

## EFFET DE L'AZOTE SUR LA TENEUR EN GRAMINÉES DE LA VÉGÉTATION DES PRAIRIES PERMANENTES

CINQ ESSAIS SUR PRAIRIE PERMANENTE ONT ÉTÉ SUIVIS PAR L'I.T.C.F. PENDANT SIX ANS SELON UN PROTOCOLE DECRIE ANTERIEUREMENT (DAGET-BERTOLETTI *et al.*, 1974) ET dans les mêmes conditions. Pour chacun de ces essais nous avons calculé la contribution moyenne des diverses catégories fourragères par saison et par apport azoté. Nous nous attacherons, ici, à analyser certains aspects intéressants concernant l'évolution de la teneur en graminées.

En premier lieu, il faut souligner que cette teneur est très variable d'un essai à l'autre. C'est ainsi que, pour la dose 0 N, au printemps 1968, combinaison factorielle que, faute d'une meilleure, nous considérerons comme représentative de l'« état initial », on observe les valeurs suivantes :

Cantal .....	64,1
Haute-Marne .....	50,9
Mayenne .....	76,6
Meurthe-et-Moselle .....	66,5
Savoie .....	34,2

L'objectif visé étant de rechercher des processus et, le cas échéant, de les analyser, nous ramènerons les observations à des conditions initiales standardisées en éliminant l'influence de ces différences. Pour cela, nous procédons à un

changement de variable en calculant un indice de contribution  $I$  par :  $I = \frac{C(x)}{C(0)}$

où  $C(x)$  représente une contribution quelconque d'un essai et  $C(0)$  la contribution correspondante dans l'état initial. Ainsi, dans l'essai de la Mayenne, où les graminées ont une contribution initiale de 76,6, à la contribution de 87,0 trouvée au printemps de la troisième année dans le traitement 160 N, l'indice de contribution sera  $I = 87,0/76,6 = 1,136$ . Le *tableau I* présente l'ensemble des indices obtenus.

**TABLEAU I**  
**INDICES DE CONTRIBUTION DES GRAMINEES**

1	2	3	1968	1969	1970	1971	1972	
0	C.	P	1,000	1,162	0,903	1,115	0,967	
		E	1,002	1,084	0,984	1,100	0,894	
	H.-M.	P	1,000	1,059	1,039	0,937	0,998	
		E	1,120	1,000	1,018	0,951	1,004	
	M.	P	1,000	1,031	0,739	0,789	1,057	
		E	0,948	0,980	0,683	0,834	0,943	
	M.-M.	P	1,000	1,113	1,027	1,042	1,027	
		E	0,964	1,053	0,929	1,000	1,116	
	S.	P	1,000	1,082	1,184	0,997	1,053	
		E	1,003	1,272	1,047	1,158	0,982	
	160	C.	P	1,123	1,146	1,168	1,337	1,111
			E	1,178	1,388	1,399	1,290	1,111
H.-M.		P	1,145	1,291	1,251	1,198	1,255	
		E	1,335	1,361	1,279	1,167	1,165	
M.		P	1,111	1,261	1,136	1,005	1,137	
		E	1,115	1,253	1,095	1,057	1,149	
M.-M.		P	1,242	1,389	1,304	1,027	1,095	
		E	1,054	1,329	1,176	1,074	1,235	
S.		P	1,132	1,304	1,365	1,304	1,345	
		E	1,085	1,418	1,225	1,488	1,333	
240		C.	P	1,164	1,382	1,140	1,349	1,131
			E	1,179	1,404	1,282	1,370	1,170
	H.-M.	P	1,230	1,418	1,385	1,346	1,417	
		E	1,473	1,615	1,438	1,350	1,385	
	M.	P	1,101	1,235	1,185	1,033	1,183	
		E	1,140	1,262	1,187	1,116	1,195	
	M.-M.	P	1,215	1,420	1,439	1,176	1,194	
		E	1,308	1,442	1,352	1,149	1,266	
	S.	P	1,254	1,515	1,503	1,716	1,392	
		E	1,259	1,684	1,658	1,830	1,523	

Ce tableau a été étudié par l'analyse de variance selon le modèle factoriel sans répétition à quatre facteurs. Le *tableau II* donne les résultats obtenus. Ces deux tableaux pourraient donner lieu à de nombreux commentaires intéressants ; nous ne retiendrons que ceux qui concernent l'action de la fertilisation azotée (on trouvera les autres *in* DAGET-BERTOLETTI, 1975 et DAGET, 1976).

**TABLEAU II**  
**TABLEAU DE L'ANALYSE DE VARIANCE**  
**DANS LE CAS DES GRAMINEES**

<i>Origine de la variation</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>d.d.l.</i>	<i>Carrés moyens</i>	<i>F</i>
Totale .....	5,397	148		
Année .....	0,373	4	0,0933	18,66 **
Saison .....	0,023	1	0,0230	4,60 *
Essai .....	0,907	4	0,2268	45,36 **
Azote .....	2,699	2	1,3494	269,88 **
Année-saison .....	0,013	4	0,0032	1
Année-essai .....	0,499	16	0,0312	6,24 **
Année-azote .....	0,108	8	0,0135	2,70 **
Saison-essai .....	0,032	4	0,0081	1,62
Saison-azote .....	0,031	2	0,0157	3,14 *
Essai-azote .....	0,235	8	0,0294	5,88 **
Résiduelle .....	0,477	95	0,0050	

Aux trois doses d'azote prises en considération correspondent les moyennes suivantes :

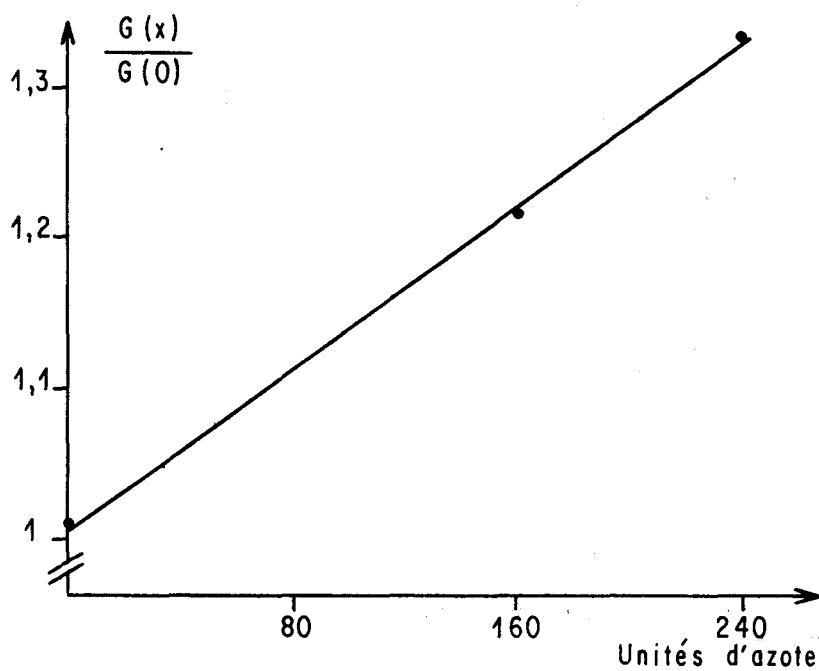
0 N .....	1,008
160 N .....	1,219
240 N .....	1,331

soit un effet pratiquement linéaire comme on peut le voir sur la *figure 1* ; on démontre que la régression linéaire correspondante, qui s'écrit :

$$I = 0,108 \frac{N}{80} + 1,006$$

FIGURE 1

LIAISON ENTRE LA DOSE D'AZOTE  
ET L'INDICE MOYEN DE CONTRIBUTION DES GRAMINEES



Le tableau III rassemble les diverses moyennes obtenues dans le cas de l'interaction année-azote. Il met en évidence un maximum au cours de la seconde année, d'origine probablement climatique, d'autant plus élevé que l'apport azoté est plus fort :

Apport azoté	Gain la deuxième année
0	0,08
160	0,16
240	0,20

TABLEAU III

MOYENNES DANS L'INTERACTION ANNEE-AZOTE

<i>Essais</i>	1968	1969	1970	1971	1972
0 N	1,004	1,084	0,955	0,992	1,004
160 N	1,152	1,314	1,240	1,195	1,194
240 N	1,233	1,438	1,357	1,344	1,286

Le *tableau IV* regroupe les diverses moyennes obtenues dans le cas de l'interaction saison-azote. Il n'est pas possible de considérer que l'effet de l'azote est linéaire en chaque saison et, de plus, on montre que les différences entre le printemps et l'été augmentent d'une manière plus que proportionnelle à l'apport azoté. En fait, on peut exprimer les variabilités du *tableau IV* par des fonctions exponentielles :

$$I_p = 1,013 \exp. (0,085 \frac{N}{80})$$

pour le printemps, et :

$$I_e = 1,003 \exp. (0,104 \frac{N}{80})$$

pour l'été. Dans ces expressions, on retrouve le retard estival du traitement 0 N [ $I_e(0)$   $I_p(0)$ ] et l'action plus forte de l'azote en été qu'au printemps, qui se traduit par une pente plus forte ( $I'_e(0) = 0,104$  et  $I'_p(0) = 0,085$ ).

TABLEAU IV

MOYENNES DANS L'INTERACTION SAISON-AZOTE

<i>Azote</i>	<i>Printemps</i>	<i>Eté</i>
0	1,013	1,003
160	1,207	1,230
240	1,301	1,362

Le *tableau V* réunit les moyennes correspondant à l'interaction essai-azote ; son examen conduit aux remarques suivantes :

- de 0 à 160 N, l'augmentation relative de l'indice de contribution est sensiblement la même d'un essai à l'autre ;
- au-delà de 160, deux essais présentent un effet moins que proportionnel (Cantal et Mayenne) et les trois autres un effet plus que proportionnel.

*TABLEAU V*  
MOYENNES DANS L'INTERACTION ESSAI-AZOTE

<i>Essais</i>	<i>Azote</i>		
	0	160	240
Cantal .....	1,021	1,225	1,257
Haute-Marne .....	1,013	1,245	1,406
Mayenne .....	0,900	1,132	1,164
Meurthe-et-Moselle .	1,027	1,193	1,296
Savoie .....	1,078	1,300	1,534

Ces regroupements ont été étudiés par une analyse de la courbure dans un ajustement parabolique par la méthode des contrastes ; on a pu mettre en évidence que les différences observées n'étaient pas significatives. Par conséquent, on peut, en première approximation, estimer que malgré l'existence de réactions « plus ou moins que proportionnelles » selon les essais, les effets pouvaient être considérés comme linéaires. Les pentes correspondantes sont les suivantes, par ordre croissant :

Cantal .....	0,0810
Meurthe-et-Moselle .....	0,0890
Mayenne .....	0,0907
Haute-Marne .....	0,1295
Savoie .....	0,1479

Analysées elles aussi par la méthode des contrastes, elles se scindent en deux groupes à l'intérieur desquels les différences ne sont pas significatives mais entre lesquels elles sont hautement significatives. Le premier groupe rassemble les essais du Cantal, de la Meurthe-et-Moselle et de la Mayenne, le second réunit les essais de la Haute-Marne et de la Savoie. Dans le premier, la pente moyenne

est 0,087 ; dans le second, elle est de 0,139. Il est remarquable de noter que le premier groupe comporte les essais dont la contribution graminéenne est supérieure à la moyenne (58,4).

Les courbes correspondantes se ramènent donc à deux ensembles de droites parallèles qui passent par les points moyens de chaque essai. Or, on montre que trois de ces points, correspondant aux essais de la Haute-Marne, du Cantal et de la Meurthe-et-Moselle, ne sont pas significativement différents l'un de l'autre ; ils peuvent être remplacés par leur moyenne. En définitive, les courbes de variation se ramènent à quatre droites selon les combinaisons indiquées sur le *tableau VI*. Ces droites ont pour équation :

— Savoie :

$$I = 0,139 \frac{N}{80} + 1,072$$

— Meurthe-et-Moselle et Cantal :

$$I = 0,087 \frac{N}{80} + 1,042$$

— Haute-Marne :

$$I = 0,139 \frac{N}{80} + 0,955$$

— Mayenne :

$$I = 0,087 \frac{N}{80} + 0,920$$

#### Analyse plus fine des processus mis en évidence :

Par définition,  $I = C(x)/C(0)$  où  $C(x)$  est la contribution moyenne à la dose  $x$  et  $C(0)$  la contribution initiale ; par définition encore,  $C(x) \leq 100$ . Il en résulte que  $I$  est borné supérieurement par :

$$I_m = \frac{100}{C(0)}$$

et inférieurement par :

$$I_m = \frac{0}{C(0)} = 0$$

La courbe de variation de  $I$  admet donc deux asymptotes horizontales :  $0$  et  $100/C(0)$  ; elle est située au-dessus de la première (parce que  $I > 0$ ) et en dessous de la seconde [parce que  $I < 100/C(0)$ ].

La valeur  $x_M$  de  $x$  au-delà de laquelle on ne peut plus obtenir d'augmentation de  $I$  ne dépend que de  $C(0)$  ; en effet :

$$\frac{100}{C(0)} = a x_M + b$$

donne

$$x_M = \frac{1}{a} \frac{(100 - b C(0))}{C(0)}$$

En conséquence, lorsque, dans une série d'essais, on écrit qu'en moyenne la liaison entre l'indice de contribution et l'apport azoté est de la forme

$$I = ax + b,$$

cela ne correspond pas à *une* courbe, mais à une famille de courbes suivant les valeurs de  $C(0)$  dans les différents essais.

Or, on a vu qu'entre l'indice de contribution des graminées et l'apport d'azote existait la relation :

$$I = 0,108 x + 1,006$$

que l'on peut écrire, sans perdre beaucoup d'informations :

$$I = 0,11 x + 1$$

La valeur de  $x_M$  sera donnée par :

$$x_M = \frac{900 - 9 C(0)}{C(0)}$$

d'où, à titre d'exemple

$C(0)$	$x_M$
80	2,25
75	3
70	3,86
65	4,84
60	6



La conséquence en est que, eu égard au problème traité des contributions, ce serait un gaspillage de dépasser  $x = 3$  lorsque  $C(0) = 75$  ; or, on a vu que l'on avait les valeurs suivantes pour chacun des essais :

Cantal .....	64,1
Haute-Marne .....	50,9
Mayenne .....	76,6
Meurthe-et-Moselle .....	66,5
Savoie .....	34,2

par conséquent, dans la mesure où le but recherché est d'augmenter la teneur en graminées de la végétation, les essais ne peuvent valoriser que les doses maximales suivantes :

Cantal .....	400 M
Haute-Marne .....	729 M
Mayenne .....	250 M
Meurthe-et-Moselle .....	380 M
Savoie .....	960 M

Ceci, toutes choses égales par ailleurs ; en effet, aux doses très fortes, une végétation nitrophile peut s'implanter et supplanter la végétation originelle. Il va de soi que cette conclusion chiffrée ne concerne que la teneur globale en graminées ; d'autres points de vue (teneur en légumineuses, en une espèce définie, production brute...) conduiraient à des conclusions qui, pour être de même nature, n'en correspondraient pas moins à des seuils très différents.

Notons que la valeur calculée pour  $x_M$  lorsque  $C(0) = 75$  est de 3, soit 240 unités d'azote, ce qui est précisément l'apport effectué dans ces essais ; or, dans l'essai de la Mayenne, on a  $C(0) = 77$  ; on peut donc prévoir un plafonnement de la valeur de  $I$  et c'est ce qui peut être observé sur la figure 2.

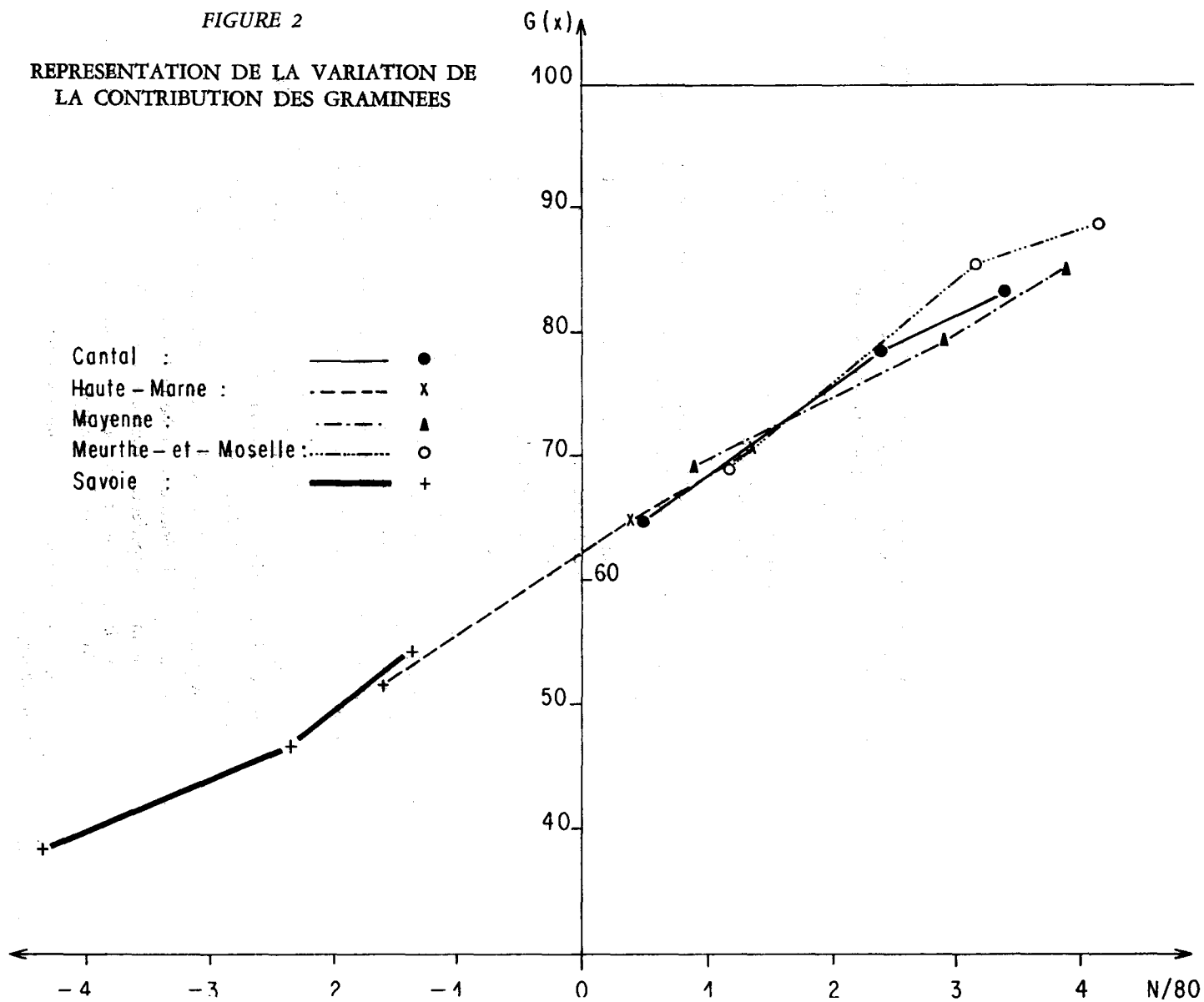
Reprenons les contraintes signalées pour la variation de  $C(x)$  :

- asymptote inférieure et courbe au-dessus de celle-ci ;
- asymptote supérieure et courbe en dessous de celle-ci ;
- variation croissante monotone, et pratiquement linéaire dans un large domaine, entre ces deux asymptotes.

Une des fonctions les plus simples remplissant ces conditions est la fonction logistique.

FIGURE 2

REPRESENTATION DE LA VARIATION DE  
LA CONTRIBUTION DES GRAMINEES



Les courbes de la Savoie et de la Haute-Marne semblent correspondre à la partie inférieure de la courbe logistique (concavité tournée vers le haut) ; ce sont les essais qui présentent les plus faibles valeurs de  $C(0)$ . Les courbes correspondant aux essais du Cantal et de la Mayenne ont la concavité tournée vers le bas et semblent correspondre à la partie supérieure de la courbe logistique. Toutes ces courbes sont représentées sur la *figure 2*, après retour aux valeurs initiales  $I(x) \times C(0)$ . Sur cette figure, l'intervalle  $x_i/x_{i+1}$  est conservé, mais des déplacements par translation latérale, sans rotation, ont été effectués pour placer les diverses courbes dans le prolongement l'une de l'autre. Sur cette figure, qui comporte des valeurs négatives de  $x$ , l'abscisse ne représente plus directement l'apport d'azote, mais un état phytotrophique relatif vis-à-vis de l'azote assimilable.

L'ajustement d'une courbe logistique à la *figure 4* donne :

$$c(x) = 100 - \frac{75}{1 + e^{0,075 x}}$$

L'ordonnée de l'asymptote inférieure est  $C(-\infty) = 25$  ; en d'autres termes, dans la mesure où les cinq essais sont bien représentatifs de la prairie permanente au sens large (ce qui n'est pas prouvé), le taux minimal de graminées dans le tapis végétal est de 25 %.

Laure DAGET-BERTOLETTI,  
*Guzargues.*

Philippe DAGET,  
C.N.R.S., Centre Emberger, Montpellier.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DAGET-BERTOLETTI L. (1975) : *Prairie permanente - Evolution de la contribution des catégories fourragères en fonction de la fumure azotée - Sensibilité des espèces aux traitements*, I.T.C.F., Paris, 44 p.

DAGET-BERTOLETTI L. et DAGET Ph. (1974) : « Expression empirique de la sensibilité des espèces dans une prairie permanente soumise à des traitements comportant plusieurs niveaux », *Fourrages*, 57, 121-131.

DAGET Ph. (1976) : *Analyse des modifications des contributions d'ensemble à la constitution du tapis végétal des trois catégories fourragères : graminées, légumineuses, plantes diverses, dans cinq essais pluri-annuels sur prairie permanente*. 80 p.

*Fumure azotée et flore des prairies permanentes*