

Relations entre la production des prairies pâturées et les paramètres climatiques.

Application à une prairie permanente lorraine

B. Gaillard et X. Le Bris

En Lorraine, la prairie permanente représente la majorité des surfaces fourragères. La productivité de ces prairies et les possibilités de chargement permises par l'intensification fourragère sont étroitement liées aux conditions climatiques de fin d'hiver et de la période d'exploitation de l'herbe.

La variabilité du climat est telle qu'il est difficile de prévoir les niveaux de rendement accessibles des différents types de prairie, notamment en fin de printemps et au cours d'été, et par conséquent d'ajuster les apports de fertilisation azotée.

S'inspirant des travaux conduits dans l'Ouest de la France par l'INRA (LEMAIRE et al., 1981, 1983) et par l'ITCF (RAPHALEN et al., 1981), GAILLARD et LE BRIS (1984) ont proposé une première série de modèles de prévision du rendement des prairies en Lorraine. Les données de production fourragère utilisées dans ces

MOTS CLÉS

Croissance, évapotranspiration réelle, facteur climat, modélisation, pâturage, prairie permanente, production fourragère, somme de températures.

KEY-WORDS

Actual evapo-transpiration, climatic factor, cumulated temperatures, forage production, grazing, growth, modelization, permanent pasture.

AUTEURS

Institut Technique des Céréales et des Fourrages, Station de La Jaillière, La Chapelle Saint-Sauveur, F-44370 Varades.

modèles provenaient exclusivement d'essais conduits en petites parcelles exploitées à la motofaucheuse.

Il importait donc de voir dans quelle mesure ce type de relation existait *en conditions réelles de pâturage*.

C'est sous cet angle qu'ont été analysés les résultats d'un essai d'exploitation de prairies permanentes par des bœufs frisons de 18 à 24 mois, en pâturage tournant (GAILLARD et al., 1985, 1986). Cet essai, conduit en Meurthe-et-Moselle de 1980 à 1983*, comparait deux niveaux de chargement durant toute la saison de pâturage. Le milieu et le protocole expérimental sont présentés en annexes 1 et 2.

Les mesures de rendement, effectuées pour chaque parcelle à la motofaucheuse à l'entrée et à la sortie des animaux, ont été mises en relation avec divers paramètres climatiques pour les trois grandes périodes d'exploitation suivantes :

- le premier cycle de pâturage,
- les repousses de deuxième cycle,
- les repousses estivales.

Au premier cycle, les sommes de températures sont un bon outil de prévision

Les données de rendements obtenus au premier cycle sur les parcelles pâturées et ayant reçu 50 kg N/ha en fin d'hiver ont permis d'établir le modèle suivant :

$$\text{Rendement} = 8,5 \times (\Sigma\theta - 415) ; n = 30 ; r = 0,96 ; \text{Syx} = 258$$

- Avec : — Rendement : en kg/ha de matière sèche (MS) ;
- $\Sigma\theta$: somme des températures cumulées depuis le premier janvier, en base 0° C ;
 - n : nombre d'observations ;
 - r : coefficient de corrélation ;
 - Syx : écart-type résiduel en kg MS/ha.

La figure 1 montre que certaines données "décrochent" de façon sensible en 1981 : cela peut être la conséquence des gels enregistrés vers la fin avril et le début mai, après une période de températures élevées.

* Essai réalisé à Gemonville (Meurthe-et-Moselle), chez M. GODARD, par l'ITCF, en collaboration avec l'Etablissement Départemental d'Elevage de Meurthe-et-Moselle, le Groupement de producteurs de viande (CAPVL) et l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et d'Industries Alimentaires de Nancy.

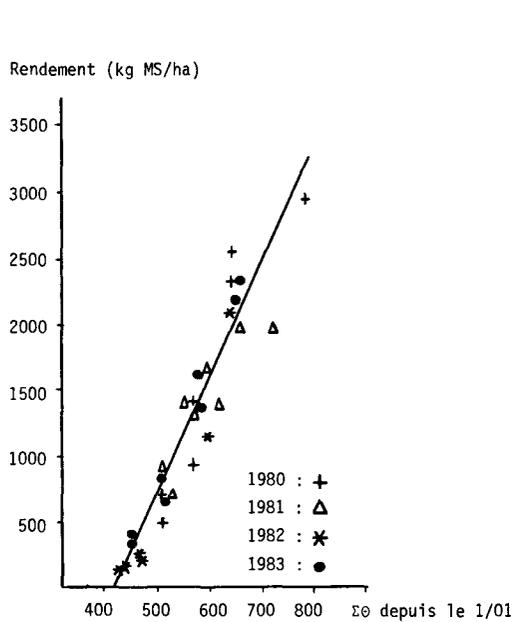


FIGURE 1

FIGURE 1 : Rendement du premier cycle et somme de températures (depuis le 1^{er} janvier)
 FIGURE 1 : Yield of first growth-cycle and cumulated temperatures (from 1st january)

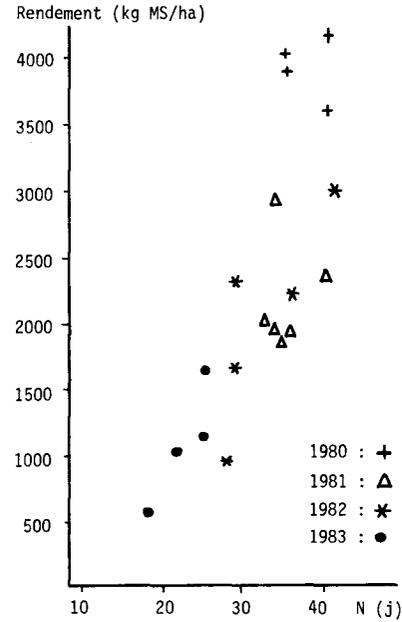


FIGURE 2

FIGURE 2 : Rendement du deuxième cycle après déprimage en fonction de la durée de repousse (N)

FIGURE 2 : Yield of second growth-cycle after early first cut and duration of regrowth (N)

Si l'on traite les données de chaque lot, on obtient un écart de vitesse de croissance de 1 kg MS/ha/j en faveur du lot à fort chargement. Cet écart, constaté dès la première année, n'a pas pu être expliqué :

— Lot à faible chargement : Rendement = $8,1 \times (\Sigma\theta - 418)$; $n = 15$; $r = 0,95$

— Lot à fort chargement : Rendement = $9,1 \times (\Sigma\theta - 416)$; $n = 15$; $r = 0,97$

On retrouve là des valeurs proches de celles obtenues sur des prairies permanentes du Plateau Lorrain, exploitées en petites parcelles expérimentales, sur des sols relativement sains et pour les mêmes niveaux de fertilisation azotée (GAILLARD, LE BRIS, 1984) : vitesse de croissance de l'ordre de 8 à 9 kg MS/ha/degré-jour et départ apparent de la végétation de l'ordre de 400°C à compter du premier janvier.

Une prévision plus délicate pour les repousses après déprimage

La prévision de la croissance de l'herbe au cours du deuxième cycle est un élément clé de la gestion du pâturage (maîtrise de l'épiaison, proportion de surface à faucher, pâturage estival). Pourtant peu de modèles ont pu être établis pour cette phase. Dans tous les cas, les travaux sur la physiologie (GILLET, 1980) comme ceux sur la valeur alimentaire des fourrages (DEMARQUILLY, 1981) montrent que l'on doit distinguer les repousses déprimées et les repousses étêtées.

Nous avons donc retenu de travailler sur les données des repousses après déprimage. Ne disposant pas sur cet essai d'observations permettant d'apprécier les dates réelles d'étêtage, nous avons considéré comme déprimées toutes les repousses dont la croissance débute avant une date fixe, le 5 mai. Cette dernière a été déterminée à partir des dates moyennes de réalisation du stade "épi 10 cm" observées dans les collections fourragères de la région (GAILLARD et al., 1984).

Le niveau de fertilisation azotée des repousses concernées est compris entre 40 et 60 kg N/ha.

Deux paramètres climatiques ont été étudiés, les sommes de températures ($\Sigma\Theta$) et les sommes d'évapotranspiration réelle (ΣETR). Ce dernier, exprimé en mm d'eau, est obtenu à partir d'un bilan hydrique théorique selon une méthode exposée dans un article précédent (RAPHALEN et LE BRIS, 1985). Les sommes de températures et les sommes d'évapotranspiration réelle sont calculées depuis la date de la fin de l'exploitation précédente jusqu'à la date du prélèvement d'herbe. Les parcelles ont été réparties en trois groupes en fonction de la réserve utile estimée à partir de la profondeur du sol : 50, 75 et 100 mm.

Paramètre	Relation	Coefficient de corrélation	Nombre d'observations	Ecart type résiduel
Durée de repousse	$Rdt = 119,9 \times (N-14)$	0,77	19	701
Somme de température	$Rdt = 6,3 \times (\Sigma\Theta-26)$	0,70	19	784
Somme d'ETR	$Rdt = 50,8 \times (\Sigma ETR-23)$	0,74	19	743

TABLEAU 1 : Rendement (Rdt, en kg MS/ha) des repousses de printemps (deuxième cycle déprimé) et paramètres climatiques (durée de repousse, N, en jours ; somme de températures cumulées en base 0° C, $\Sigma\Theta$; somme d'évapotranspiration réelle, ΣETR , en mm).

TABLE 1 : Yields (Rdt, kg DM/ha) of Spring regrowth (after early first cut) and climatic parameters (duration of growth, N, in days ; cumulated temperatures above 0° C, $\Sigma\Theta$; cumulated actual evapo-transpirations, ΣETR , in mm).

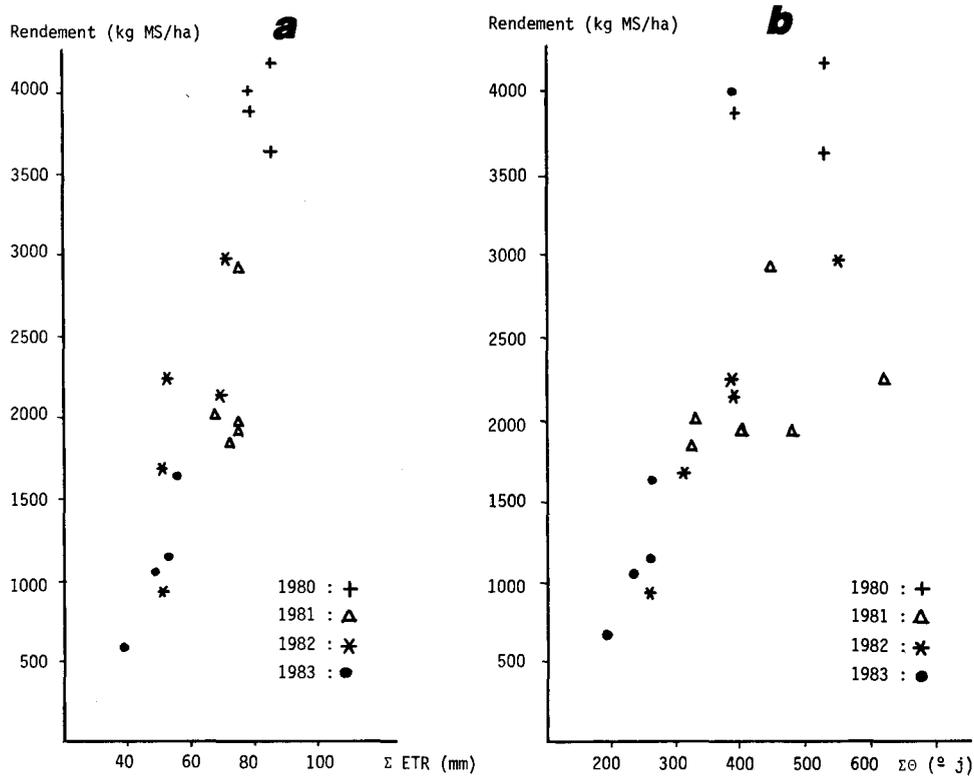


FIGURE 3 : Rendement du deuxième cycle après déprimage et, a) somme d'évapotranspiration réelle (Σ ETR), b) somme de température ($\Sigma\Theta$)

FIGURE 3 : Yield of second growth-cycle after early first cut and, a) cumulated actual evapotranspiration (Σ ETR), b) cumulated temperatures ($\Sigma\Theta$)

Pour apprécier l'intérêt de ces relations entre le rendement et ces critères climatiques, nous les avons comparées à la relation entre le rendement et le nombre de jours de repousses. L'ensemble des données est présenté aux figures 2 et 3 ainsi que dans le tableau 1.

L'examen du tableau 1 montre que la relation rendement - somme des ETR est meilleure que celle basée sur les sommes de températures. La répartition des points (figures 3a et 3b) tend à confirmer que les relations basées sur les sommes de températures sont intéressantes pour des repousses exploitées précocement, mais elles sont inadaptées pour les repousses tardives qui commencent à subir l'effet de la sécheresse.

Cependant, les modèles climatiques étudiés, malgré un coefficient de corrélation élevé ($r = 0,8$), restent imprécis (écart résiduel de 700 kg MS/ha) et surtout n'apportent rien par rapport au modèle rendement - durée de repousse (figure 2). En l'absence de modèle prévisionnel basé sur des critères climatiques, on devra donc se contenter d'une prévision du rendement à partir du nombre de jours de repousse.

Pour ce type de prairie par exemple, et dans les mêmes conditions de fumure azotée que l'essai, l'application du modèle "Rendement = $120 \times (N-14)$ " permet d'escompter une production de 1,9 t MS/ha après 30 jours de repousse et de 3,1 t MS/ha après 40 jours de repousse.

Alimentation en eau de la prairie et production d'été : une bonne corrélation

Les systèmes fourragers, sans distribution de fourrages grossiers en été, sont étroitement dépendants du niveau de chargement possible de juin à septembre. Ce chargement se calcule à partir de la quantité d'herbe à offrir par animal et par jour et de la vitesse de croissance de l'herbe.

La pousse estivale de l'herbe dépend essentiellement de l'intensité de la sécheresse et de la fumure azotée. Hormis les repousses de foins tardifs, l'effet du mode d'exploitation est en général peu marqué. Avec les données de cet essai, nous avons tenté de bâtir un modèle entre le rendement et les sommes d'ETR.

La période d'étude va du 1^{er} juin au début octobre : autrement dit, sont retenues toutes les repousses exploitées avant le 10 octobre (date de la fin des prélèvements d'herbe) et dont le début de la croissance a démarré après le 1^{er} juin (date où la quasi-totalité des espèces ont été étêtées au printemps). Les repousses qui n'avaient pas reçu de fumure azotée ont été éliminées : le niveau de fertilisation azotée est compris entre 40 et 50 kgN/ha par cycle.

Paramètre	Relation	Coefficient de corrélation	Nombre d'observations	Ecart type résiduel
Durée de repousse	$Rdt = 27,1 \times (N-27)$	0,32	41	696
Somme d'ETR	$Rdt = 23,7 \times (\Sigma ETR-3)$	0,86	41	375

TABLEAU 2 : Relations entre le rendement des repousses estivales (Rdt, en kg MS/ha) et la durée de repousse (N, en jours) ou la somme d'évapotranspiration réelle (Σ ETR, en mm)

TABLE 2 : Relationships between summer cut yields (Rdt, kg DM/ha) and duration of regrowth (N, in days) or cumulated actual evapo-transpiration (Σ ETR, in mm)

Le tableau 2 et les figures 4a et 4b montrent que les rendements sont faiblement corrélés avec la durée de croissance de la repousse et qu'ils le sont assez bien avec les sommes d'ETR. Ainsi, le modèle basé sur le cumul des évapotranspirations, calculées à partir d'un schéma simplifié de la circulation de l'eau dans le sol et la plante, permet de rendre compte de façon correcte de la variabilité des rendements enregistrés.

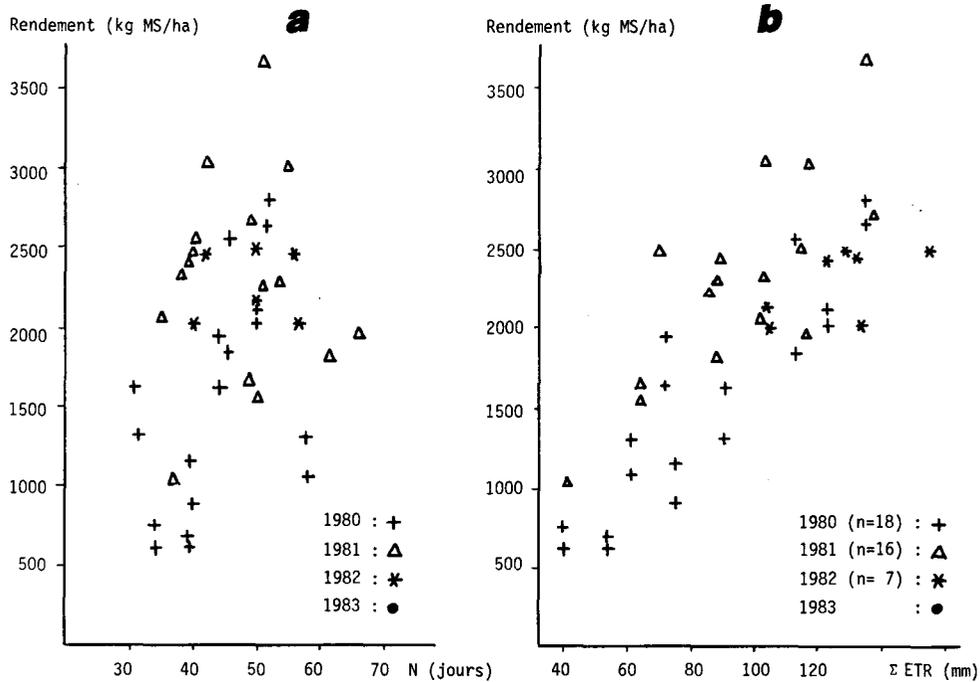


FIGURE 4 : Rendement des repousses estivales et, a) nombre de jours de repousse (N), b) somme d'évapotranspiration réelle (Σ ETR)

FIGURE 4 : Yield of Summer cuts and, a) number of days of regrowth period (N), b) cumulated actual evapo-transpiration (Σ ETR)

Deux remarques s'imposent toutefois :

— les données concernent surtout les années 1980, 1981 et 1982. En effet, l'absence de fertilisation azotée des repousses de troisième cycle en 1983 n'a pas permis de retenir les valeurs de cette année ;

— l'examen des résidus de la régression du modèle "somme des ETR" montre qu'il subsiste un effet année important : les valeurs de l'année 1982 sont supérieures à celles de 1980 et 1981. Une meilleure liaison est envisageable soit en affi-

nant les hypothèses de réserves du sol, soit en améliorant le modèle, soit en introduisant un autre paramètre climatique.

Une prévision possible sur toute la période de pâturage

Les relations précédentes ont été établies pour des repousses dont la croissance s'est faite avant le 5 mai ou à partir du 1^{er} juin. On est sûr que les premières sont des repousses épiées (le premier cycle a été déprimé) et que les secondes sont essentiellement feuillues.

Entre le 5 et le 31 mai, on se situe dans une période intermédiaire, car l'étagage se produira à une date variable selon les espèces prairiales et les années. Toutefois, l'examen des données comprises entre le 20 et le 31 mai montrent qu'elles s'intègrent assez bien aux repousses estivales.

Afin de combler la carence de modèles pour les repousses dont la croissance s'est faite entre le 5 et le 20 mai, on pourra retenir provisoirement un modèle approximatif, intermédiaire entre celui des repousses déprimées au 1^{er} cycle et celui des repousses estivales, soit :

$$\text{Rendement} = 37,3 (\Sigma\text{ETR} - 13)$$

Le tableau 3 résume l'ensemble des relations obtenues.

Cycle	Date de fin de l'exploitation précédente	Fertilisation azotée (kgN/ha)	Relation
Premier		60	Rendement = 8,5 ($\Sigma\theta-415$)
Deuxième	avant le 5 Mai	50	Rendement = 50,8 ($\Sigma\text{ETR}-23$)
Deuxième	du 5 au 20 Mai	50	Rendement = 37,3 ($\Sigma\text{ETR}-13$)
2, 3 et 4ème	à partir du 30 Mai	50	Rendement = 23,7 ($\Sigma\text{ETR}-3$)

TABLEAU 3 : Récapitulation des relations entre climat et rendement établies à partir de l'essai
 TABLE 3 : Summary of relationships between climate and yield based on the trial

En ce qui concerne la précision de ces modèles, on constate que les coefficients de corrélation sont assez élevés au premier cycle avec les sommes de températures ($r = 0,96$), meilleurs au deuxième cycle avec les sommes d'ETR ou les durées de repousses ($r = 0,77$) qu'avec les sommes de températures ; enfin, en période estivale, ils sont nettement plus élevés ($r = 0,86$) avec les sommes d'ETR qu'avec les durées de repousse. Cependant, les écarts types résiduels de ces relations demeurent élevés :

- au 1^{er} cycle : 258 kg MS/ha (avec $\Sigma\theta$)
- au 2^e cycle : 743 kg MS/ha (avec ΣETR)
- en été et automne : 375 kg MS/ha (avec ΣETR)

Conclusion

Ces relations sont plutôt satisfaisantes en regard de leurs conditions d'obtention :

— La fertilisation azotée a varié quelque peu selon les parcelles et les années ;

— La hauteur réelle de coupe de la motofaucheuse n'a pas été contrôlée systématiquement ; or, un écart de 1 cm se traduit par une variation de rendement voisine de 300 kg MS/ha. L'utilisation d'un outil comme l'herbomètre aurait donc pu être intéressant, d'une part pour contrôler la hauteur d'herbe laissée par les animaux lorsqu'ils changent de parcelle et, d'autre part, pour contrôler la hauteur réelle de coupe de la motofaucheuse.

— Les résultats ont été obtenus sur des parcelles dont les profondeurs de sol sont relativement hétérogènes. Or, c'est la profondeur de sol exploitée par les racines qui est l'élément essentiel de détermination des hypothèses de réserve utile. De meilleures relations entre le climat et le rendement auraient peut-être été établies grâce à une meilleure connaissance des sols.

— De la même façon, des différences de fertilité chimique ont été constatées entre certaines parcelles : cela a pu influencer sur les rendements et augmenter leur variabilité.

Globalement, les liaisons rendement - paramètre climatique paraissent suffisamment correctes pour envisager un modèle annuel de croissance de l'herbe et, à partir d'une analyse fréquentielle, déterminer les rendements accessibles durant les différentes périodes de l'année. Toutefois, ce modèle, utilisable à l'échelle régionale, devrait être testé sur d'autres résultats expérimentaux, en particulier avec des types différents de prairies, avant de faire l'objet d'une plus large utilisation.

Accepté pour publication le 5 novembre 1988

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DEMARQUILLY C. (1981) : *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*, XI^e Journées du Grenier de Theix, INRA, 580 p.

CADOT M., ROUSSEL G. (1982) : *Observations sur la production de bœufs pie-noirs de 27-32 mois en Meurthe-et-Moselle*, Compte-rendu EDE-ITEB.

GAILLARD B., LE BRIS X. (1984) : "Influence de quelques facteurs climatiques sur la croissance de l'herbe des prairies du Nord-Est de la France", *Recueil des communications du Forum des Fourrages de l'Est*, ITCF, 20-47.

GAILLARD B., LE BRIS X. (1985) : "Le pâturage de prairies permanentes de Lorraine par des bœufs pie-noirs - Comparaison de chargement", *Perspectives Agricoles*, supplément n° 93, 31-34.

- GAILLARD B., LE BRIS X. (1986) : *Valorisation de la prairie permanente en Lorraine par des bœufs frisons pie-noirs*, Compte-rendu de synthèse de quatre années d'essai, ITCF, 74 p.
- GAILLARD B., LE BRIS X. (1987) : "Vers une meilleure prévision du rendement des prairies pâturées", *Perspectives Agricoles*, supplément n°111, 34-38.
- GAILLARD B., DE VAUBERNIER E. (1984) : *Ressources fourragères de l'Est. Références de production*, document du Forum des Fourrages de l'Est, ITCF.
- GILLET M. (1980) : *Les graminées fourragères*, Paris, Gauthier - Villars, 306 p.
- GILLET M. LEMAIRE G., GOSSE G. (1984) : "Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères", *Agronomie*, 1984, 4 (1), 75-82.
- LEMAIRE G. (1983) : "Herbe. Exploitation d'automne et conséquences au printemps", *Cultivar*, 164, 131-133.
- LEMAIRE G., SALETTE J. (1981) : "Analyse de l'influence de la température sur la croissance de printemps des graminées fourragères", *C.R. Ac. Sc. Paris*, 292-III, 843-846.
- MÉTÉOROLOGIE NATIONALE : *Données climatiques des années 1980 à 1983 des stations de Nancy-Essey (54), Ochey-Thuilley (54), Martigny-les-Gerbonvaux (88)*.
- RAPHALEN J.L. (1981) : "Production du ray-grass d'Italie semé en automne, au cours du premier cycle du printemps suivant", *Fourrages*, 85, 53-58.
- RAPHALEN J.L., LE BRIS X. (1985) : "Production des prairies et climat", *Fourrages*, 102, 19-27.
- ROBELIN M. (1969) : "L'alimentation en eau des plantes fourragères", *Fourrages*, 38, 31-40.

ANNEXE 1 : Présentation du protocole expérimental

APPENDIX 1 : Presentation of the experimental lay-out.

La période expérimentale porte sur la deuxième saison de pâturage (fin avril à mi-octobre) de bœufs frisons pie-noirs nés en automne. Les animaux sont abattus à l'automne ou au début de l'hiver suivant, à l'âge de 28-30 mois ; leur poids de carcasse est de l'ordre de 310 kg.

Deux chargements sont comparés : au printemps 4 et 5,6 bœufs par hectare de prairie permanente ; en été 2,6 et 3,6 bœufs par hectare. Les excédents de printemps sont ensilés au premier cycle.

Le niveau de fertilisation des prairies est le même quel que soit le chargement (200 kg N/ha ; 180 kg P/ha ; 150 kg K/ha).

Le pâturage est conduit en rotation sur 6 parcelles. Les deux lots changent de parcelle le même jour.

Chaque lot est constitué de 25 animaux, pesant environ 350 kg à la mise à l'herbe. Les performances réalisées sont de 1400 g/j/animal au printemps et de 700 g/j/animal en été, sans complémentation concentrée.

Les mesures de production fourragère sont réalisées avec une motofaucheuse. Elles consistent à prélever aléatoirement huit placettes de 2 m² avant l'entrée des animaux sur la parcelle ainsi que huit autres prélèvements après la sortie des animaux à l'emplacement de zones soustraites du pâturage par des cages.

ANNEXE 2 : Présentation du milieu expérimental
APPENDIX 2 : Presentation of the experimental environment

Située à 35 km au sud de Toul sur la commune de Gemonville (Meurthe-et-Moselle), à 400 m d'altitude, l'exploitation de M. Alain GODARD produit 60 à 70 bœufs frisons pie-noirs par an sur 55 ha de prairie permanente et 5 ha de maïs fourrage.

LES SOLS

Les prairies sont développées sur des sols bruns calciques plus ou moins profonds suivant la topographie et reposant sur un substrat calcaire dur. Ces sols sont plus sains au printemps mais plus séchant en été que les prairies caractéristiques du Plateau Lorrain.

Un tiers des surfaces correspond à des sols profonds (60 à 80 cm exploitables par les racines), un tiers à des sols superficiels avec affleurements rocheux, le reste est de profondeur intermédiaire.

L'horizon de surface présente un pH situé entre 6,8 et 7,2 suivant les parcelles, sa texture moyenne est la suivante (en % de terre fine) : Argile : 40 à 45% ; Limons : 35 à 40% ; Sables : 5 à 10% ; Matière organique : 5 à 10% ; Calcaire total : 1 à 5%. Le sol est normalement pourvu en potasse (0,31 à 0,33%) et carencé en acide phosphorique (0,06 à 0,10% Joret-Hébert).

LA FLORE

La flore est à dominante de graminées (environ 80% de la production) : pâturins, ray-grass anglais, dactyle, brome. Les plantes diverses sont constituées de renoncule, pissenlit et achillée (10 à 15%) ; les légumineuses, de trèfle blanc (5 à 10% suivant les parcelles).

LE CLIMAT DES ANNÉES D'ESSAI

1980 : Températures inférieures aux normales saisonnières, surtout au printemps et en début d'été. Pluviométrie estivale importante.

1982 : Fin d'hiver et début de printemps froids.
Avril et mai ont été secs dans l'ensemble.
Début d'été bien arrosé.
Fin d'été à pluviométrie normale.
Des températures estivales légèrement supérieures à la normale.

1981 : Températures assez proches de la normale, sauf en mars, mois exceptionnellement doux, ayant favorisé le départ en végétation et une deuxième quinzaine d'avril où la pousse de l'herbe a été fortement ralentie par des températures très basses. Pluviométrie estivale largement supérieure à la moyenne.

1983 : Printemps relativement doux et été très chaud
Pluviométrie très nettement supérieure à la moyenne au printemps, surtout en avril-mai et très largement inférieure à la normale en été.

Postes météorologiques utilisés dans le traitement des données :
Ochey-Thuilley (températures), Nancy-Essey (ETP), Martigny-les-Gerbonvaux (pluviométrie).

RÉSUMÉ

L'exploitation systématique des résultats pluri-annuels de production fourragère obtenus dans un essai de chargement au pâturage d'une prairie permanente lorraine a permis de mettre en évidence les relations entre le rendement de la prairie et divers paramètres climatiques : somme de températures au premier cycle, somme d'évapotranspiration en été. Ces relations sont cohérentes avec celles obtenues à partir d'essais conduits en petites parcelles sur des types de prairies comparables.

L'utilisation de ces relations devrait permettre d'évaluer les niveaux de production possibles de ces prairies en fonction d'un risque climatique donné, et donc de mieux déterminer les objectifs de chargement au cours de la saison de pâturage.

SUMMARY

Relationships between the production of grazed pastures and climatic parameters. Application to a permanent pasture in Lorraine

The systematic analysis of forage yield data obtained over several years on a stocking-rate trial carried out on a grazed permanent pasture in Lorraine revealed the existence of relationships between the yield of the pasture and various climatic parameters : cumulated temperatures during the first growth-cycle, cumulated evapo-transpirations in Summer. These relationships are in accordance with those derived from small plot trials made on comparable types of pastures.

The use of these relations should make it possible to evaluate the possible levels of production of these pastures for a given climatic risk and therefore get a better determination of the stocking strategies for the grazing season.