

POTENTIALITÉS DES PRAIRIES PERMANENTES DANS LE HAUT LIMOUSIN

CONTEXTE PEDOCLIMATIQUE ET PROTOCOLE EXPERIMENTAL

UNE VIEILLE PRAIRIE PERMANENTE SITUÉE A ESPARTIGNAC EN CORREZE, AU CŒUR DU HAUT-LIMOUSIN (ALTITUDE 420 M), PRÉCEDEMMENT PATURÉE PAR DES MOUTONS une grande partie de l'année et souvent fauchée en juillet pour le foin, a été conduite de 1964 à 1971 sous un régime de fauches régulières et sous diverses modalités de fumure minérale.

Les buts de cette expérimentation étaient :

- la mise en évidence du potentiel de production d'une prairie composée d'espèces spontanées dans des conditions de climat et de sol assez largement répandues sur les marches ouest du Massif Central ;
- l'étude de la fumure minérale la mieux adaptée à l'expression de ce potentiel.

I. - Le climat et la période de végétation active

Sous influence atlantique, le plateau limousin supporte des températures modérément froides en hiver et dès le mois de mars la température moyenne mensuelle dépasse très fréquemment le zéro de végétation ; la prairie verdit

mais elle n'entre en croissance qu'en avril ; la pousse de l'herbe devient très rapidement explosive en mai avec la montée des épis des graminées ; l'herbe est prête à faucher en fin mai (stade « épiaison »). Toutefois la température (voir annexe I) n'est pas le seul facteur limitant durant la période de croissance accélérée des graminées ; l'énergie disponible pour la photosynthèse qui dépend de la durée du jour et de l'ensoleillement, joue aussi un grand rôle. Exposé aux vents d'ouest humides, le plateau limousin est assez bien arrosé : 1.100 mm par an en moyenne à Uzerche, avec une répartition de type atlantique, c'est-à-dire une sécheresse relative en été. D'après l'étude d'Usselman sur les besoins en eau des cultures en France, il n'y a guère de déficit en eau avant juin dans cette région. Le tableau I donne la valeur en mm des déficits de fréquence biennale, quinquennale ou décennale pour un sol dont la réserve facilement utilisable est de 50 mm, à Saint-Yrieix-la-Perche, sur la période 1947-1962.

TABLEAU I
DEFICITS OBSERVES A SAINT-YRIEIX (RFU = 50 mm)

<i>Fréquence</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juillet</i>	<i>Août</i>	<i>Septembre</i>
Biennale	0	22	38	19	0
Quinquennale	3	66	108	74	6
Décennale	16	92	117	97	37

Une sécheresse relative est le cas le plus fréquent en juin, juillet et août ; le facteur climatique limitant la production durant cette période est donc la quantité des précipitations ; en revanche, l'ensoleillement est intense, les températures sont suffisantes et favorables à la croissance, à l'exception de rares périodes très chaudes.

En septembre et octobre, la lumière redevient un facteur limitant ; les températures nocturnes beaucoup plus élevées qu'au printemps entraînent un faible bilan photosynthèse - respiration, la croissance de l'herbe est faible.

II. - Situation topographique, géologique et pédologique

L'essai est situé sur une pente douce (à 5 %) sur le plateau d'Espartignac, dans la zone des gneiss supérieurs sur amphibolites ; le sol est un sol hydromorphe à pseudogley développé sur 55 cm environ ; l'enracinement est excellent jusqu'à 35 cm bien que de nombreuses taches de couleur rouille soient visibles dès 4 cm. La tranche 35-55 cm est peu colonisée par les racines et

correspond à l'horizon de stagnation de la nappe temporaire et d'accumulation des argiles.

TABLEAU II
CARACTERISTIQUES DE LA TEXTURE

Texture en ‰ de terre fine

Horizon	Profondeur (cm)	Colloïdes minéraux	Limon 2 à 20 μ	Sables 20 à 200 μ	Matière organique
A ₁	0-5	224	210	317	154
	5-15	239	228	399	84
Ag	15-35	226	221	506	25
Bg	35-55	267	276	442	15

a) *Estimation de la réserve en eau du sol.*

La réserve en eau du sol est difficile à évaluer, l'alimentation pouvant se faire en partie grâce à l'eau de la nappe qui peut être alimentée par une circulation latérale de l'eau à l'intérieur du sol le long de la pente et peut maintenir l'humidité des horizons supérieurs par capillarité.

Toutefois sur un gazon très couvrant, la demande instantanée est forte durant la saison de végétation ; la réserve facilement et rapidement utilisable se résoud à celle qui est relative à la fraction du sol bien exploitée par les racines.

TABLEAU III
ESTIMATION DE LA RESERVE EN EAU

Horizon	Capacité de rétention	Densité apparente	Réserve utilisable en mm
0-15 cm	12,5 %	1,0	19
15-35 cm	20 %	1,4	56
35-60 cm	20 %	1,6	80

La réserve facilement utilisable est estimée égale aux 2/3 de la réserve utilisable (tableau III) dans les 35 premiers cm où l'enracinement est dense

$$\text{soit } \frac{75 \times 2}{3} = 50 \text{ mm environ.}$$

b) *Etat chimique du sol (tableau IV).*

Le pH du sol est acide (5,0 à 5,5) dans toute son épaisseur ; les teneurs en cations échangeables sont faibles surtout entre 15 et 35 cm, horizon fortement exploité par les racines sans possibilité de restitutions importantes. Dans les 15 premiers centimètres, le rapport 100 K/Ca + Mg est supérieur à 4 et correspond donc à des conditions favorables à la nutrition potassique ; d'ailleurs cet horizon 0-15 cm contient encore en fin d'essai environ 180 et 260 kg/ha de potassium assimilable respectivement sur les parcelles témoin et sur les parcelles (NPK)₂. L'absence de réponse du rendement à la fumure potassique seule (voir plus loin) indique que ce facteur ne limite pas la production du témoin sans fumure. Les teneurs en acide phosphorique assimilable (P₂O₅ extrait par la méthode Dyer) indiquent une très grande pauvreté en cet élément.

TABLEAU IV
CARACTERES CHIMIQUES DU SOL

Profondeur cm	pH	Ech. K meq/ 100 g	Rapport 100 K/ Ca+Mg	P ₂ O ₅ (Dyer) ‰	Azote ‰	C/N
0- 5	5,5	0,65	6	0,05	7,0	13
5-15	5,3	0,19	4	0,03	4,5	11
15-35	5,5	0,05	3	0,01	1,5	10
35-55	5,3	0,05	2	0,001	0,6	7

III. - Caractéristiques de la végétation

Le système mixte pratiqué avant 1964, pâture prolongée des moutons et fauche une fois par an (ou un an sur deux) a favorisé une végétation entièrement herbacée.

A l'origine de l'essai les bonnes graminées (ray-grass anglais, dactyle, fléole) sont très rares ; l'agrostide, la flouve, la fétuque rouge, la crételle, les paturins et le brome mou sont les espèces les plus fréquentes.

Les légumineuses sont représentées par le trèfle blanc, le trèfle violet et le lotier corniculé.

La proportion des plantes diverses est importante, avec surtout des renoncules, carex, joncs (par endroits), le plantain lancéolé, la petite oseille et la cardamine des prés.

L'alternance des excès d'eau et de la sécheresse est bien marquée par cette végétation.

IV. - Le protocole de fertilisation et la conduite de la prairie

a) La fertilisation

Dix traitements avec diverses modalités et niveaux de fumure minérale ont été appliqués selon un dispositif en blocs de Fischer à 4 répétitions (tableau V).

TABLEAU V
TRAITEMENTS DE FERTILISATION

N°	Traitements de fertilisation	Dénomination	Apport moyen annuel kg/ha
1	Témoin sans fumure	NPK ₀	0
2	Azote dose faible	N ₁	54 (30 + 24)
3	Azote dose forte	N ₂	124 (78 + 46)
4	Acide phosphorique dose faible	P ₁	50
5	Acide phosphorique dose forte	P ₂	152
6	Potasse dose faible (K ₂ O) ..	K ₁	50
7	Potasse dose forte (K ₂ O)	K ₂	127
8	Azote + P ₂ O ₅ + K ₂ O doses faibles	(NPK) ₁	54-50-50 (N : 30 + 24)
9	Azote + P ₂ O ₅ + K ₂ O doses fortes	(NPK) ₂	124-152-127 (N : 78 + 46)
10	Azote + P ₂ O ₅ + K ₂ O doses intermédiaires	(NPK) _{1,2}	91-100-91 (N : 53 + 38)

Les niveaux de fumure P et K ont subi des ajustements après une première phase d'enrichissement du sol et de contrôle des rendements et des exportations :

- traitement P₂ : 200 kg/ha de P₂O₅ en 1964 et 1965, puis dose de 130 à 150 kg de 1966 à 1971 ;
- traitement K₂ : 200 kg/ha de K₂O en 1964 puis maintien d'une dose de 100 kg/ha de 1965 à 1967 et de 130 kg/ha de 1968 à 1971 ;
- traitement P_{1,2} : doses de 120 kg/ha de P₂O₅ en 1964 et 1965 puis 90-100 kg de 1966 à 1971 ;
- traitement K_{1,2} : doses de 100 à 120 kg en 1964 et 1965, puis 80 à 90 kg de 1966 à 1971 ;
- traitements P₁ et K₁ : toujours maintenus à 50 et 50 kg.

La fertilisation azotée a suivi une augmentation progressive au fur et à mesure que se révélait l'aptitude de la prairie à répondre à cette fumure (tableau VI).

TABLEAU VI
REPARTITION DE LA FUMURE AZOTEE

	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
N ₁	30	30	30 + 40	30 + 30	30 + 30	30 + 30	30 + 30	30 + 30
N ₂	60 + 40	70 + 40	70 + 40	70 + 50	80 + 50	90 + 50	90 + 50	90 + 50
N _{1,2}	40 + 30	50 + 30	50 + 40	50 + 40	55 + 40	60 + 40	60 + 40	60 + 40

Les formes d'apport étaient les suivantes :

- N = ammonitrate à 33,5 % d'azote ;
- P₂O₅ = scories à 18 % ;
- K₂O = chlorure de potassium à 60 %.

La fumure PK a été apportée en cours d'hiver (en décembre ou janvier) et la fumure azotée aux dates indiquées dans le tableau VII.

TABLEAU VII
DATES D'APPORT DE LA FUMURE AZOTEE

	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
1 ^{er} apport	13/2	5/2	23/2	10/2	14/3	13/3	20/3	23/3
2 ^e apport	17/6	29/6	17/6	16/6	12/6	4/7	10/6	13/7

b) Le régime d'exploitation

La prairie a été exploitée en tenant compte des possibilités de production de chaque période : la période printanière se termine fin mai début juin par une coupe de foin abondante ; ensuite, la repousse subit une sécheresse relative assez fréquente ; une deuxième coupe a lieu entre la fin juillet et la mi-août ; elle donne un regain d'importance variable.

La fin de l'été ne permet généralement pas une pousse abondante ; il n'y a pas eu de troisième coupe mais simplement une pâture par des moutons.

Prairies permanentes

c) *Les contrôles et mesures*

Les rendements ont été mesurés à l'occasion des coupes (tableau VIII) ; donc la troisième pousse n'a pas été mesurée. L'absence de deuxième récolte en 1969 est accidentelle.

TABLEAU VIII
DATES DE RECOLTES

	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
1 ^{re} coupe	9/6	11/6	26/5	2/6	18/5	6/6	30/5	2/6
2 ^e coupe	31/7	12/8	1/8	29/7	27/7	néant	27/7	18/8

Des analyses de fourrage ont été faites sur des échantillons de matière sèche des parcelles témoin et des parcelles (NPK)₂ permettant le calcul de la valeur fourragère et des exportations en azote, phosphore, calcium, magnésium et potassium.

Une analyse quantitative de la végétation a été faite le 5 mai 1971 selon la méthode de la poignée de Devries sur les mêmes traitements.

RESULTATS ET DISCUSSION

I. - Action du climat sur les rendements en matière sèche

On constate des différences de rendement hautement significatives entre années et ce fait est encore plus marqué lorsqu'on distingue les deux coupes.

On peut attribuer ces différences principalement à deux causes de variations : d'une part à l'évolution des doses d'engrais appliquées au cours de l'essai et, d'autre part, aux variations climatiques.

Pour étudier séparément le rôle du facteur climatique, on a calculé la production correspondant à une fertilisation de 60 unités d'azote au printemps et 40 à la repousse, à partir des rendements obtenus dans les traitements (NPK)₂ et (NPK)_{1,2}. En opérant ainsi, on suppose que la fertilisation phosphopotassique ne différencie pas ou peu des rendements entre (NPK)_{1,2} et (NPK)₂ (P₂O₅ = respectivement 100 et 152 kg/ha et K₂O = 91 et 127 kg/ha/an en moyenne).

Effectivement, le bilan de P_2O_5 est largement positif dans les deux cas. Le bilan de la potasse est déficitaire mais les teneurs restent supérieures à 1,9 %, seuil au-dessus duquel on n'a pas observé d'accroissement de rendement dans cet essai par l'apport d'une fumure potassique supplémentaire.

BILAN DE LA FUMURE PHOSPHOPOTASSIQUE
SOUS LES TRAITEMENTS NPK_2 et $NPK_{1,2}$

P_2O_5	Importations	Exportations	Totaux de huit années		
NPK_2 $NPK_{1,2}$	1.216 800	470 < 470			
K_2O	Importations	Exportations	Fourniture du sol	Teneur du fourrage	Rendement moyen qx/ba/an
NPK_2 $NPK_{1,2}$ Témoin sans fumure	1.036 728 0	1.641 1.242 à 1.333 514	605 514 à 605 514	2,2 1,9 à 2 1,9	82,2 72,9 33,9 *
Fumure K_1 Fumure K_2	400 1.036	> 514 > 514	faible nulle	\geq 1,9 > 1,9	37,0 * 33,1 *

Parallèlement, on a calculé l'évapotranspiration potentielle (ETP) d'après la formule de Turc (1961) et le déficit en eau sur la base des températures moyennes mensuelles mesurées à Limoges (1) (alt. 285 m) avec une correction de $-0,5^\circ$ pour tenir compte de l'effet de l'altitude ; de l'ensoleillement mesuré à Limoges ; et des précipitations recueillies à Uzerche, à 4 km du site de l'essai (voir Annexe I).

On a calculé les valeurs ETP des deux cycles de pousse de l'herbe et la valeur moyenne journalière de ETP.

Les tableaux IX et X donnent les productions obtenues et les valeurs d'ETP correspondantes pour les cycles de croissance, ainsi que l'ETP durant deux périodes standard : du 1^{er} mars au 31 mai et du 1^{er} juin au 31 juillet. La grande similitude des valeurs d'ETP journalière des périodes réelles de

(1) Le bilan $ETP - (P + r)$ est pris en considération pour le calcul de l'évapo-
transpiration réelle ETR et du niveau d'alimentation en eau $\frac{ETR}{ETP}$. Pendant les huit
années de notre expérimentation, ce niveau a été de 100 % de l'ETP durant le premier
cycle ; la sécheresse, partielle, n'intervient qu'au second cycle (tableau XIII).

croissance et des périodes à dates fixes correspondantes, permet d'envisager la généralisation des résultats de matière sèche obtenus.

TABLEAU IX
RELATION ENTRE LA DEMANDE CLIMATIQUE ETP
ET LE RENDEMENT AU PREMIER CYCLE (mars-avril-mai)
 (Référence 60 N + PK)

Année	Durée du cycle en jours	Rendement q/ba	Croît journalier kg/ba/jr	ETP (TURC) du 1 ^{er} mars à la coupe		ETP (TURC) du 1 ^{er} mars au 31 mai	
				totale	mm/jour	totale	mm/jour
1964	100	48,8	48,8	217	2,17	188	2,04
1965	102	56,9	55,8	181	1,78	158	1,72
1966	86	52,0	60,5	172	2,00	196	2,13
1967	93	67,0	72,1	190	2,04	188	2,04
1968	78	48,0	61,5	146	1,87	177	1,92
1969	97	62,0	63,9	184	1,90	173	1,88
1970	90	45,1	50,1	153	1,70	160	1,74
1971	93	60,0	64,5	183	1,96	176	1,91

L'ETP du 1^{er} mars au 1^{er} juin est comprise dans les limites 177 ± 27 mm avec la probabilité 0,95, soit $1,97 \pm 0,30$ mm/jour.

TABLEAU X
RENDEMENT ET ETP AU DEUXIEME CYCLE (juin-juillet)
 (Référence 40 N + PK)

Année	Rend. en M.S. q/ba	Nbre de jours	Rend. en M.S. kg/ba/j.	ETP (Turc) de la 1 ^{re} à la 2 ^e coupe en mm/ba		ETP (Turc) du 1 ^{er} juin au 31 juillet en mm/ba	
				totale	journalière	totale	journalière
1964	18,4	52	35,4	220	4,23	256	4,19
1965	13,1	62	21,1	210	3,39	214	3,51
1966	37,1	67	55,4	220	3,28	206	3,38
1967	18,8	57	33,0	230	4,04	245	4,02
1968	39,5	70	56,4	230	3,29	219	3,59
1969	—	—	—	—	—	207	3,39
1970	21,5	58	37,1	220	3,79	229	3,75
1971	23,3	77	30,3	270	3,51	212	3,47

a) *Premier cycle*

Ainsi, au premier cycle, on n'observe pas de sécheresse. Malgré l'imperfection des données climatiques disponibles et les ajustements effectués pour la caractérisation climatique de la station, on met en évidence une relation linéaire entre la croissance journalière et l'ETP moyenne journalière de la période du 1^{er} mai au 31 mai.

$$(1) \quad y = 51,2 x - 35,8$$

avec $r = + 0,893$ (v. fig. 1)

$y = MS$ en kg/ha/jour

$x = ETP$ en mm/jour

Le test du coefficient de corrélation différent de zéro est significatif au seuil $P = 0,01$.

Remarque. — La valeur correspondant à la première coupe de 1964, c'est-à-dire à la première fauche après la mise en place de l'essai, a été écartée du calcul de régression : nous avons considéré que cette référence correspondait à une fauche de nettoyage de régularisation et était par conséquent peu représentative.

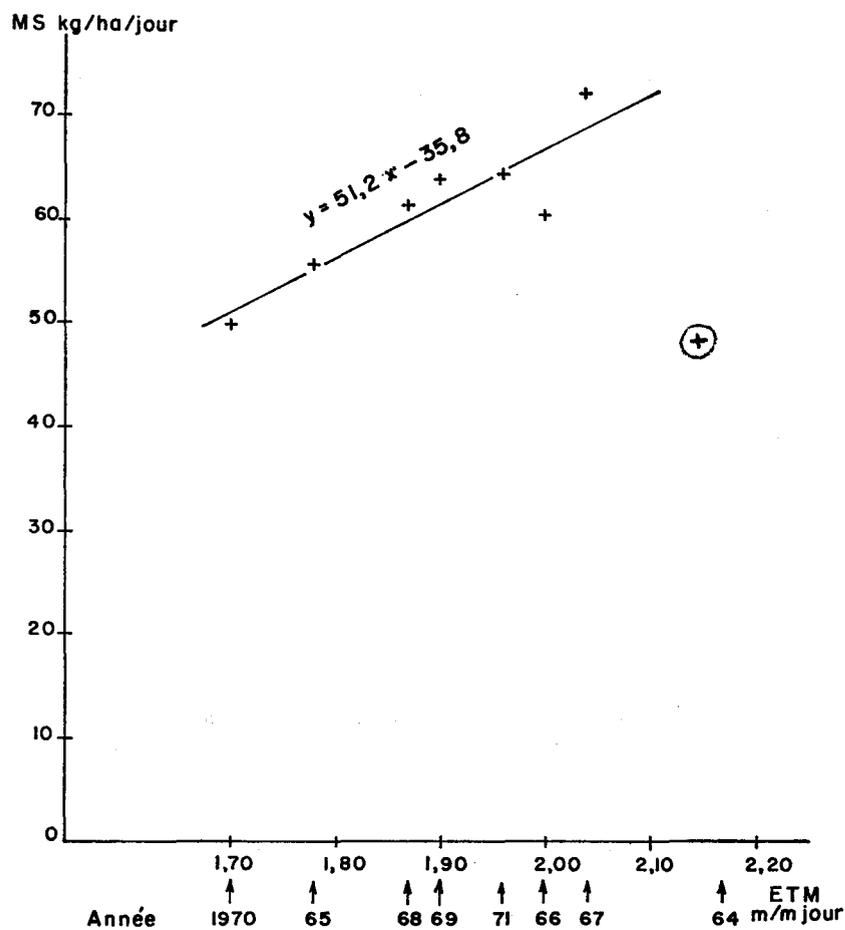
Il est intéressant de noter que le mode d'utilisation des données climatiques mis au point par Turc pour l'expression d'une consommation d'eau potentielle s'avère un bon indice climatique de production fourragère pour cette période de l'année, mars à mai, durant laquelle la productivité dépend essentiellement des facteurs température et ensoleillement. Nous avons essayé, sans succès, d'établir les corrélations directes avec l'un ou l'autre de ces facteurs.

Cette utilisation particulière de l'indice de Turc est liée au domaine climatique des ETM basses ; elle ne peut évidemment pas s'appliquer hors de cette période de référence du 1^{er} mars au 31 mai et hors de cette zone de climat océanique.

En effet, aux ETM élevées, Alberda (1965) a montré que les graminées peuvent souffrir de températures supérieures à 25 ou 30° ; par ailleurs, d'après Robelin (1), une prairie de fétuque élevée, cultivée dans une enceinte maintenue à 20°, manifeste une assimilation du CO₂ croissant presque linéairement avec l'intensité lumineuse.

La relation ci-dessus permet de faire une prévision raisonnée de la production au 1^{er} juin pour les régions situées dans des conditions voisines de celles de notre essai ; nous avons analysé dans ce but les données climatiques de

FIGURE 1
RELATION ENTRE LE CROIT JOURNALIER DE M.S.
ET L'INDICE ETP - TURC



dans le Haut-Limousin

Le point cerclé ne rentre pas dans le calcul de régression : il s'agit de la première coupe après la mise en place de l'essai ; l'adaptation de la végétation n'est pas immédiate.

Saint-Yrieix sur une période de vingt-deux années (Annexe II) et calculé les productions pour une première coupe réalisée le 1^{er} juin. La fréquence de différentes classes de rendement peut être ainsi estimée (tableau XI).

TABLEAU XI
FREQUENCE DES RENDEMENTS DE LA PREMIERE COUPE
 (MS en q/ha)

Fréquence de réalisation par classe, calculée sur vingt-deux ans

<i>MS q/ha</i>	<i>Nombre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>	
44 à 49	2	9,1	médiane 62,5 q/ha moyenne 62,9 q/ha
50 à 59	6	27,2	
60 à 69	9	40,9	
70 à 82	5	22,7	
44 à 82	22	100,0	

Le rendement le plus fréquent (1 année sur 3 environ) se situe entre 60 et 70 q de MS/ha.

Ces prévisions entraînent une extrapolation de la courbe au-delà des valeurs observées durant la période expérimentale 1964-1971 :

Gamme des rendements :

- durant la période 1964-1971 : de 44 à 68 q/ha ;
- durant les vingt-deux années 1952-1973 : de 48 à 78.

En fait, la plupart des rendements se retrouvent dans la gamme de 44 à 72 q/ha, ce qui est une fourchette d'extrapolation très tolérable ; par contre, en 1952 et 1961, les rendements calculés s'élèvent à 78 et 79 q/ha ; l'extrapolation de la courbe (2) paraît peu raisonnable jusqu'à des valeurs aussi élevées ; nous retiendrons seulement que les rendements potentiels sont supérieurs à 72 q/ha dans ces deux cas.

Par ailleurs, il faut constater un déficit climatique en 1952, 1953, 1955, 1956, 1957, 1961 et 1973 avec un risque de déficit de l'alimentation en eau en 1955, 1956 et 1961 (1) qui donne à penser qu'en ces trois années, les rendements calculés, 70, 69 et 79 q/ha respectivement, n'auraient pas été atteints en réalité ; mais ces déficits sont modestes. (Voir Annexe II.)

Il paraît finalement plus exact de retenir seulement 3 classes de rendements (tableau XII).

TABLEAU XII
FREQUENCE DE TROIS CLASSES DE RENDEMENTS AU 31 MAI

<i>MS q/ha</i>	<i>Fréquence %</i>	<i>Nb d'années</i>
44 à 49	9,1	2
50 à 59	27,2	6
+ de 60	63,7	14

Ce tableau signifie pratiquement que l'exploitant obtiendra toujours au 1^{er} juin une production supérieure à 40 qx/ha et 9 années sur 10 plus de 50 q/ha, dans les conditions de fertilisation N = 60 kg/ha et P + K annuels = 100 + 100.

b) *Deuxième cycle :*

Au deuxième cycle, les facteurs climatiques ont une action plus complexe : en plus des conditions de lumière et de température, intervient l'alimentation en eau qui est fréquemment limitante pour la production.

En faisant l'hypothèse d'une RFU = 50 mm, il est possible de calculer les disponibilités en eau durant cette deuxième période de croissance ; elles sont égales au reste de la réserve en eau après la première coupe augmenté des pluies utilisables de cette période ; les pluies utilisables sont les pluies effectivement disponibles pour la végétation c'est-à-dire qui ne s'écoulent pas par drainage ou par ruissellement ; dans la pratique du calcul, on fait la somme des pluies décadaires lorsqu'elles sont inférieures au terme ETP-R pour la décade (c'est-à-dire ETP Turc mensuel divisé par trois et diminué de R, le reste de la réserve facilement utilisable du sol) ou la somme des termes ETP-R lorsque les pluies sont excédentaires.

Ces disponibilités en eau rapportées à l'ETP permettent le calcul du *niveau d'alimentation en eau* (Roelin, 1961-1969).

$$\text{Niveau d'alimentation en eau} : = \frac{\text{ETR}}{\text{ETM}} \# \frac{\text{ETR}}{\text{ETP}}$$

où ETR est l'Evapotranspiration Réelle de la couverture végétale sous la contrainte de la sécheresse ;

et où ETM est l'Evapotranspiration Maximale qu'on obtiendrait en maintenant le sol constamment humide par irrigation ; on prend comme valeur d'ETM l'ETP calculée d'après la formule de Turc (1961). (Tableau XIII, col. 1, 2, 3, 4.)

D'après les niveaux d'alimentation en eau et les rendements observés, on peut calculer le rendement maximum théorique qu'on obtiendrait sous irrigation et l'efficience de l'eau correspondante. On calcule $R_{max} = R \times \frac{ETP}{ETR}$; ainsi, on néglige dans ce calcul l'évaporation directe du sol qui est protégé par la couverture prairiale (tableau XIII, col. 5, 6, 7, 8).

TABLEAU XIII
2^e CYCLE - ESTIMATION DES RENDEMENTS MAXIMUM
ET DE L'EFFICIENCE DE L'EAU
D'APRES LES RENDEMENTS OBSERVES ET LE NIVEAU
D'ALIMENTATION EN EAU

<i>Année</i>	<i>ETR</i>	<i>ETP</i>	<i>ETR/ETP</i>	<i>Rendement observé MS kg/ha/j.</i>	<i>Rendement maxim. MS kg/ha/j.</i>	<i>ETP mm/jr</i>	<i>Rendement maxim. ETP</i>
1964	94	224	0,42	35,4	84,3	4,31	19,6
1965	80	222	0,36	21,1	58,6	3,58	16,4
1966	206	229	0,89	55,4	62,2	3,42	18,2
1967	106	233	0,45	33,0	73,3	4,09	17,9
1968	205	233	0,87	56,4	64,8	3,33	19,5
1969	—	—	—	—	—	—	—
1970	108	216	0,50	37,1	74,2	3,72	19,9
1971	197	279	0,70	30,3	43,1	3,62	11,9

L'interprétation du tableau XIII pour la caractérisation des potentialités de croissance durant la période standard du 1^{er} juin au 31 juillet exige un examen critique des périodes de repousse utilisées comme référence :

En 1964, 1966, 1967 et 1970, le deuxième cycle est assez bien « calé » entre la fin mai et la fin juillet ;

74 Par contre, il est plus tardif en 1965 et 1971.

Prairies permanentes

Il n'y a pas eu de mesure de rendement de la 2^e coupe en 1969. Ces données quelque peu disparates rendent difficile l'établissement d'une relation rigoureuse entre le rendement observé, le rendement maximum et les valeurs ETR et ETP.

Toutefois, des comparaisons intéressantes sont possibles entre années pour les périodes homologues (tableau XIV).

TABLEAU XIV
EFFICIENCE DE L'EAU AU DEUXIEME CYCLE
(influence de la date d'épandage de l'azote et de la date de récolte)

<i>Année</i>	1970	1964	1968	1966	1967	1965	1971	<i>Observations</i> (Recherche des facteurs agissant sur l'efficiencia de l'eau.)
Efficiencia MS/ETM kg/mm/ha ..	19,9	19,6	19,5	18,2	17,9	16,4	11,9	
Période de croissance du	30/5	9/6	18/5	26/5	2/6	11/6	2/6	Date de début de cycle = peu d'influence.
au	27/7	31/7	27/7	1/8	29/7	12/8	18/8	Date de récolte = influence modeste.
Durée en jrs	58	52	70	67	57	62	77	Durée du cycle = pas d'influence.
Date d'apport de l'azote ...	10/6	17/6	12/6	17/6	16/6	29/6	13/7	Date d'apport de l'azote = forte influence.

1) Période fin mai-fin juillet (référence 1964, 1966, 1967, 1968 et 1970)

La sécheresse intervient avec une intensité très variable et on a considéré le rendement observé et le niveau d'alimentation en eau comme bases de calcul du rendement maximum ; le petit nombre de points obtenus incite à la prudence dans l'interprétation ; s'il n'est pas possible de calculer une relation précise entre ETP et rendement par suite de l'imprécision du mode

de calcul, on constate toutefois que cette période de l'année est caractérisée par une efficacité de l'eau comprise dans l'intervalle de confiance :

$$19,02 \pm 1,53 \text{ (P = 0,01) (1)}$$

$$\frac{\text{MS}}{\text{ETR}} \text{ en kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$$

2) Période du début juin à mi-août

Les mêmes calculs aboutissent à des résultats inférieurs en 1965, soit 16,4 kg/mm/ha et très inférieurs en 1971, soit 11,9 kg/mm/ha. Le décalage de la récolte vers le milieu d'août n'a, tout compte fait, qu'un effet modeste (réf. 1965); par contre, le retard de l'épandage d'azote diminue fortement la récolte d'août 1971 bien que les conditions climatiques de ce dernier mois aient été favorables.

Ainsi, les basses efficacités de l'eau observées lorsque le cycle de croissance est décalé vers le milieu d'août proviennent du retard de l'épandage de l'azote.

Etude fréquentielle de la sécheresse au deuxième cycle (1^{er} juin-31 juillet) et rendements probables d'une deuxième coupe au 31 juillet d'après les données climatiques de Saint-Yrieix-la-Perche entre 1952 et 1973 (22 ans)

Le niveau d'alimentation en eau $\frac{\text{ETR}}{\text{ETP}}$ dépend de la RFU et des conditions annuelles.

TABLEAU XV
NIVEAUX D'ALIMENTATION EN EAU
FREQUENCES PAR CLASSE (sur vingt-deux ans)

ETR/ETP %	RFU = 30 mm	50 mm	70 mm
20 à 29	1	1	0
30 à 39	0	0	1
40 à 49	5	0	0
50 à 59	2	5	2
60 à 69	2	2	3
70 à 79	2	2	2
80 à 89	3	2	2
90 à 99	3	3	2
100	4	6	10
	22	22	22

(1) Il s'agit d'une estimation à partir d'une formule climatique, qui ne doit pas être confondue avec des valeurs vraies observables.

En prenant comme base de calcul une efficacité de l'eau égale à 15 kg (1) de M.S. par mm évapotranspiré en conditions d'alimentation en eau non limitante, pour la période du 1^{er} juin au 31 juillet, et en considérant le rapport $\frac{ETR}{ETP}$, on a estimé les rendements probables et leur fréquence (tab. XVI).

TABLEAU XVI

RENDEMENTS PROBABLES DE LA REPOUSSE (1^{er} juin-31 juillet)
EN FONCTION DE LA RFU - FREQUENCE SUR VINGT-DEUX ANS

Rendement MS q/ha	RFU 30 mm	RFU 50 mm	RFU 70 mm
5 à 9	1	0	0
10 à 14	0	1	1
15 à 19	7	4	0
20 à 24	4	6	7
25 à 30	4	4	6
30 à 35	6	7	8
5 à 35	22	22	22

En pratique, une RFU de 50 mm et plus correspond au cas le plus général.

Le tableau indique que le rendement de la repousse au 31 juillet, après une première coupe le 1^{er} juin, est toujours supérieur à 10 q/ha de M.S.

1 année sur 22 il est compris entre 10 et 15 q/ha ; 1 année sur 5 il est compris entre 15 et 19 q/ha et 3 années sur 20 il est supérieur à 20 q/ha.

c) *Ensemble des deux premières coupes*

Il y a indépendance entre ETP 1^{re} coupe et niveau d'alimentation en eau à la 2^e coupe. C'est-à-dire qu'une mauvaise récolte au 1^{er} cycle n'entraîne pas forcément une mauvaise récolte au 2^e cycle ou l'inverse.

d) *3^e cycle*

D'août à mi-octobre une certaine croissance de l'herbe est théoriquement possible. Elle n'a pas été mesurée dans cet essai ; la cause principale qui a fait renoncer à cette mesure est la faiblesse des productions qui n'étaient pas aisément récoltables à la motofaucheuse.

L'étude d'Usselman et nos propres constatations durant la période de l'essai montrent que la sécheresse est moins grave durant les deux mois d'août

(1) Marge de sécurité de — 25 % nécessaire parce que le bilan ETP — P — R est fait ici sur le mois sans tenir compte des pluies journalières excédant la réserve du sol.

et septembre. Une repousse est sans doute possible à condition d'apporter une fertilisation azotée dès le début d'août lorsque la photopériode est encore très favorable à la croissance active.

II. - Interaction des conditions climatiques et de la fertilisation sur les rendements

Nous ne parlons dans ce paragraphe que des niveaux de fertilisation dont l'effet moyen est significatif.

Dans le cas d'une fumure ternaire N 60 + PK 100-100 annuels, nous avons établi la relation

$$y_1 = 51,2 x - 35,8 \quad (1)$$

$$\text{avec } r = + 0,893 \quad (\text{HS seuil } P = 0,01)$$

$$y = \text{gain de M.S. en kg/ha/jour} \quad x = \text{ETP mm/jour}$$

Avec N seul (dose 60 kg/ha) (1), on obtient une relation très lâche :

$$y_2 = 15,7 x + 5,1 \quad (2)$$

$$\text{avec } r = + 0,625 \quad (\text{seuil } P = 0,10)$$

Pour les traitements P₁, K₁ et le témoin, aucune relation ne peut être mise en évidence. Toutefois, nous connaissons les exportations d'azote sur le témoin et le traitement (NPK)₂ et nous constatons qu'il existe une relation étroite entre les gains journaliers observés et l'absorption journalière d'azote :

$$y_3 = 60,9 z - 1,72 \quad (3)$$

$$\text{avec } r = + 0,969 \quad (\text{S seuil } P = 0,01)$$

$$y = \text{gain journalier en kg/ha/jour de matière sèche}$$

$$z = \text{quantité d'azote absorbée par jour en kg/ha}$$

L'absorption journalière d'azote varie entre 0,308 et 0,538 kg/ha sur le témoin, la moyenne étant 0,435. En estimant d'après l'équation (3) que les croûts sont pratiquement proportionnels à l'azote disponible, on a calculé pour le témoin les croûts moyens journaliers correspondant à une absorption journalière moyenne d'azote de 0,435 kg N/ha/jour ; ils apparaissent en relation linéaire avec l'ETP - Turc journalière :

$$y_4 = 15,0 x - 4,2$$

$$\text{avec } r = + 0,781 \quad (\text{S seuil } P = 0,05)$$

y_4 = gain journalier théorique du témoin avec alimentation azotée standard de 0,435 kg/ha et par jour d'N et x ETP journalière observée.

FIGURE 2
 CROISS JOURNALIERS DE MATIERE SECHE AU PREMIER CYCLE
 EN RELATION AVEC L'ETP-TURC JOURNALIERE

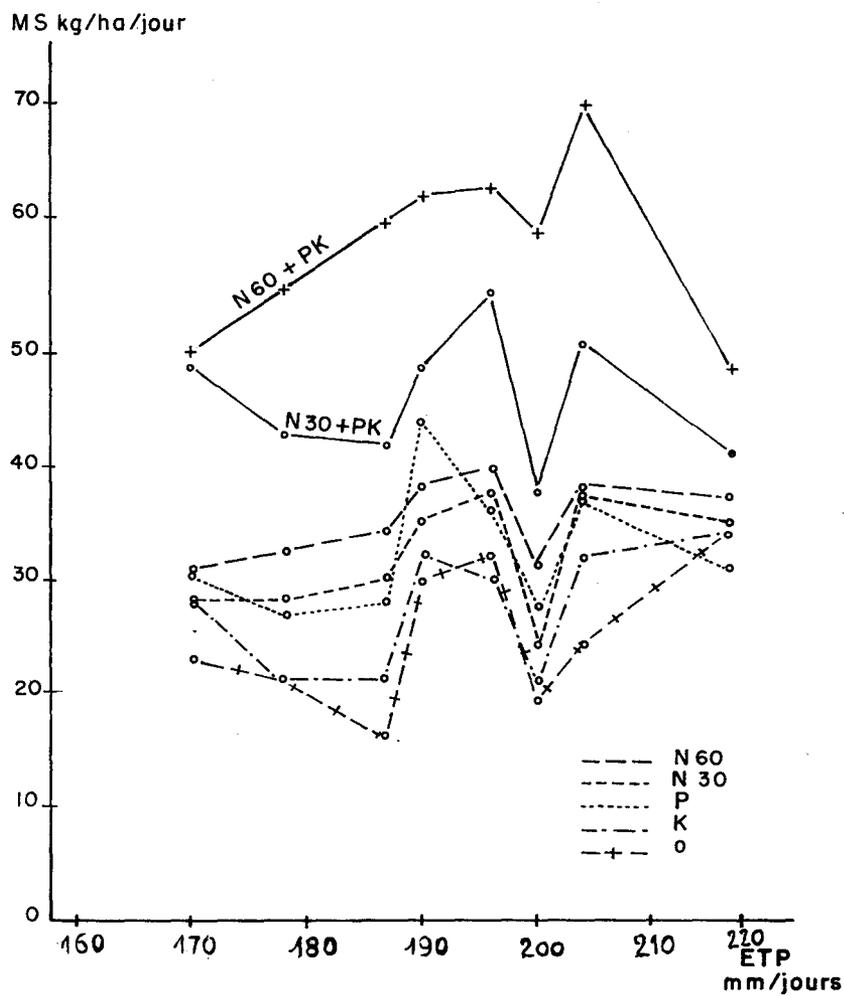
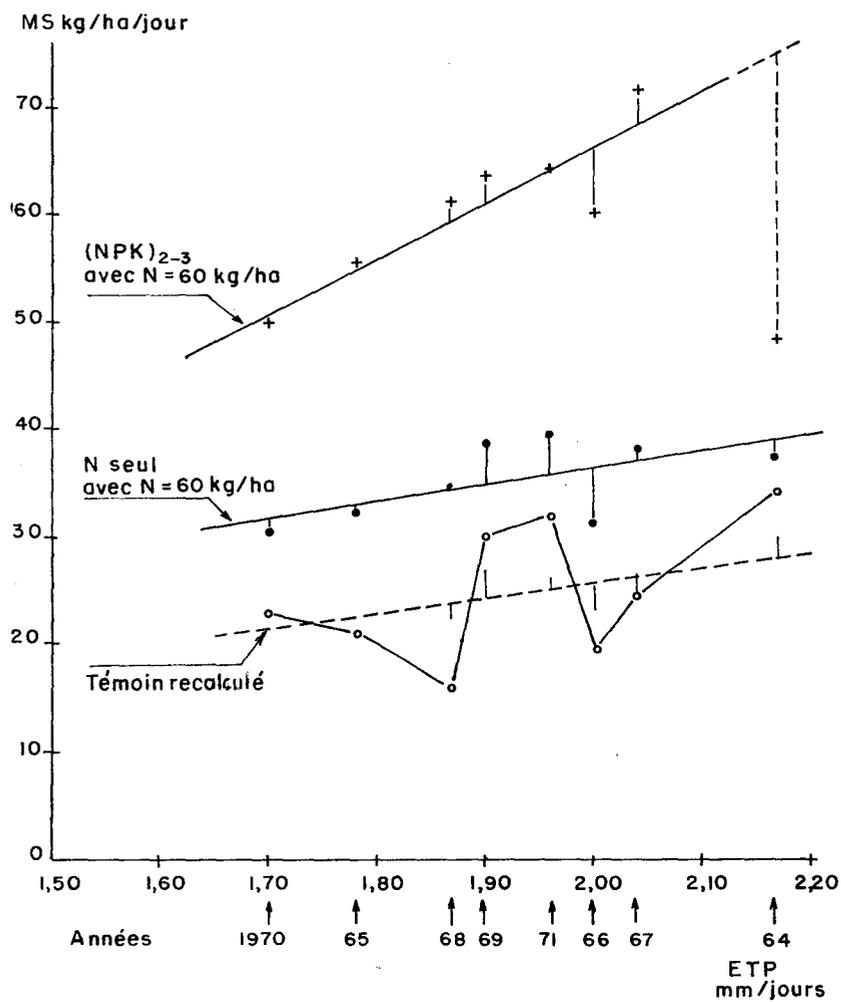


FIGURE 3
ECARTS DES Y OBSERVES AUX Y AJUSTES



Cette relation signifie qu'après avoir éliminé les variations dues à la nutrition azotée, une part du résidu de variabilité s'explique significativement par les variations de l'ETP : la relation à l'ETP était masquée par l'influence de la nutrition azotée, facteur extrêmement contraignant sur le témoin.

Au contraire, sur les parcelles bien alimentées en azote, l'absorption d'azote dépend surtout de l'activité végétative permise par le climat et on observe une relation linéaire directe entre le gain journalier moyen de matière sèche observé et l'ETP moyenne.

Le comportement de la prairie sous le régime K_1 est très proche de celui des parcelles témoins ; quant au régime P_1 , il permet un développement du trèfle blanc très variable selon l'année qui permet un niveau moyen de rendement voisin de celui des parcelles N_1 ($N = 30$ kg/ha/an) avec des fluctuations plus accusées. $NPK_1 = N_{30} + PK$ est lui aussi très fluctuant.

De façon plus générale, on remarque que les fluctuations observées (fig. 2) sur les parcelles témoins et sur les autres traitements sont parallèles ; on peut penser que le niveau de la nutrition azotée permise par le sol sur le témoin et les traitements sans azote ou à faible dose d'azote ($N_1 = 30$ kg/ha) joue un rôle ; on constate que les rendements du témoin recalculés à nutrition azotée constante ne subissent plus que des fluctuations très atténuées (fig. 3).

Deuxième cycle

Au deuxième cycle, nous avons établi sur la base de cinq années d'observation, à dates et à conditions comparables de fertilisation NPK, que l'efficacité de l'eau exprimée en kg par m^3 est située dans l'intervalle $19,02 \pm 0,153$ avec une probabilité de 99 %, bien que les conditions d'évapotranspiration aient varié entre 3,33 et 4,31 mm/jour (selon la formule de Turc).

Sous les autres traitements, l'efficacité apparente de l'eau est inférieure et beaucoup plus variable d'une année à l'autre (tableau XVII). Les rendements des parcelles « témoins », « K_1 » et « N_{40} » (1) sont sensibles aux ETP fortes : l'efficacité de l'eau est plus forte avec une ETP (Turc) basse qu'avec une ETP forte ; en fait, la faible productivité de ces parcelles et le développement moins important de leur végétation a pu aboutir à une ETR inférieure à celle que nous avons calculée, à une interception moindre de la lumière et à une surélévation défavorable de la température au sein de la végétation (Alberda, 1965) : tous ces facteurs agissent dans le sens d'une diminution de l'efficacité apparente de l'eau.

TABLEAU XVII
EFFICIENCE DE L'EAU AU DEUXIEME CYCLE
SELON LE NIVEAU DE FERTILISATION

	1968	1966	1970	1967	1964	1965	1971	<i>Moyennes par classes d'ETP (1965 et 71 exclus) mm/ha/jr</i>	
Période du	18/5	26/5	30/5	2/6	9/6	11/6	2/6		
au	27/7	1/8	27/7	29/7	31/7	0,36	18/8		
ETR/ETP.	0,87	0,89	0,50	0,45	0,42	12/8	0,70		
ETP/jour .	3,33	3,42	3,72	4,09	4,31	3,58	3,62	3,33 à 3,72 moy. 3,50	4,09 à 4,31 moy. 4,20

EFFICIENCE DE L'EAU MS kg/m ³									
Témoin .	0,84	1,24	1,05	0,68	0,69	0,46	0,63	} 1,08 **	0,71
K1	1,02	1,23	1,10	0,69	0,78	0,51	0,70		
P1	1,14	1,50	1,27	0,79	1,23	0,85	0,74	1,30 NS	1,01
N ₀ O	1,32	1,52	1,33	1,01	1,01	0,94	0,85	1,39 **	1,01
N40+PK	1,95	1,82	1,91	1,79	1,96	1,64	1,19	1,92 NS	1,88
Moyenne .	1,25	1,46	1,35	1,00	1,13	0,88	0,82		

(1) Même remarque qu'au 1^{er} cycle : N₀ = interpolation linéaire entre N₁ et N₂.

Sous le traitement P₁ la tendance est la même, mais le phénomène n'est plus significatif : le comportement du trèfle blanc qui est abondant dans ce cas et a de fortes exigences en lumière et en température, et possède des limbes foliaires horizontaux, contribuerait à l'atténuer.

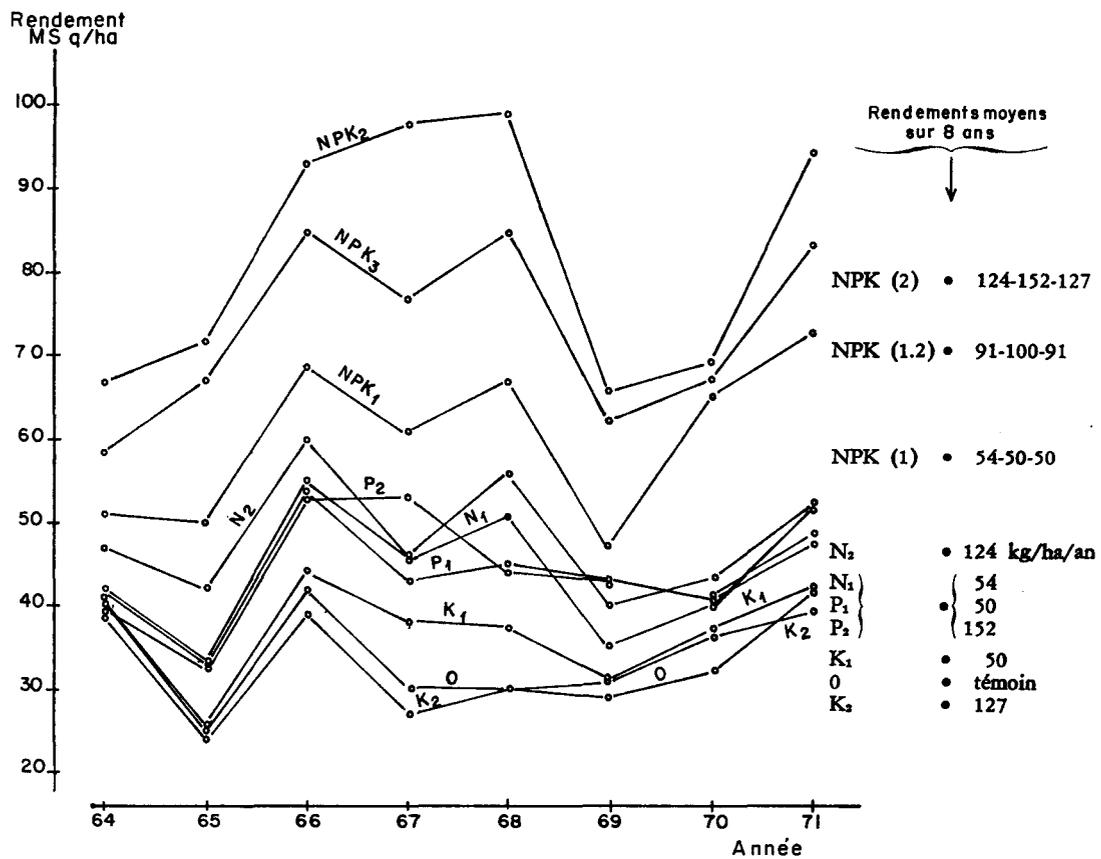
III. - Action moyenne des engrais

a) Action des engrais sur les rendements annuels

La figure 4 schématise l'évolution des rendements annuels de 1964 à 1971 ; les rendements par coupe sont donnés dans l'annexe IV.

*Prairies permanentes
dans le Haut-Limousin*

FIGURE 4
EVOLUTION DES RENDEMENTS ANNUELS DE 1964 A 1971
SUIVANT LES TRAITEMENTS



* en 1969 une seule coupe a été faite;
la repousse fut paturée

Vis-à-vis du rendement moyen annuel, les dix traitements sont répartis en cinq groupes entre lesquels existent des différences de production hautement significatives, ou significatives.

Groupe	Groupe 1			Groupe 2				Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Traitement	K ₂	O	K ₁	P ₁	P ₂	N ₁	N ₂	NPK ₁	NPK _{1,2}	NPK ₂
M.S. q/ ha/an	33,1	33,9	37,0	44,0	44,1	44,1	48,4	60,3	72,9	82,2

S

HS

HS

HS

ppds P0,05 = 6,0

ppds P0,01 = 8,3

Cette hiérarchie des traitements s'établit dès la deuxième année et se poursuit quelles que soient les conditions climatiques particulières.

L'absence de deux éléments dans la fertilisation est toujours très contraignante. La contrainte la plus forte est obtenue en l'absence de N et P : on tombe au niveau de production du témoin sans fumure ; la moyenne de ce groupe est 34,7 q/ha.

L'absence de P et K est aussi contraignante que celle de N et K ; la moyenne du groupe est 45,2 q, soit 130 % du témoin.

Les trois traitements avec fumure complète donnent des rendements croissant significativement avec les doses.

On peut exprimer le coût en engrais des gains obtenus :

— La potasse employée seule n'apporte aucun gain de rendement par rapport au témoin.

— L'acide phosphorique employé seul donne un gain de 10,2 quintaux de MS/ha pour une dose de 50 kg/ha, soit 20,4 kg de matière sèche par unité fertilisante. Une dose de 150 kg/ha n'apporte aucun supplément de production.

— L'azote employé à la dose de 54 kg/ha donne un gain de 10,2 quintaux de MS/ha, soit 19 kg de MS par unité fertilisante entre 0 et 54 unités. Une dose de 124 kg/ha donne 14,5 q de MS/ha, soit 4,3 q pour les 70 unités supplémentaires (6,1 kg de MS par kg d'azote entre 54 et 124 kg unités).

En distinguant les deux coupes, l'azote a une productivité (moyenne de 7 ou 8 années) variable selon la fertilisation d'accompagnement.

PRODUCTIVITE DE L'ENGRAIS AZOTE (en kg de MS/kg d'azote)
EN FONCTION DE L'INTERVALLE DES DOSES APPLIQUEES

<i>Intervalle</i>	<i>1^{re} coupe</i>	<i>Intervalle</i>	<i>2^e coupe</i>
N ₃₀ — témoin	22	N ₃₅ — témoin	17
N ₃₀ — N ₃₀	9	N ₄₅ — N ₃₅	0
(N ₃₀ + PK) — P ₁	42	(N ₃₅ + PK) — P ₁	18
(N ₃₀ + PK) — (N ₃₀ + PK)	35	(N ₄₅ + PK) — (N ₃₅ + PK)	26

Les trois éléments combinés donnent :

- 26,4 q supplémentaires pour les doses 54-50-50, soit 17,1 kg par unité fertilisante ;
- 39,0 q supplémentaires pour les doses 91-100-91, soit 13,8 kg par unité fertilisante ;
- 48,3 q supplémentaires pour les doses 124-152-127, soit 12 kg par unité fertilisante.

Il faut remarquer que ces résultats sont obtenus en fauche sans retour d'engrais organiques.

b) *Action des engrais sur la composition botanique de la prairie* (étude de la végétation du 5 mai 1971 dans la huitième année d'expérimentation - Fig. 5)

Bien que la composition botanique en début d'essai ne soit pas connue en détail, on peut trouver une situation analogue à ce point de départ dans la pâture extensive sise aux abords immédiats du champ d'essai. C'est pourquoi nous avons réalisé une analyse botanique sur ce témoin resté en pâture extensive et sur les traitements les plus marquants (NPK)₀, K₂, P₂, N₂ (NPK)₁ et (NPK)₂.

La méthode de relevé est celle proposée par Kerguelen : dans chaque traitement, 40 poignées sont prélevées (10 par parcelle). Dans chaque poignée, on détermine les espèces présentes et les quelques espèces dominantes en leur donnant une note comprise entre 1 et 6 de sorte que le total des notes d'une poignée soit 6. On exprime ensuite en % les contributions spécifiques au total des présences observées (recouvrements relatifs) et les contributions au total des notes (volumes relatifs).

Du point de vue de l'interprétation (Annexe V), le tableau des recouvrements fournit la composition botanique moyenne durant la saison de végétation de 1971, tandis que le tableau des volumes relatifs fournit une estimation des poids relatifs de matière sèche des différentes espèces à la récolte qui suit le relevé en mai 1971.

** Conduite de la prairie*

Rappelons les conditions réalisées dans les différentes parcelles :

- la zone pâturée extensivement n'a reçu aucune fumure, depuis le début de l'essai ;
- les parcelles recevant les traitements de fumure (NPK)₀, K₂, P₂, N₂, (NPK)₁, (NPK)₂ ont été conduites en fauche deux fois par an et pâturées par des moutons en arrière-saison.

** Observations générales*

Les compositions botaniques observées le 5 mai 1971 résultent non seulement de l'écologie particulière de chaque espèce mais aussi de la compétition entre espèces ; en premier lieu, compétition pour l'eau et les éléments nutritifs, en second lieu ou simultanément (le gazon est fermé), compétition pour la lumière.

La méthode d'exploitation et la fertilisation sont des moyens extrêmement puissants pour modifier l'équilibre entre espèces :

Les fauches remettent en cause périodiquement les avantages acquis par telle ou telle espèce dans la compétition pour la lumière et les éléments nutritifs et facilitent une rapide « redistribution des espèces » dans la mesure où un événement extérieur nouveau — fertilisation, sécheresse ou humidité exceptionnelles, changement de la durée du jour, de la température — vient favoriser certaines espèces dont les potentialités de croissance n'avaient pu s'exprimer dans les conditions de la repousse précédente.

A l'inverse, le pâturage extensif tend à assurer progressivement l'avantage aux espèces peu appréciées et à croissance lente ; Klapp (1971) a montré que la composition botanique du pâturage traduit fidèlement l'équilibre entre la

végétation et la charge des animaux ; si la charge s'élève, les espèces peu appréciées sont davantage consommées, piétinées ou brûlées par les déjections animales, les espèces à croissance rapide, souvent de meilleure qualité fourragère, prennent une part plus importante dans la végétation.

Ce gain est parallèle au surcroît d'activité biologique et à l'accélération de la rotation (turn over) des éléments nutritifs provoqués par le passage des végétaux dans le tube digestif des herbivores. Dans le cas du pâturage extensif, on distingue les zones de parcage qui s'enrichissent en éléments minéraux nutritifs et les zones de parcours qui s'appauvrissent du fait de l'exportation par les déjections.

En illustration de ces faits, nous pouvons décrire l'influence des traitements que nous avons observée dans notre expérimentation sur le pré humide de la commune d'Espartignac.

** Influence du système d'exploitation.*

La pâture. — Le relevé a été fait dans une zone équivalente à un parcours, chimiquement appauvrie par le parcage sans retour d'éléments fertilisants. Les graminées à fort développement sont éliminées ; le chargement est suffisant pour permettre un certain retour d'éléments nutritifs par les déjections favorable aux graminées rustiques : fétuque rouge en premier lieu, agrostide vulgaire, houlque laineuse, flouve odorante, nard raide ; cette végétation reste très maigre et permet le développement des mousses en abondance ; les refus, nard raide et jonc noueux ont toutefois un développement modéré : le chargement semble bien adapté au niveau actuel de production ! Le « pied de cuve » en graminées est largement suffisant pour espérer une action positive d'une fumure en phosphore, azote et potasse ; l'émoissage et le pâturage par rotation accéléreraient l'évolution du gazon, mais l'utilisation du surcroît d'herbe doit être prévue par augmentation de la charge, de façon à empêcher le développement des refus.

La fauche. — Les parcelles expérimentales sont exploitées par fauche depuis 1964 ; quelques pâtures en fin de saison ont eu lieu également. Les contrôles de production et les relevés ont été faits dans l'axe de parcelles : cette zone est pratiquement en régime de fauche exclusive depuis 1964.

Le passage du régime « pâture » au régime « fauche » [sans fumure (NPK)₀] entraîne des modifications notables dans la végétation.

- Disparitions : — Lychnis fleur de coucou
— Myosotis sp.
— Véronique officinale
- Reculs (relatifs) : — Lotier corniculé
— Jonc noueux
— Mousses
— Nard
- Apparitions : — Ray-grass anglais
— Paturin commun
— Brome mou
— Plantain lancéolé
- Progressions (relatives) : — Fétuque rouge
— Trèfle blanc

La fauche provoque le recul des refus et des plantes à croissance modérée (lotier) et l'apparition de plantes à croissance rapide, plus aptes à la compétition pour les éléments nutritifs, l'eau et la lumière au cours des repousses.

** Influence de la fertilisation*

Cette influence peut être étudiée en comparant les relevés correspondant aux traitements O, K₂, P₂, N₂, (NPK)₁, (NPK)₂ ; toutes ces parcelles ont été exploitées simultanément en fauche.

Les tableaux des recouvrements et des volumes relatifs permettent d'effectuer des regroupements d'espèces en fonction de leur écologie.

Ray-grass anglais, ray-grass d'Italie (1), paturin commun et brome mou sont des espèces de croissance rapide en hauteur et ne peuvent se développer en cas d'insuffisance des éléments minéraux. La fumure forte et complète leur est nécessaire et très favorable (2). Le pissenlit se range aussi dans cette catégorie des plantes exigeantes.

(1) Introduit dans ce milieu le 3 avril 1969 par semis à la volée sur la végétation en place. La faible incidence de ce traitement en montre le peu d'intérêt. La prairie temporaire à base d'une variété sélectionnée a sa place dans ce milieu à condition de la semer à l'état pur en pratiquant les façons culturales indispensables et de réaliser un niveau de fertilisation azotée supérieur à 250 kg N/ha/an.

(2) En raison de leur possibilité de croissance rapide en hauteur qui leur donne un avantage dans la compétition pour la lumière.

La houlque laineuse est moins exigeante puisqu'elle est présente en abondance dans tous les traitements, mais elle est plus apte à utiliser les éléments nutritifs de la fumure complète et forte que les quatre espèces précédentes dans ce milieu de prairie à drainage médiocre et avec des possibilités de sécheresse d'été.

L'agrostide vulgaire est abondante dans tous les traitements ; sa croissance est un peu moins rapide que celle de la houlque, mais elle garde une excellente place en forte fumure complète.

La fétuque rouge est très abondante dans le cas de fumures nulles ou déséquilibrées, mais cède devant la concurrence des espèces à port dressé et à croissance en hauteur plus rapide dans le cas de la forte fumure complète.

La flouve odorante est partout fréquente, mais son développement est réduit quoique précoce : elle souffre des fumures déséquilibrées, propices à la fétuque rouge et de la fumure complète forte qui favorisent les espèces de haute taille.

Crételle, leucanthème, trèfle blanc, plantain lancéolé, bugle rampant et lotier corniculé forment un groupe qui supporte mal les apports d'azote importants car leur croissance est plus lente ou leur port moins favorable à la réception de la lumière que les espèces précitées. Nard, danthonie, potentille érigée, carex fusca ont un faible développement et sont étouffés dans le cas des fumures complètes NPK.

La renoncule âcre supporte les carences en potasse et azote ; son optimum est en fumure équilibrée et modérée.

Le rumex oseille est exigeant en azote et supporte la concurrence en forte fumure équilibrée.

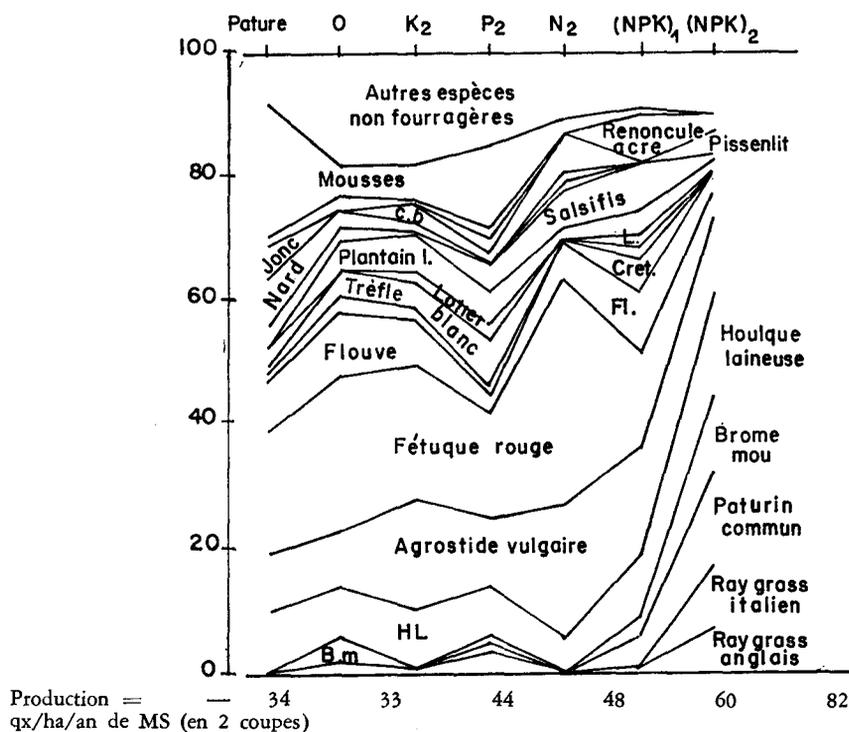
Le salsifis des prés supporte bien les carences en potasse (forte racine pivotante) ; il est exigeant en phosphore et azote mais il est dominé par le premier groupe d'espèces en cas de forte fumure complète.

Les mousses et le jonc noueux sont étouffés en cas de forte fumure azotée ou en cas de fumure équilibrée. La fumure exclusive en phosphore leur est en apparence favorable ; en réalité, ces plantes sont plus aptes que les autres à supporter les carences accentuées en azote et potasse qui se sont développées dans les parcelles P₂.

* *Diagramme fourrager* (Fig. 5)

Le diagramme fourrager, bâti d'après les volumes relatifs, fait apparaître graphiquement la proportion relative des différentes catégories d'espèces productrices (1 % et plus en volume) :

FIGURE 5
DIAGRAMME FOURRAGER - VOLUMES SPECIFIQUES (en %)



— *Espèces fourragères :*

- graminées à développement rapide et important en hauteur (= ray-grass anglais, ray-grass d'Italie, paturin commun, brome mou et houlique laineuse),

- graminées à développement modéré en hauteur (= agrostide vulgaire, fétuque rouge),
 - graminées à faible développement en hauteur (= flouve, crételle),
 - légumineuses (= trèfle blanc et lotier corniculé),
 - autres espèces fourragères : plantain lancéolé, salsifis des prés et pissenlit ;
- *Espèces non fourragères :*
- nard raide, jonc, renoncule âcre, carex fusca, mousses...

* *Conclusions sur la végétation*

On observe une forte proportion de graminées annuelles ou bisannuelles (paturin commun, brome mou, ray-grass d'Italie) en cas de fumure forte et complète. Le milieu semble peu favorable aux espèces pérennes à fort développement telles que le dactyle, la fétuque élevée, la fétuque des prés, la fléole, le vulpin qui pourraient profiter de ces fumures. La coexistence de plantes de milieux très humides (carex fusca, joncs, luzula maxima, cardamine) et de milieux secs (lotier corniculé, renoncule bulbeuse) dans la liste floristique permet de soupçonner certains obstacles pour des espèces très productives :

- l'excès d'eau est un obstacle pour le dactyle ;
- les phases de sécheresse sont défavorables à la fétuque des prés et au vulpin ;
- l'excès d'acidité est défavorable à l'implantation spontanée de la fétuque élevée.

La houlque laineuse semble particulièrement bien adaptée à ce milieu. Ainsi, les meilleures graminées ne peuvent se développer. D'autres, y trouvant leur place, permettent une bonne valorisation des engrais dans ces conditions.

En résumé, en pâturage extensif sans fertilisation, la proportion d'espèces fourragères est de 56 % du volume total de la végétation épigée. L'exploitation régulière par la fauche a pour effet d'augmenter cette proportion jusqu'à

72 %. La fumure azotée et les fumures complètes NPK permettent de favoriser les graminées : les espèces fourragères constituent alors 80 à 90 % du volume d'herbe disponible en première coupe ; la fumure phosphatée et calcique des scories, employée seule, est particulièrement favorable au trèfle blanc.

IV. - Valeur fourragère

Les rendements de matière sèche ne donnent qu'une idée très imparfaite de la production en valeur fourragère : la manière dont est conduite la prairie, tout particulièrement le rythme d'exploitation, modifie profondément la valeur fourragère et les quantités d'UF et de MAD récoltées à l'hectare (Demarquilly, 1970) sans modifier de plus de 10 à 20 % la production de matière sèche/an (Planquaert et al., 1973).

Pour cette raison le calcul de la valeur fourragère à partir des analyses a été fait séparément pour la première et la deuxième coupe pour les critères valeur énergétique, matières azotées digestibles, teneurs en phosphore, calcium, magnésium et potassium.

1. Valeur énergétique (en UF/kg de matière sèche).

La valeur énergétique des fourrages verts récoltés est donnée par le tableau XIX.

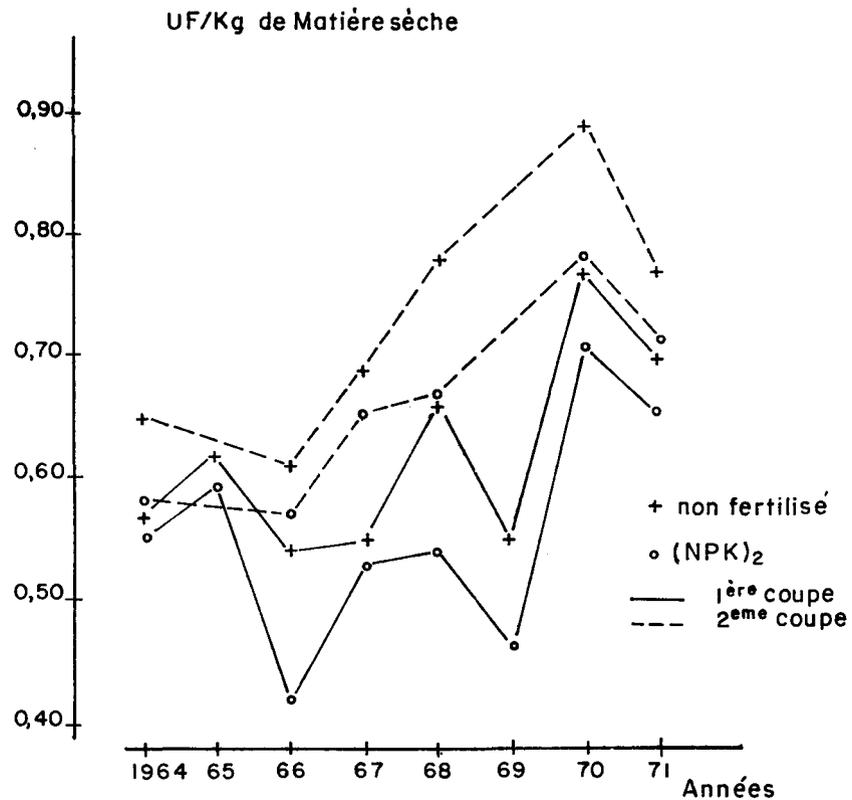
TABLEAU XIX
VALEUR ENERGETIQUE DES RECOLTES UF/kg M.S.

	<i>Première coupe</i>			<i>Deuxième coupe</i>			
	<i>Date</i>	<i>Témoin</i>	<i>(NPK)_s</i>	<i>Date</i>	<i>Age (jours)</i>	<i>Témoin</i>	<i>(NPK)_s</i>
1964	9/6	0,57	0,55	31/7	52	0,65	0,58
1965	11/6	0,62	0,59	12/7	62	—	—
1966	26/5	0,54	0,42	1/8	67	0,61	0,57
1967	2/6	0,55	0,53	29/7	57	0,69	0,65
1968	18/5	0,66	0,54	27/7	70	0,78	0,66
1969	6/6	0,55	0,46	—	—	—	—
1970	30/5	0,77	0,71	27/7	58	0,89	0,78
1971	2/6	0,70	0,65	18/8	77	0,77	0,71
Moyenne		0,62	0,56			0,73	0,66

La valeur énergétique subit de très grandes variations en fonction de l'année et de la date, du stade et du niveau de fertilisation (fig. 6).

FIGURE 6

INFLUENCE DES FACTEURS ANNEE, SAISON ET FERTILISATION SUR LA VALEUR ENERGETIQUE DE L'HERBE RECOLTEE



- *Année :*

Les résultats des années successives sont assez difficilement comparables en raison de l'échelonnement des dates de coupe (du 18 mai au 11 juin pour la première coupe) et des variations dans le rythme de croissance de l'herbe dus au climat.

En première coupe, il y a stagnation de la valeur énergétique dans la fourchette 0,55 et 0,65 UF/kg de 1964 à 1969 puis une montée spectaculaire en 1970 et 1971 vers 0,70 et 0,75 UF/kg. Ce progrès pourrait être lié à des changements substantiels dans la composition botanique, mais en vérité trop de facteurs, y compris la méthode de détermination, sont source de variations pour permettre une comparaison correcte.

En deuxième coupe, la progression de la valeur énergétique est beaucoup plus nette et, à âge de repousse comparable (52 à 58 jours), les valeurs UF/kg progressent régulièrement de 1965 à 1968 et 1970 ; la composition botanique pourrait en être la cause mais on pourrait invoquer aussi les conditions de sécheresse plus ou moins accusées selon l'année.

- *Etat physiologique de l'herbe à la récolte :*

La comparaison entre la première coupe qui correspond à l'épiaison — floraison des graminées et la deuxième coupe au stade végétatif après 9 à 10 semaines de repousse, montre la qualité toujours supérieure, 0,11 UF/kg en moyenne, des regains sur les foins.

- *Fertilisation :*

Sur le témoin, l'herbe a toujours une valeur supérieure à celle du traitement (NPK)₂, soit 0,06 UF/kg en première coupe et 0,07 UF/kg en deuxième coupe. La composition botanique, abondance de trèfle et de graminées à feuilles fines sur le témoin, pourrait expliquer cette différence.

En revanche, une coupe plus précoce est possible sur le traitement de fertilisation NPK, ce qui permet de rattraper très largement cet handicap apparent lorsque l'ensilage ou la pâture sont possibles.

2. Matières azotées digestibles.

TABLEAU XX
MATIERES AZOTEES DIGESTIBLES
(en g par kg de matière sèche) :

Année	Date	1 ^{re} coupe		Date	Age	2 ^e coupe	
		Témoin	(NPK) ₂			Témoin	(NPK) ₁
1964	9/6	55	66	31/7	52 j	91	92
1965	11/6	78	— *	12/8	62	—	—
1966	26/5	69	56	1/8	67	76	99
1967	2/6	61	47	29/7	57	94	93
1968	18/5	64	45	27/7	70	59	71
1969	6/6	49	67	—	—	—	—
1970	30/5	86	83	27/7	58	93	106
1971	2/6	63	58	18/8	77	115	130
Moyenne		65,6	67,4			88,0	98,5

* Donnée manquante.

Les variations entre années sont considérables surtout en première coupe et on ne peut guère séparer les facteurs stade de récolte, nitrification de l'azote du sol, composition botanique...

L'effet de la fertilisation est extrêmement capricieux au premier cycle, tantôt favorable, tant défavorable ; on peut y deviner l'influence variable du trèfle sur les teneurs du témoin mais sans certitude. Au deuxième cycle la fertilisation NPK augmente la valeur MAD de 10 g par kg de matière sèche.

La valeur MAD moyenne du fourrage de la première récolte permet tout juste d'assurer l'entretien de la vache laitière tandis qu'au deuxième cycle les besoins d'entretien et la production de 5 à 7 litres de lait par jour seraient couverts (vaches de 600 kg de poids vif).

3. Phosphore.

Les teneurs en phosphore sont moyennes à faible sur les témoins, de 0,14 à 0,21 % et plutôt fortes 0,28 à 0,39 sous l'effet de la fertilisation (NPK)₂ en première coupe et en deuxième coupe.

Les exportations annuelles sous le traitement (NPK)₂ varient entre 45 et 76 kg/ha d'acide phosphorique. Une fertilisation de 60 à 70 unités/an semble donc suffisante *lorsque toute la récolte est exportée*; dans le cas contraire c'est-à-dire au pâturage et en fauche avec retour des lisiers, 30 à 35 unités par an satisfont les besoins.

4. Autres éléments (Potassium, Calcium et Magnésium).

Les teneurs des fourrages pour les trois éléments se révèlent suffisantes pour les besoins du bétail pour le témoin et pour le traitement (NPK)₂.

TABLEAU XXI
TENEURS EN CALCIUM, MAGNESIUM ET POTASSIUM

		1 ^{re} coupe		2 ^e coupe	
		Témoin	(NPK) ₂	Témoin	(NPK) ₂
Ca	g/kg	4,9 à 8,3	3,7 à 7,3	6,4 à 12,6	5,6 à 10,1
Mg	g/kg	1,9 à 2,7	1,5 à 2,3	2,5 à 3,2	2,5 à 3,0
K	g/kg	16,8 à 22,0	15,5 à 27,7	16,0 à 21,5	18,5 à 25,0

Conclusion

L'étude de l'influence du climat montre une situation très favorable à la pousse de l'herbe. Avec une fertilisation de 100 kg/ha/an d'azote (60 + 40), de 100 d'acide phosphorique et 100 de potasse, on obtient plus de 50 q/ha de matière sèche au 1^{er} juin et une repousse de plus de 15 q/ha au 1^{er} août (en moyenne 23 q/ha avec une RFU de 30 mm, 25 q/ha avec une RFU de 50 mm et 27 q/ha avec 70 mm).

La fréquence des années défavorables (froides pour le premier cycle, sèches pour le deuxième) est peu élevée :

— 1 année sur 10 la production du premier cycle descend entre 40 et 50 q/ha du fait du froid ; la sécheresse ne joue qu'un faible rôle ;

— 1 année sur 20 environ la production du deuxième cycle tombe entre 5 et 9 q sur les sols minces (RFU = 30 mm) et entre 10 et 14 q sur les sols de RFU égale à 50 ou 70 mm.

L'indice climatique de potentialité agricole de Turc (1972), calculé par cet auteur pour la région du Haut Limousin, dans l'hypothèse d'une RFU égale à 70 mm, est compris entre 25 et 30. A cet indice correspond une pro-

duction potentielle de 15 à 18 t/ha/an de matière sèche ; c'est l'ordre de grandeur de production d'une fétuque élevée située à 450 m d'altitude et recevant 350 kg d'azote/ha/an (Dejou) (1) dans la même région.

Dans notre essai, avec une RFU très voisine, la production moyenne annuelle est d'environ 90 à 110 q de MS/ha/an (2) avec une fertilisation 124 N, 150 P₂O₅, 127 K₂O, c'est-à-dire une production sensiblement égale à celle de la fétuque élevée Manade cultivée dans les mêmes conditions. La comparaison à des doses plus élevées a été faite par l'ITCF (Planquaert et al., 1974) dans quatre régions de France ; avec 240 kg/ha d'azote, le rendement moyen de Manade est supérieur de 4 q/ha/an seulement à celui de la prairie permanente ; seule la répartition dans l'année change : ainsi, récoltée au stade « ensilage » (début de l'épiaison), la prairie permanente produit 12 q/ha de plus que Manade (52 et 40 q/ha respectivement) ; à la repousse, la situation inverse se produit (56 q et 68 q/ha respectivement), Manade produit 12 q de plus. Il faut souligner que la première coupe d'ensilage a eu lieu en moyenne 10 jours plus tard sur la prairie permanente ; ce retard suffit à expliquer cette différence de répartition.

Par contre, les récoltes au stade « floraison », plus tardives, ont correspondu à des dates très proches pour les deux types de prairies ; les rendements en foin sont identiques, 75 q/ha de M.S. ; tandis que les repousses marquent l'avantage certain de la fétuque Manade sur les prairies permanentes : 60 q/ha contre 47 q/ha de M.S. La récolte à l'épiaison - floraison a un effet nettement dépressif sur les repousses des prairies permanentes.

A défaut de disposer de données climatiques suffisantes pour le calcul de l'indice de potentialités agricoles, nous avons utilisé simplement le calcul de ETP pour établir des relations entre la croissance de l'herbe et les données climatiques disponibles.

On peut s'interroger sur la possibilité d'une généralisation des relations trouvées au premier cycle et au deuxième entre la production de matière sèche et l'indice climatique ETP de Turc ; d'après Robelin (1969), l'état du couvert a beaucoup d'influence sur la croissance et peu sur ETM ; à plus forte raison sur ETP calculé qui en est indépendante !

(1) Communication personnelle.

(2) En estimant entre 10 à 15 q/ha de MS la production potentielle de la repousse du 1^{er} août au 31 octobre, avec 40 kg/ha d'azote.

Il nous paraît donc très important de lier étroitement ces relations à la période de référence (1^{er} mars, 31 mai ou 1^{er} juin, 31 juillet) ; dans ces conditions, c'est-à-dire même lieu, même gamme de photopériodes et mêmes dates de récolte, on constate qu'on intègre dans une même relation les résultats d'années climatiques différentes ; ceci entraîne à notre avis que ces relations possèdent une certaine souplesse et peuvent être appliquées à l'échelon régional dans les conditions de sol et de fertilisation voisines :

En effet, nous avons trouvé des relations semblables dans trois autres sites à 300, 800 et 1.100 mètres d'altitude dans le Massif Central humide (3).

Dans cet essai de production de prairie conduite en fauche sans restitutions organiques, des apports relativement modestes de phosphore seul ou d'azote seul, 50 et 54 kg/ha/an respectivement, permettent une excellente valorisation de l'unité fertilisante, environ 20 et 19 kg/kg de l'un ou l'autre élément respectivement.

La combinaison des trois éléments est ensuite nécessaire pour atteindre des rendements plus élevés en conservant à peu près la même efficacité des engrais : 17 kg de fourrage par kg d'unité fertilisante sont obtenus avec la combinaison 54-50-50 kg/ha de NPK.

La recherche de rendements plus élevés fait perdre en efficacité : les 250 unités supplémentaires de la dose (NPK)₂ (124 + 152 + 127) apportent un gain de 22 qx, soit environ 9 kg de matière sèche par unité fertilisante.

Le niveau de production en matière sèche ne doit pas amener un jugement illusoire sur la valeur de cette prairie : la qualité du fourrage récolté est un critère primordial dont il faut tenir le plus grand compte ; le rythme d'exploitation est trop lent dans cet essai surtout en première coupe et correspond à une mauvaise utilisation des potentialités de la prairie ; le choix des dates provient évidemment de la nécessité de trouver des conditions météorologiques favorables à la fenaison ; mais la même production en UF/ha (1), à peu de chose près, peut être obtenue avec une qualité très supérieure par la pratique de 3 récoltes au lieu de 2 ; par exemple un pâturage à 15 cm, un foin et un regain ou bien un ensilage et deux regains. D'après l'étude de Demar-

(3) Publication à paraître.

(1) L'appréciation de la valeur alimentaire, c'est-à-dire les quantités d'UF qu'un animal peut consommer par jour et par conséquent le niveau de production par tête de bétail peut se faire en consultant les tableaux de Demarquilly et Weiss.

quilly (1970) sur une prairie au Haras du Pin en Normandie (2), l'herbe atteint une valeur équivalente à celle récoltée en première coupe à Espartignac, 10 à 20 jours plus tard ; sur cette base, on peut estimer que les dates de coupes optimales pour la production d'UF/ha maximale sont les suivantes sur les parcelles fertilisées (NPK)₂.

Vers le 15 mai 0,77 UF/kg et 85 g mad/kg de matière sèche

Vers le 1^{er} juin 0,67 UF/kg et 70 g mad/kg de matière sèche

Ces valeurs ne préjugent pas des pertes lors de la conservation. Pour l'ensemble des récoltes on peut, à titre d'exemple, proposer deux méthodes (1) :

Méthode 1 : Conservation par ensilage et foin :

1^{er} récolte le 15 mai à 0,77 UF/kg et 85 g mad/kg ;

2^e récolte le 30 juin à 0,75 ou 0,80 UF/kg et à 100-110 g mad/kg ;

3^e récolte le 1^{er} septembre à 0,70 ou 0,75 UF/kg et à 80-100 g mad/kg.

Méthode 2 : Pâturage de la première pousse et fenaison des deux repousses :

Pâturage vers le 1^{er} mai 0,84 UF/kg et 115 mad

Ensilage ou Fenaison vers le 15 juin 0,70 à 0,75 UF/kg et 80 à 105 mad/kg

Fenaison vers le 15 août 0,70 à 0,75 UF/kg et 80 à 105 mad/kg

J. FAUCHE, S.N.S.T. et F. de MONTARD, I.N.R.A.

Station d'Agronomie de Clermont-Ferrand.

(2) Les valeurs trouvées par Demarquilly sur les prairies d'Auvergne à 1.000 mètres d'altitude de 1970 à 1973 sont très proches de celles trouvées en Normandie avec un décalage de date d'environ 15 jours. Il s'agit donc bien de chiffres ayant une valeur générale sur les prairies fertilisées de nos régions.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- DEMARQUILLY et WEISS, 1970 : Tableaux de la valeur alimentaire des Fourrages. *Publication SEI*, n° 42. C.N.R.A. Versailles.
- ROBELIN, 1961 : Eléments sur la Rentabilité de l'Irrigation. *Annales Agron.*, 12, pp. 65-73.
- ROBELIN, 1969 : Alimentation en eau des Plantes Fourragères. *Fourrages*, n° 38, pp. 30-40.
- KLAPP, 1971 : Voir fig. 89, p. 258, dans *Wiesen und Weiden*. Ed. Paul Parey, Berlin.
- TURC, 1961 : Evaluation des besoins en eau d'irrigation. Evapotranspiration potentielle. *Annales Agron.*, 12, pp. 13-49.
- TURC, 1972 : Indice climatique de Potentialité Agricole. *Science du Sol* 1972, n° 2, pp. 81-102.
- PLANQUAERT et al., 1974 : Prairie Permanente : Productions comparées avec une Fétuque Elevée. *Publication I.T.C.F.*, n° 4-8-02-23.
- ALBERDA, 1965 : Response of Grasses to Light and Temperature conditions, in « The Growth of Cereals and Grasses », édité par Milthorpe et Ivins.

*Prairies permanentes
dans le Haut-Limousin*

Annexe I : Données climatiques

TEMPERATURES MENSUELLES CALCULEES POUR ESPARTIGNAC

Limoges = 282 m d'altitude (1) - Espartignac = 420 m d'altitude

(Températures de Limoges diminuées de 0,5 °C)

	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
J	0,9	3,5	3,7	3,1	3,0	4,5	4,4	3,6
F	5,0	1,2	8,3	5,2	4,6	2,2	4,5	3,1
M	5,9	6,8	5,1	7,0	6,2	6,6	3,8	2,7
A	8,9	8,3	10,4	8,1	9,5	9,3	7,1	11,1
M	14,1	12,2	12,5	11,8	10,9	12,8	12,7	13,5
J	15,8	15,9	16,0	14,6	14,9	13,5	17,3	14,6
J	18,7	16,5	15,8	19,2	16,9	18,1	17,0	19,0
A	17,5	16,0	16,3	17,4	16,1	17,1	17,9	17,4
S	16,9	18,8	15,9	14,5	14,3	15,1	16,3	14,6
O	8,6	12,6	12,0	12,9	13,2	12,6	10,2	11,8
N	5,7	6,6	4,3	7,2	7,2	6,2	8,0	4,2
D	2,3	5,6	4,9	1,1	3,3	0,5	1,7	3,8

ETP TURC D'APRES LES TEMPERATURES DE LIMOGES CORRIGÉES ET L'ENSOLEILLEMENT DE LIMOGES

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	
1964	5	20	30	58	100	121	135	109	79	37	15	7	716	
1965	10	6	32	47	79	108	106	92	55	53	17	13	618	
1966	12	28	37	65	94	112	94	93	89	40	14	11	689	
1967	11	24	39	63	86	111	134	102	66	47	23	4	710	
1968	10	21	36	67	74	102	117	82	64	50	22	9	654	
1969	14	10	31	57	85	84	123	95	66	57	18	0	640	
1970	13	16	21	45	94	112	117	90	87	46	32	6	679	
1971	12	17	19	74	83	85	127	102	82	54	15	13	683	
Moyenne			30,6	67,0	86,9	104,4	119,1							
			1 ^{er} cycle 184,5			2 ^e cycle 223,5								

PLUVIOMETRIE MENSUELLE A UZERCHE

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1964	26	79	93	174	123	68	11	66	49	137	90	58	974
1965	120	9	159	76	87	18	58	74	263	14	250	198	1.326
1966	133	115	51	149	89	110	66	67	26	235	110	171	1.322
1967	40	113	53	17	128	58	20	42	83	126	127	101	908
1968	114	102	42	63	158	73	106	161	211	37	42	156	1.265
1969	100	97	119	142	184	92	30	53	129	7	163	87	1.203
1970	133	175	53	66	39	80	27	51	36	56	101	37	854
1971	174	62	75	105	133	108	133	101	82	29	101	13	1.116

(1) Limoges a été choisi de préférence à Tulle ou Brive en raison de sa position plus largement exposée à tous vents, et par conséquent plus comparable à la position de plateau d'Espartignac.

Annexe II

ETP ET RENDEMENT CALCULÉ POUR LA PREMIÈRE COUPE
 (mois de mars-avril-mai)
 D'APRÈS L'ÉQUATION (1) $y = 51,2 x - 35,8$
 (Réf. 60 N/ha)

<i>Année</i>	<i>ETP mm</i>	<i>P mm</i>	<i>Déficit climatique</i>	<i>Rendement calculé</i>
1952	217	204	— 13	78
1953	190	170	— 20	64
1954	173	216	Nul	56
1955	201	97	— 104	70
1956	199	134	— 65	69
1957	186	147	— 39	62
1958	165	323	Nul	52
1959	204	278	Nul	72
1960	202	209	Nul	70
1961	219	170	— 49	79
1962	140	393	Nul	68
1963	181	325	Nul	60
1964	188	390	Nul	63
1965	158	322	Nul	48
1966	196	289	Nul	67
1967	185	198	Nul	62
1968	177	263	Nul	58
1969	173	445	Nul	56
1970	160	158	— 2	49
1971	176	313	Nul	57
1972	165	232	Nul	51
1973	188	159	— 29	63

Annexe III

ESTIMATIONS DES RENDEMENTS DE DEUXIEME COUPE

(période de croissance du 1^{er} juin au 31 juillet)

A SAINT-YRIEIX-LA-PERCHE

SUR LA BASE D'UNE EFFICIENCE DE L'EAU

EGALE A 15 KG DE MATIERE SECHE PAR MM/HA

Année	ETP	P	Rendement max. (irrigation) q/ha	Niveau d'alimentation en eau ETR/ETM % RFU = 30 50 70 mm			Rendement calculé q/ha de M.S. RFU = 30 50 70 mm			
				30	50	70	30	50	70	
1952	263	38	39	21	28	36	8	11	14	
1953	183	158	27	92	100	100	25	27	27	
1954	191	112	29	74	85	95	21	24	27	
1955	208	193	31	83	92	100	26	29	31	
1956	191	150	29	68	79	89	20	23	26	
1957	204	218	31	100	100	100	31	31	31	
1958	195	264	29	100	100	100	29	29	29	
1959	264	87	40	44	52	59	18	21	24	
1960	210	149	31	85	95	100	26	30	31	
1961	210	135	31	55	65	74	17	20	23	
1962	250	79	37	44	51	60	16	19	22	
1963	222	173	33	91	100	100	30	33	33	
1964	256	79	38	42	50	58	16	19	22	
1965	214	76	32	49	59	68	16	19	22	
1966	206	176	31	100	100	100	31	31	31	
1967	245	78	37	44	52	60	16	19	22	
1968	219	179	33	95	100	100	31	33	33	
1969	207	122	31	73	83	92	23	26	28	
1970	229	107	34	59	68	76	20	23	26	
1971	212	241	32	100	100	100	32	32	32	
1972	202	94	30	61	71	81	18	21	24	
1973	227	196	34	87	96	100	30	33	24	
							Moyenne	22,7	25,1	26,9

Annexe IV

RENDEMENTS PAR COUPE ET PAR TRAITEMENT (en q/ha de M.S.)

	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
<i>Traitement</i>								
<i>Première coupe</i>								
T	34,4	21,5	16,6	22,5	12,5	28,9	20,4	30,0
N ₁	35,1	28,6	21,1	35,1	23,8	34,5	25,7	35,1
N ₂	37,6	34,3	28,8	36,9	28,6	40,3	28,9	38,5
P ₁	30,6	27,8	23,1	34,6	21,7	43,1	27,2	34,1
P ₂	28,9	26,1	21,8	43,3	20,6	42,6	27,7	32,1
K ₁	34,0	21,8	18,0	30,3	16,5	31,4	25,2	28,0
K ₂	33,1	19,3	16,7	21,0	12,4	30,9	25,0	26,9
(NPK) ₁	40,7	43,8	33,0	48,3	33,2	47,4	44,2	52,0
(NPK) ₂	48,8	59,5	56,0	75,8	58,6	65,7	46,5	65,6
(NPK) ₃	43,8	54,1	47,3	58,0	45,0	61,7	45,2	60,1
<i>Deuxième coupe</i>								
T	6,5	3,7	25,7	7,2	17,2		11,3	12,4
N ₁	6,0	4,8	33,6	10,7	27,0		14,0	16,8
N ₂	9,6	7,5	31,4	9,0	27,2		14,6	13,7
P ₁	11,6	6,8	31,0	8,4	23,4		13,7	14,5
P ₂	11,0	6,4	31,0	9,8	23,3		12,7	15,4
K ₁	7,4	4,1	25,5	7,3	21,0		11,9	13,8
K ₂	6,6	2,7	22,6	6,3	17,6		11,1	12,6
(NPK) ₁	10,3	6,0	35,9	12,3	33,6		21,0	21,0
(NPK) ₂	18,4	12,5	37,0	22,3	40,0		22,5	28,0
(NPK) ₃	14,7	13,1	37,3	18,8	39,5		21,5	23,3

Annexe V

TABLEAU DES RECOUVREMENTS
(En % * du recouvrement total)

	Pâturage	O	K _s	P _s	N _s	(NPK) ₁	(NPK) ₂
Ray-grass anglais	—	1	1	2	1	1	5
Ray-grass d'Italie	—	—	1	1	—	1	10
Paturin commun	—	2	2	3	1	5	16
Brome mou	—	1	1	1	1	1	9
Houlique laineuse	8	6	6	6	6	7	15
Fétuque rouge	12	14	13	11	18	11	5
Agrostide vulgaire	10	10	11	10	17	12	10
Flouve odorante	9	7	6	3	7	7	3
Crételle	1	2	2	1	1	3	1
Trèfle blanc	3	5	6	6	1	5	1
Lotier corniculé	5	1	2	2	0	+	0
Plantain lancéolé	1	4	4	6	2	4	2
Salsifis des prés	2	2	1	3	6	4	4
Pissenlit	—	+	—	—	+	+	3
Carex fusca	2	+	5	4	7	2	0
Luzula maxima	3	6	9	2	4	2	0
Jonc noueux	5	0	0	1	1	1	1
Renoncule âcre	5	4	2	6	1	8	6
Bugle rampant	1	3	2	4	1	1	0
Rumex acetosa	0	2	2	1	4	2	4
Mousses spp	14	11	12	12	9	6	0
Porcelle	0	+	+	2	1	0	0
Nard	2	1	+	0	1	0	0
Danthonie	2	2	1	+	2	0	0
Potentille érigée	1	1	1	0	1	0	0
Polygale vulgaire	—	—	+	—	—	—	—
Lychnis fleur de coucou	2	—	—	—	—	—	—
Cardamine des prés	1	0	+	1	1	1	1
Myosotis sp	+	—	—	—	—	—	—
Veronique serpolet	+	1	1	—	—	—	—
Veronique petit chêne	0	0	+	+	0	1	0
Veronique officinale	1	—	—	—	—	—	—
Bellis perennis	0	+	+	2	1	+	0
Leucanthème sp	0	1	+	1	0	0	0
Centauree jaccée	0	+	1	1	1	0	0
Stellaire graminée	0	+	+	1	2	3	1
Cérasium sp	1	2	0	2	2	3	1
Renoncule bulbeuse	0	0	1	1	0	2	0

* Pourcentages arrondis à l'unité.

Annexe V (suite)

TABLEAU DES VOLUMES RELATIFS
(en % * du volume total de la végétation dans chaque traitement)

	<i>P</i> ₁	<i>O</i>	<i>K</i> ₁	<i>P</i> ₂	<i>N</i> ₁	(<i>NPK</i>) ₁	(<i>NPK</i>) ₂
Ray-grass anglais	0	2	1	4	+	1	8
Ray-grass d'Italie	0	0	+	1	0	+	10
Paturin commun	0	+	+	1	+	5	15
Brome mou	0	4	+	+	0	3	13
Houlque laineuse	10	8	10	8	6	10	21
Fétuque rouge	20	25	22	17	37	16	5
Agrostide vulgaire	9	9	17	11	21	17	12
Flouve odorante	8	10	7	3	6	10	2
Crételle	1	3	2	1	+	5	+
Trèfle blanc	1	4	4	7	0	2	0
Lotier corniculé	3	+	2	2	0	1	0
Plantain lancéolé	0	5	6	6	2	4	1
Salsifis des prés	3	2	+	4	6	7	2
Pissenlit	0	0	0	0	1	0	3
Nard raide	7	3	2	0	2	0	0
Carex fusca	1	+	3	2	6	1	0
Jonc noueux	6	0	0	2	+	+	0
Renoncule âcre	1	2	0	2	0	7	3
Mousses	21	5	6	13	2	1	0

* Pourcentages arrondis à l'unité.