D. L'apport d'azote permet de gagner de 0 à 130 °j (comparaison des traitements P0N1 et P0N0). L'apport de superphosphate (60 kg de P) conduit à un gain nul (parcelle S en 1991), moyen en 1991, mais important pour la parcelle D en 1990 (135 °j). D'une manière générale, l'apport de scories est moins efficace que l'apport de superphosphate. L'apport de chlorure de potassium a un effet nul ou dépressif.

En Aubrac, les écarts sont de 175 et 185 °j en 1990. Ils sont moins importants en 1991 (respectivement 120 et 150 °j). L'apport d'azote permet de gagner

Site	Année	PoN <sub>1</sub>	PoNo	P <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> No	P <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> scN <sub>1</sub>	K <sub>1</sub> N <sub>1</sub>
PY.S	1988	470	500	350				
	1991	395	410	360				
PY.D	1988	660	840	470				
	1991	565	565	350				
VA.S	1990	530	575	400	605	395	475	505
	1991	315	430	315	430	245	305	365
VA.D	1990	450	580	405	460	375	420	450
	1991	220	480	170	430	155	230	430
AU.S	1990	405	535	415	485	415	360	460
	1991	300	390	270	390	270	330	305
AU.D	1990	610	625	530	580	440	585	575
	1991	425	500	425	460	350	470	455

TABLEAU 2 : Précocité du départ en végétation (degrés-jours cumulés après le 1<sup>er</sup> février) selon les sites, les années et les traitements de fertilisation.

TABLE 2 : Date of growth start (cumulated day-degrees from 1st February to reach 1.5 t DM/ha) according to area, years and fertilizer supplies.

moins de 75 (parcelle D) à plus de 90 °j (parcelle S). L'effet de l'apport de 60 kg de superphosphate n'est positif que pour la parcelle D en 1990. Le même apport de P sous forme de scories a moins d'effet sauf pour la parcelle S en 1990. L'effet de l'apport de K est faible.

## 2. Variabilité de la précocité du départ en végétation selon l'année et l'apport d'azote

Pour mettre en évidence un effet année, nous considérons les traitements N1 et N0 pour lesquels le nombre d'années de résultats est le plus élevé (tableau 3).

Dans les Pyrénées, les écarts interannuels maximaux s'échelonnent entre 125 et 275 °j selon les traitements, soit une différence de précocité de deux ou trois semaines pour une hypothèse de température journalière de 10°C. L'apport d'azote permet de gagner en moyenne 100 °j. Cependant, les valeurs diffèrent fortement entre parcelles, ce qui laisse supposer un effet du sol et/ou de la composition botanique. Les variations entre années sont similaires pour les deux traitements azotés d'une même parcelle, sauf en S, tout particulièrement en 1986 où les écarts sont très importants.

Dans la vallée de l'Aveyron, les écarts interannuels sont importants pour les traitements PON1. Pour les deux parcelles, les valeurs les plus faibles sont observées en 1988 et 1991. L'apport d'azote se traduit par un gain supérieur à 100 °j.

Site	Année	S		D	
		PoN1	PoNo	PoN1	PoNo
PY	1986	350	625	625	670
	1987	475	610	580	710
	1988	470	500	660	840
	1991	390	410	450	565
	m	421	536	579	696
	$\sigma$	47	78	79	88
VA	1988	370	490	280	420
	1989	535		460	610
	1990	530	575	450	580
	1991	315	430	220	480
	m	438		353	522
	$\sigma$	97		105	78
AU	1988	270	430	485	570
	1989	430	575	600	630
	1990	405	535	610	625
	1991	300	390	425	500
	m	351	482	530	581
	$\sigma$	68	75	78	47

**TABLEAU 3 : Précocité du départ en végétation** (degrés-jours cumulés après le 1<sup>er</sup> février) **selon les sites, les années pour les traitements de fertilisation P0N1 et P0N0** (moyenne et écart-type).

*TABLE 3 : Date of growth start (cumulated day-degrees from 1st February to reach 1.5 t DM/ha) according to area, and years for fertilizer treatments P0N1 and P0N0 (means and standard deviations).*

En Aubrac, les écarts interannuels sont moins élevés que dans la vallée de l'Aveyron. Les valeurs les plus faibles sont observées en 1988 et 1991. L'apport d'azote permet un gain d'environ 130 °j pour la parcelle S, mais seulement de 50 en D.

La comparaison des 3 sites montre que pour les parcelles de type S recevant une fertilisation azotée, les valeurs ne sont pas très différentes. Par contre, pour les parcelles de type D, elles sont les plus faibles pour la vallée de l'Aveyron et les plus élevées dans les Pyrénées.

### **3. Caractéristiques du peuplement et prévision de la précocité par mesure de réflectance**

Nous disposons des mesures réalisées le 7 avril 1988 pour le site PY. Les masses d'herbe verte apparaissent bien corrélées aux indices de végétation :  $r^2 = 0,94$  ;  $p < 0,01$  (figure 1a). Des corrélations similaires sont obtenues aux dates de mesures ultérieures, mais les masses d'herbe étant alors voisines ou supérieures à 1,5 t ne permettent plus d'effectuer une prévision de précocité de départ en végétation.

Les masses volumiques (kg/m<sup>3</sup>) sont égales à 1,20, 0,50 et 0,62 pour la parcelle S, et 1,13, 0,84 et 0,24 pour la parcelle D, respectivement pour les traitements

P1N1, P0N1 et P0N0. Les écarts de hauteur d'herbe entre ces traitements ne dépassent pas 1,4 cm (de 3,2 à 4,6 cm). Ces résultats indiquent que les masses volumiques sont donc plus variables que ne le sont les hauteurs. On peut donc faire l'hypothèse que la densité d'organes et de plantes est la plus importante pour les traitements P1N1. C'est vraisemblablement l'arrière-effet de la fertilisation des années précédentes qui a permis d'augmenter cette densité. Par contre, les écarts de MS entre les traitements P0N1 et P0N0 ne dépendent que de la fertilisation de l'année.

L'indice de végétation calculé à partir de situations où la masse d'herbe verte est comprise entre 90 et 560 kg/ha apparaît bien corrélé à la somme de température pour obtenir 1 500 kg/ha ( $r^2 = 0,89$  ;  $p < 0,01$  ; figure 1b). Une mesure de réflectance tôt en saison pourrait donc être un prédicteur de la précocité du départ en végétation, permettant notamment de classer les parcelles.

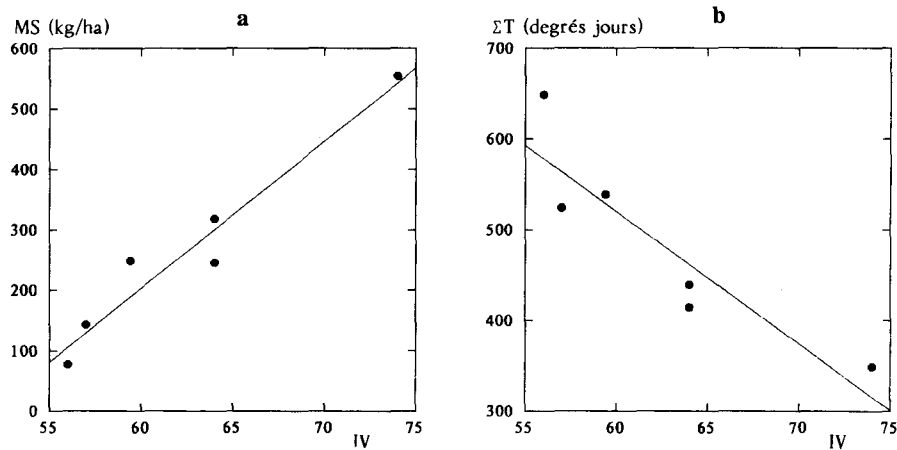


FIGURE 1 : Production de matière sèche (a) ou précocité du départ en végétation (b) en fonction de l'indice de végétation IV pour le site Pyrénées (mesures du 7 avril 1988).

FIGURE 1 : Dry matter yield (a) or date of growth start (b) according to vegetation index (IV) in the Pyrenees area (measurements of 7th April 1988).

## Discussion

### 1. Effet du climat sur la précocité du départ en végétation

A cette fin, nous avons considéré les traitements P0N1 et P0N0 pour lesquels le nombre d'années de mesures est le plus important. Pour s'affranchir des niveaux



de nutrition minérale, les résultats ont toujours été exprimés en fonction des indices d'azote.

Dans les Pyrénées, on observe une relation décroissante entre la précocité du départ en végétation et l'indice azote ( $I_N$ ), tout particulièrement en 1986 et 1987 (figures 2a et 2b). Pour un  $I_N$  donné, les ordonnées à l'origine sont les plus faibles pour les deux traitements et les deux parcelles en 1991. Ces résultats nous amènent à penser que les caractéristiques climatiques de l'hiver 1990-1991 ont été sans doute plus favorables que celles des autres années étudiées. L'hypothèse la plus immédiate est l'importance des gelées. Nous avons montré sur ce même site l'effet de températures inférieures à 10°C sur la mortalité de talles de graminées (DURU, 1987b). KÜNG-BENOIT (1991) a montré un retard du départ de végétation pour les hivers rigoureux, plus précisément dans les cas où les températures minimales chutent brutalement d'environ 15°C. De telles circonstances n'ont pas été observées, mais l'analyse détaillée du nombre de jours de gelées à partir de début février montre des différences entre années. Si l'on retient le seuil de -5°C, le nombre de jours concernés entre le 1/02 et le 30/04 (ou du 1/03) est de 16 (4) en 1986, 12 (4) en 1987, 11 (6) en 1988 et 8 (1) en 1991. La période à prendre en compte, de même que le seuil de température à considérer sont discutables dans la mesure où l'on ne dispose pas de bases de choix rigoureuses.

Pour les sites VA et AU, les classements entre années sont assez semblables (figures 2c à 2f). Les valeurs les plus élevées sont observées en 1989 et 1990, les plus faibles en 1988 et 1991, tant pour les traitements N1 que N0. Ceci indique que la variabilité est indépendante des pratiques culturales de l'automne puisqu'il n'y a aucune raison pour qu'elles soient les mêmes entre parcelles appartenant à des éleveurs différents. On peut donc formuler l'hypothèse d'une origine climatique. Les automnes et hivers correspondant aux suivis réalisés en 1989 et 1990 se caractérisent pour les deux sites par une pluviométrie quasi nulle, notamment de début novembre à début février. On peut penser que l'eau a alors été un facteur limitant pour le tallage et plus généralement pour la multiplication végétative, d'autant plus qu'une sécheresse avait sévi les étés précédents. Le retard du départ en végétation pour ces années peut donc être lié à une non possibilité de reconstitution d'une population d'organes (talles pour les graminées ou ramets pour les dicotylédones) suffisante avant la fin de l'hiver.

Pour chacun des sites, les valeurs moyennes des sommes de températures caractérisant le départ en végétation sont plus élevées pour la parcelle type D que pour la parcelle type S, excepté en vallée de l'Aveyron. Dans ce cas, deux hypothèses peuvent expliquer cet écart : la mauvaise prise en compte du climat par les mesures de températures aériennes ou bien la nature des espèces présentes. La deuxième hypothèse peut être exclue (cf. la composition botanique en matériel et méthode). Concernant la première, on sait qu'au printemps les processus biologiques sont plus dépendants

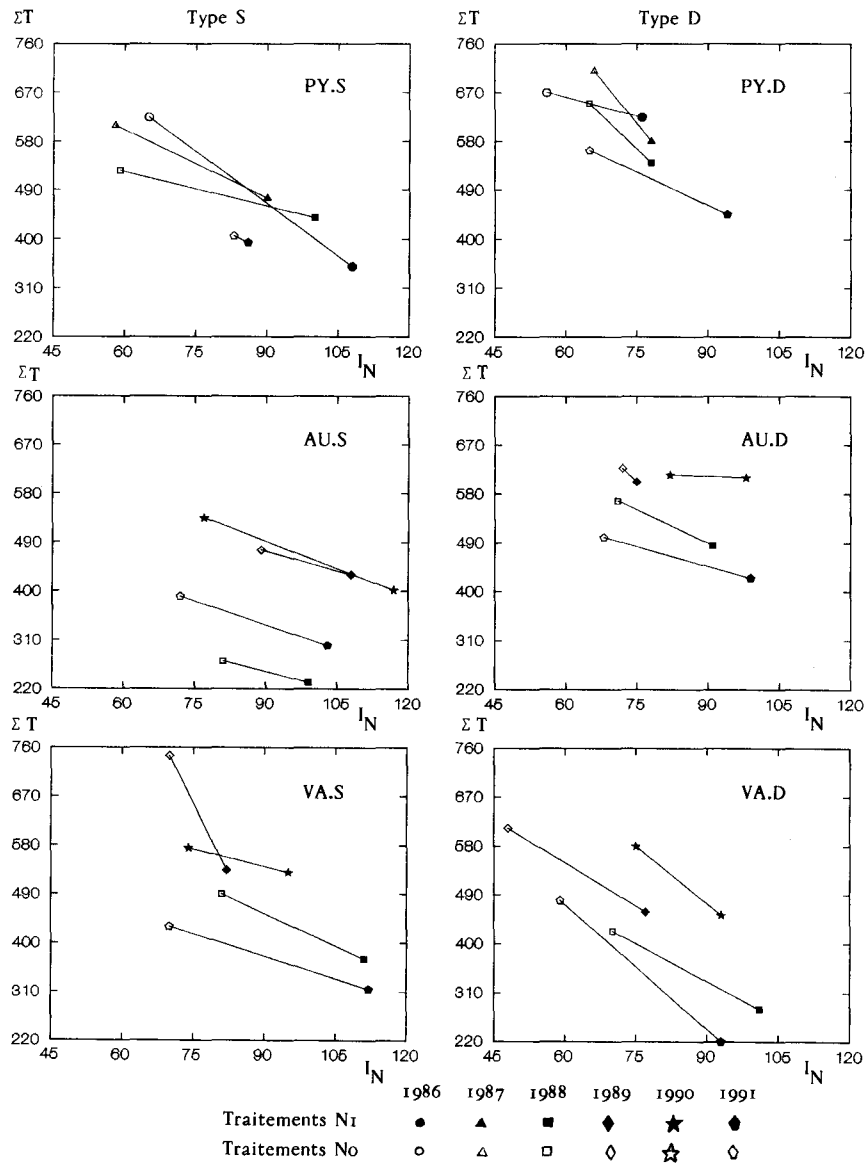


FIGURE 2 : Précocité du départ en végétation ( $\Sigma T$ ) en fonction de l'indice de nutrition azotée ( $I_N$ ) pour les sites PY, AU et VA.

FIGURE 2 : Date of growth start ( $\Sigma T$ ) according to nitrogen index ( $I_N$ ) for PY, AU and VA areas.

des températures du sol que des températures aériennes (LEMAIRE, 1985). Sachant que le sol de la parcelle VA.S est plus argileux que celui de la parcelle VA.D (respectivement 47 % et 35 % de teneur en argile), il est plus long à réchauffer au printemps. Les températures peuvent être surestimées.

## 2. Effet du niveau de nutrition minérale et de la composition botanique sur la précocité du départ en végétation

Pour chacune des parcelles, nous avons utilisé les données de l'ensemble des traitements pour établir les relations entre les indices de nutrition N et P et les sommes de températures pour obtenir 1,5 t/ha. 62 à 98 % de la variance de la précocité du départ en végétation est alors expliquée (tableau 4). Les effets directs de la nutrition P sont toujours significatifs pour les parcelles de type D, ainsi qu'en VA.S en 1991. La nutrition minérale est donc un élément déterminant de la précocité du départ en végétation dans des conditions climatiques déterminées.

Année	Site	c	STD	r <sup>2</sup>	n	I <sub>N</sub>	I <sub>P</sub>
1990	VA.S	998	39,90	0,78	7,00	-5,40	
	VA.D	1104	31,80	0,87	7,00	-5,90	-2,00
	AU.S	703	33,00	0,73	7,00	-2,50	
	AU.D	1259	28,80	0,88	7,00	-4,30	-4,40
1991	VA.S	956	12,60	0,98	7,00	-3,70	-2,12
	VA.D	812	36,50	0,93	7,00	-4,32	-0,46
	AU.S	651	38,80	0,62	7,00	-2,73	
	AU.D	626	20,80	0,92	7,00	-2,78	-0,45

TABLEAU 4 : Paramètres des ajustements entre précocité du départ en végétation et indices de nutrition azotée (I<sub>N</sub>) et phosphatée (I<sub>P</sub>).

TABLE 4 : Regression co-efficients between growth start and nitrogen index (I<sub>N</sub>) or phosphorus index (I<sub>P</sub>).

Pour comparer les parcelles des différents sites, nous retiendrons l'année 1991 pour laquelle on peut considérer que les facteurs climatiques (eau et températures négatives) ne sont pas limitants. Le tracé des droites d'ajustement en fonction des I<sub>N</sub> (pour I<sub>P</sub> = 80) montre (figure 3) que les valeurs sont très différentes selon les parcelles, soit du fait des pentes, soit du fait des ordonnées à l'origine. Pour des I<sub>N</sub> compris entre 60 et 100, les valeurs les plus faibles sont observées pour les parcelles PY.S, AV.D et AU.S, et les valeurs les plus élevées en AU.D et VA.S. La parcelle PY.D a un comportement particulier car la pente calculée est très supérieure à celle des autres parcelles. Les différences entre parcelles doivent provenir principalement de la composition botanique des prairies puisque, par le choix de l'année et le mode de représentation, on s'est affranchit des principaux autres facteurs

de variation. A cette fin, nous considérerons les éléments de caractérisation indiqués en matériel et méthode.

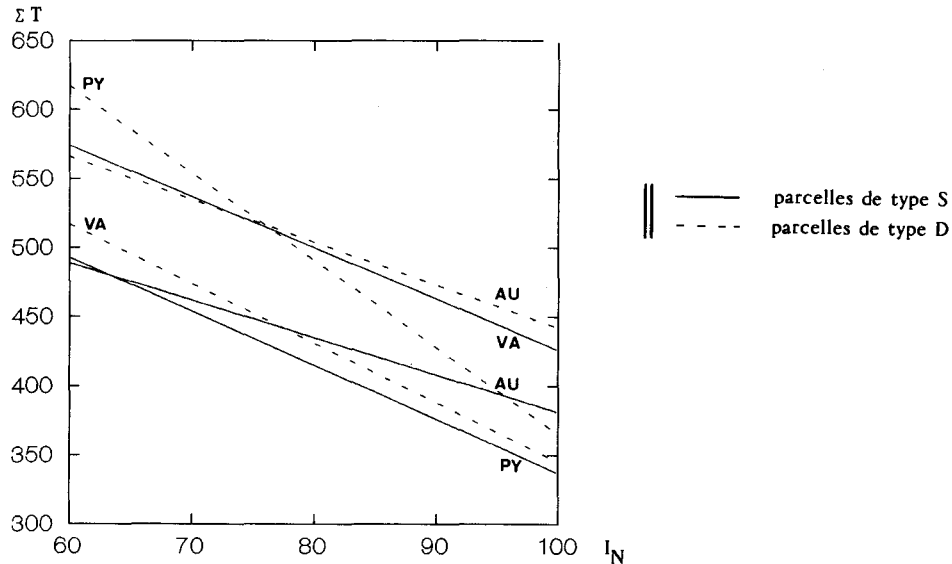


FIGURE 3 : Tracés des droites d'ajustement entre la précocité du départ en végétation et l'indice de nutrition azotée ( $I_p = 80$ ) pour l'année 1991.

FIGURE 3 : Adjustments between dates of growth start and nitrogen index ( $I_p = 80$ ) for year 1991.

La parcelle PY.S se caractérise par une faible proportion de graminées. *Chaerophyllum*, espèce à grand développement, est la "diverse" la plus représentée, ce qui pourrait expliquer que les valeurs de précocité soient très voisines de celles observées en AV.D et AU.S, parcelles où les graminées sont dominantes. La pente élevée observée pour la parcelle PY.D est à mettre en relation avec le changement de composition botanique important survenu après l'apport de phosphore. C'est pour cette parcelle que la diminution du pourcentage de dicotylédones après fertilisation est la plus forte au profit du développement des graminées.

## Conclusion

En l'absence de déficiences en éléments minéraux et en eau, ainsi que de fortes températures négatives en hiver, la précocité du départ en végétation, définie par la somme de température pour atteindre 1,5 t/ha de matière sèche, peut être estimée comprise entre 250 et 350 degrés.jours après le 1<sup>er</sup> février. Il ne semble

pas y avoir de différences notables entre sites géographiques. Ces valeurs sont d'ailleurs voisines de celles trouvées dans l'Est de la France (KÜNG-BENOIT, 1991). Les déficiences en nutrition azotée et autres éléments peuvent allonger la durée de cette phase de 100 à 200 degrés.jours. Lorsque les graminées sont peu représentées dans la végétation, un retard de 100 à 200 degrés.jours supplémentaires peut être observé. Enfin, lorsque des déficiences en eau ou des températures fortement négatives surviennent, ces valeurs sont à majorer, même s'il s'agit de la période antérieure au début du mois de février. Dans ce cas, l'hypothèse faite est que le manque d'eau ou les températures limitent les possibilités de ramification. Il va de soi qu'un certain nombre de facteurs sont liés. Ainsi, une végétation à base de dicotylédones est généralement associée à des déficiences en éléments minéraux comme le phosphore (BALENT, 1987) qui elles-mêmes entraînent une déficience en azote (DURU, 1992a). Un stress en eau conduit souvent à une diminution de l'absorption des éléments minéraux (LEMAIRE et DENOIX, 1987). Dans nos conditions, nous n'avons pas observé d'effet des fortes gelées, qui dans d'autres situations peuvent allonger la durée de cette période de 100 à 200 degrés.jours.

La prévision de la précocité du départ en végétation pourrait être réalisée à dire d'expert sur la base des principaux facteurs de variation que nous avons identifiés et dont nous avons réalisé une première quantification. C'est une démarche qui pourrait être adoptée à des fins de gestion de la sole fourragère d'une exploitation. Cependant, si l'objectif est de rendre compte de la diversité des prairies et de leur potentiel de production au niveau d'une petite région, les mesures précoces de caractérisation de l'état des prairies par mesure de réflectance et de hauteur d'herbe nous semblent intéressantes à poursuivre et à valider.

Accepté pour publication, le 25 avril 1993.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALENT G. (1987) : *Structure, fonctionnement et évolution d'un système pastoral. Le pâturage vu comme écologie piloté dans les Pyrénées centrales*, thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rennes, 146 p. + annexes.
- BIRCHAM J.S. (1981) : *Herbage growth and utilization under continuous stocking management*, Ph.D thesis, University of Edinburgh.
- DURU M. (1987a) : "Croissance hivernale et printanière de prairies permanentes pâturées en montagne. I- Ecophysiologie du dactyle", *Agronomie*, 7 (1), 41-50.
- DURU M. (1987b) : "Croissance hivernale et printanière de prairies permanentes pâturées en montagne. II- Variation de la croissance et de la composition chimique", *Agronomie*, 7 (1), 51-59.
- DURU M. (1989) : "Variability of leaf area index extension rate on permanent grasslands", *XVIIth Int. Grassl. Congr.*, Nice, France, 501-502.

- DURU M. et BOSSUET L. (1992) : "Estimation de la masse d'herbe par le "sward-stick". Premiers résultats", *Fourrages*, 131, 283-300.
- DURU M., COLOMB B., CRANSAC Y., FARDEAU J.C., JULIEN J.L., ROZIERE M. (1993) : "Pédoclimat, fertilisation et croissance des prairies permanentes au printemps. I- Variabilité de la nutrition minérale", *Fourrages*, 133.
- GOSSE G., CHATIER M., BONHOMME R., ALLIRAND M., LEMAIRE G. (1986) : "Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal", *Agronomie*, 6, 47-56.
- KÜNG-BENOIT A. (1991) : "Croissance printanière de prairies permanentes en Lorraine. Lois de croissance potentielle", *Fourrages*, 127, 273-286.
- LANGLET A., DEMBELE Y., DURU M. (1990) : "Effects of grasslands canopy structure on spectral reflectance. Consequences for PAR absorbed estimation", *First Congress of the European Society of Agronomy*, Paris, 5-7 dec., 2p.
- LEMAIRE G. (1985) : *Cinétique de la croissance d'un peuplement de fétuque élevée (Festuca arundinacea Schreb.) pendant l'hiver et le printemps. Effet des facteurs climatiques*, thèse de Doctorat d'Etat, Université de Caen, 96 pp.
- LEMAIRE G. (1991) : "Précocité de croissance d'une prairie au printemps. Importance de la densité de talles", *Fourrages*, 127, 313-320.
- LEMAIRE G. et DENOIX A. (1987) : "Croissance estivale en matière sèche de peuplement de fétuque élevée et de dactyle dans l'Ouest de la France. II- Interaction entre les niveaux d'alimentation hydrique et de nutrition azotée", *Agronomie*, 7 (6), 381-389.
- PARSON A.J., ROBSON M.J. (1980) : "Seasonal changes in the physiology of S24 perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). 1. Response of leaf extension to temperature during the transition from vegetative to reproductive growth", *Annals of Botany*, 46, 435-444.
- SIMON J.C., LEMAIRE G. (1987) : "Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase", *Grass and Forage Sci.*, 42, 383-390.

## RÉSUMÉ

La précocité du départ en végétation est définie par le moment où la plus grande partie du rayonnement incident est intercepté (70 à 80%, soit un indice foliaire de 2 et une masse d'herbe égale à 1,5 t MS/ha). On la caractérise par la somme de température, à compter du premier février, nécessaire pour obtenir cet état du peuplement.

La comparaison pluriannuelle de plusieurs prairies permanentes soumises à différents régimes de fertilisation permet de modéliser les principaux facteurs de variation.

En l'absence de déficiences en éléments minéraux et en eau, ainsi qu'en l'absence de températures fortement négatives, la précocité du départ en végétation peut être estimée comprise entre 200 et 300 degrés.jours (°j) après le 1<sup>er</sup> février. Les déficiences en nutrition azotée et autres éléments peuvent allonger la durée de cette phase de 100 à 200 °j. Enfin, lorsque les graminées sont peu représentées dans la végétation, un retard de 100 à 200 °j supplémentaires peut être observé.

La prévision tôt en saison de la précocité du départ en végétation a été effectuée une année donnée par des mesures de réflectance du couvert végétal. Des mesures simultanées de hauteur d'herbe permettent de montrer que c'est principalement la densité de talles et de plantes qui est à l'origine des différences observées. Cette démarche pourrait être utilisée afin de rendre compte de la diversité des prairies et de leur potentiel de production au niveau d'une petite région.

**SUMMARY**

***Soil, climate fertilization and growth of permanent pastures in Spring. II- Date of growth start in Spring***

The date of the growth start of grass in Spring is defined as the time when the major part of incoming radiation is intercepted. This corresponds to a LAI of 2, and an amount of herbage dry matter of 1.5 t/ha. It is characterized by the cumulated temperatures, calculated from 1st February, necessary to reach this level.

Based on the comparison of several permanent pastures differing in soil P and in N, P, K fertilizer supply, located in 3 areas, a model of the variability of the date of growth start was set up.

When there are no water or mineral deficiencies, nor any temperatures much below freezing, these cumulated temperatures were estimated to amount to between 200 and 300 day-degrees (d), calculated from 1st February. Nitrogen and phosphorus limitations could increase this value by from 100 to 200 d. If there are many dicotyledons in the sward, a further increase of 100 to 200 d could be observed.

A forecast of the date of growth start was made early in the season in a given year from canopy reflectance measurements. Simultaneous sward height measurements showed that it was mainly the densities of tillers and of plants which caused the observed differences. This approach could be used to characterize the diversity of pastures in a given area.