

Appétence et valeur alimentaire de foins de fétuque indemnes ou infestés par le champignon endophyte *Acremonium coenophialum*

JC Émile, M Ghesquière, R Traineau

Station d'amélioration des plantes fourragères, Inra, 86600 Lusignan, France

(Reçu le 1^{er} février 1996 ; accepté le 24 mai 1996)

Résumé — Notre étude a eu pour but de préciser les effets de la présence d'*Acremonium coenophialum*, champignon endophyte de la fétuque élevée, sur la valeur alimentaire de foins de fétuque dans les conditions agroclimatiques françaises. Les foins ont été récoltés à partir de parcelles issues de lots de semences, indemnes (E-) ou infestés à 100 % (E+) d'une même variété de fétuque élevée. La présence du champignon n'a eu aucun effet sur la composition du foin ni sur la dégradation de la matière sèche dans le rumen, mesurée par la méthode des sachets de nylon. La digestibilité in vivo du foin E-, déterminée sur des moutons en cages individuelles, n'a pas été différente de celle du foin E+ (57,9 vs 57,0 %). En revanche, le foin E- a été nettement préféré par les animaux durant les tests d'appétibilité (53,1 vs 15,7 % de consommation) et a été ingéré en quantité plus élevée (54,7 vs 50,1 g/kg de poids métabolique). Cette étude montre que le champignon *Acremonium coenophialum* peut avoir un effet négatif sur l'appétibilité et l'ingestibilité de la fétuque, mais que la digestibilité potentielle du fourrage infesté n'est pas modifiée. Même si les cas de toxicose en Europe sont rares, il paraît nécessaire d'approfondir l'étude des effets de l'endophyte sur les productions animales dans des conditions agroclimatiques et d'élevage contrastées.

***Acremonium coenophialum* / fétuque élevée / valeur alimentaire / appétibilité / digestibilité**

Summary — **Palatability, digestibility and intake of endophyte free and infected tall fescue hay.** This paper aims to clarify the potential effect of the endophytic fungus, *Acremonium coenophialum*, on the feeding value of tall fescue hay under climatic conditions and usual management in France. Two batches of hay were harvested from two fields sown with seeds of the same variety either totally infested (E+) or free (E-) of endophyte. Presence of the endophyte had no effect on the chemical composition or in vitro digestibility in hay nor on the dry matter in situ degradation kinetic assessed following the nylon bag procedure. In vivo digestibility of both hays, assessed on sheep in individual crates, was quite similar (E+: 57.0%; E-: 57.9%). However, the E- hay was clearly preferred by sheep during the palatability test (53.1 vs 15.7% rate of consumption) and was more ingested (54.7 vs 50.1 g/kg animal metabolic weight). The results showed, therefore, that the endophyte can induce some negative effects on palatability and voluntary intake of tall fescue but without altering the potential digestibil-

ity of infested hay. Regarding further investigations on the effect of infested grass forages on animal productions, it appears that emphasis should be on the level of toxicity rather than on feeding value.

intake / digestibility / tall fescue / endophyte / palatability

INTRODUCTION

Acremonium coenophialum Morgan-Jones et Gams est un champignon de la fétuque élevée *Festuca arundinacea* Schreb. C'est un champignon vivant dans les tissus de la plante, d'où son qualificatif d'endophyte, assez proche des *Epichloe* (quenouille des graminées) et des *Claviceps* (ergots) (Clay, 1988). Il vit en symbiose avec la fétuque en bénéficiant de la plante pour son développement et en lui apportant certains avantages comme une meilleure croissance, une pérennité accrue et une certaine résistance aux stress abiotiques ou biotiques (Joost, 1995). Pour Fribourg et al (1991), la présence de ce champignon n'est probablement pas étrangère à la place qu'à rapidement occupée la fétuque élevée dans l'est des États-Unis (près de 14 millions d'hectares) depuis son introduction à la fin du siècle dernier.

Cependant *A coenophialum* est, depuis les années 1970, tenu pour responsable des mauvaises performances zootechniques et de divers symptômes signalés sur le bétail aux États-Unis avec de la fétuque (intolérance à la chaleur, gangrènes sèches des extrémités, troubles de l'équilibre). Diverses substances toxiques, dont les perloïnes, ont été isolées des fourrages infestés mais, depuis une dizaine d'années, on pense plutôt que ce sont des ergopeptides qui seraient responsables de cette toxicose. L'ergovaline, l'un des principaux ergopeptides produits par l'*Acremonium*, présente une forte ressemblance structurale avec des molécules telles que la norépinéphrine, la dopamine et la sérotonine et perturberait donc leur action. Ainsi l'ergovaline, par son action agoniste de la dopamine, induirait une baisse de la teneur en prolactine, hor-

mone adéno-hypophysaire intervenant dans différents processus métaboliques (Pater-son et al, 1995).

Ce sujet qui passionne depuis 20 ans les chercheurs des États-Unis intéresse également les Néo-Zélandais car un autre *Acremonium*, *Acremonium lolii*, est fréquemment présent dans les ray-grass anglais en Nouvelle-Zélande.

En Europe, les premières observations, réalisées à partir de 1967 par Latch (Latch et al, 1987), ont porté sur la présence d'*Acremonium lolii* dans les populations naturelles européennes de ray-grass anglais. Une revue des données européennes a été récemment présentée par Lewis (1995).

La présence en France d'*A coenophialum* chez la fétuque élevée a été signalée sur des lots de semences commerciaux dès 1986 où Raynal et al (1988) notent que plus de la moitié des lots testés étaient infestés avec des taux de contamination variant de 6 à 58 %. Les études concernant *A lolii* chez le ray-grass anglais ont permis de montrer sa présence dans plus de 70 % des populations naturelles françaises de cette espèce et l'avantage de cette symbiose en termes de performances agronomiques, en particulier dans les situations de sécheresse (Ravel et al, 1995).

Sur un plan zootechnique, après diverses observations de toxicoses réalisées par des éleveurs ou des vétérinaires (Raynal, 1991 ; Iceaga, 1992) de nouveaux cas ont été signalés aussi bien avec de la fétuque élevée qu'avec du ray-grass anglais (Raynal, communication personnelle). Ces cas sont parfois dramatiques et correspondent bien à ce qui a été décrit outre-Atlantique. À ce jour et à notre connaissance, aucune étude n'a cependant été entreprise en Europe

pour caractériser l'effet du champignon sur la valeur alimentaire (ingestibilité et digestibilité) du fourrage infesté ni sur les performances zootechniques d'animaux consommant ce fourrage.

Une expérimentation a donc été mise en place pour apporter des éléments de réponse à ces deux questions. Pour maîtriser l'effet génétique (Émile et al, 1992) une seule variété de fétuque élevée a été choisie. Deux lots de semences (infestés et indemnes) ont été produits et ont permis l'implantation des deux parcelles expérimentales. Cet article présente les effets sur la valeur alimentaire.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les parcelles

Deux multiplications ont été réalisées à la station Inra de Lusignan, à partir des descendance d'une vingtaine de plantes de la variété Clarine, reconnues soit indemnes (lot E-) soit infestées par le champignon (lot E+) par le laboratoire de pathologie végétale de l'Ina-PG (Raynal, communication personnelle). À partir de ces deux types de semences, deux parcelles contiguës de 2 ha ont été semées le 2 septembre 1994, à la dose de 25 kg/ha après une culture de blé. Afin d'augmenter la toxicité potentielle du foin, la récolte de la première coupe du fourrage et son conditionnement en balles rondes ont été volontairement réalisés assez tardivement le 29 mai 1995.

On appellera E-, le foin récolté sur la parcelle issue des semences indemnes d'*Acremonium*, et E+, le foin de la parcelle infestée.

Sur ces foins, destinés à une expérimentation avec des génisses laitières (Emile et al, 1995), des mesures de valeur alimentaire ont été effectuées durant l'été.

La composition chimique

Une analyse chimique des foins (MO, MAT) et plus particulièrement de leurs composés parié-

taux (parois totales – NDF, ligno-cellulose – ADF et lignine – ADL) ainsi que la digestibilité in vitro (IVDOM, solubilité enzymatique à la pepsine-cellulase) ont été réalisées sur des échantillons moyens des fourrages consommés par les moutons (huit prélèvements provenant de quatre balles différentes par type de foin).

L'appétibilité

Nous avons utilisé pour mesurer l'appétibilité, c'est-à-dire l'aptitude du fourrage à être consommé préférentiellement par l'animal lorsque celui-ci a le choix, les tests cafétéria utilisés dans les programmes de sélection des graminées fourragères (Gillet et al, 1983). Pour cela, 15 échantillons de 0,5 kg de chacun des deux foins ont été répartis dans 30 auges disposées en cercle. Une quinzaine de moutons, introduits dans ce cercle, ont été retirés après 2 ou 3 heures et le contenu des auges a alors été pesé à nouveau. La comparaison des quantités ingérées par les moutons dans ce laps de temps court permet d'apprécier l'appétibilité relative des deux foins. Ces tests de cafétéria ont été renouvelés quatre fois (répétitions notées A, B, C et D dans la figure 1), avec des foins provenant de balles différentes.

L'ingestibilité

L'ingestibilité a été mesurée avec des moutons de race Texel en cages individuelles. Deux lots de six animaux, préalablement appariés selon leur âge et leur poids, ont reçu successivement les deux foins E- et E+. Ce dispositif croisé a été répété (août puis septembre 1995), chaque type de foin ayant ainsi été mesuré quatre fois. Les foins ont été distribués à volonté (10 % de refus). Les quantités ingérées et refusées ont été enregistrées pour chaque animal pendant 5 jours successifs après une période d'adaptation au traitement d'une semaine. Les données présentées sont les quantités ingérées en moyenne par le lot pour chacune des mesures (six animaux x 5 jours) et sont exprimées en gramme de matière sèche par kilo de poids métabolique de l'animal (poids viv $P^{0.75}$). Ces valeurs ont été analysées par analyse de variance en déclarant comme effets la nature du foin (E- vs E+) et la répétition avec la procédure GLM-Sas (Sas, 1989). L'interaction entre la nature du foin et la répétition a toujours été

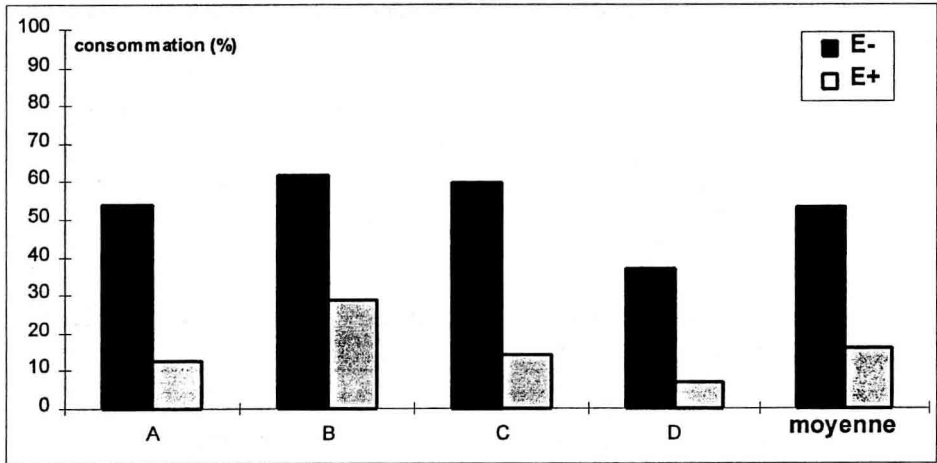


Fig 1. Appétibilité comparée des deux foins E- et E+. Quatre mesures en cafétéria d'auges.

négligeable par rapport aux effets principaux et a donc été regroupée dans l'erreur résiduelle.

La digestibilité

La digestibilité *in vivo* a également été mesurée avec des moutons Texel. Comme pour le contrôle de l'ingestibilité, deux lots de six animaux ont reçu successivement les quatre modalités (deux foins x deux répétitions). Le fourrage leur a été distribué en quantité limitée, selon leur poids (45 g MS/kg P 0,75). Les fèces ont été collectées quotidiennement et individuellement. Des prélèvements de fourrages et de fèces ont été réalisés pour déterminer les teneurs en cendres. La digestibilité *in vivo* de la matière organique (dMO dans les tableaux) a pu alors être calculée. Ces données ont été analysées par analyse de variance dans les mêmes conditions que pour l'ingestibilité.

La digestibilité *in situ*

Pour chaque lot de foin, un échantillon de 2 kg a été obtenu à partir de cinq prélèvements de 2 kg sur des balles différentes. Après hachage,

séchage puis broyage à une grille de 2 mm, deux sous-échantillons ont été séparés afin de réaliser deux répétitions pour chaque traitement.

La cinétique de disparition dans le rumen de la matière sèche de chacun des quatre traitements (deux foins x deux répétitions) a été étudiée avec quatre vaches tarées de race Prim'holstein, munies d'une fistule ruminale. Ces animaux ont reçu une ration standard (7 kg de foin de luzerne et 2 kg de concentré). La méthodologie employée pour les mesures et les calculs a été la méthode des sachets de nylon *in situ* décrite par Michalet-Doreau et al (1987). Les points de cinétique retenus sont 2, 4, 8, 16, 24, 48 et 72 heures.

RÉSULTATS

La composition chimique

La présence ou l'absence du champignon dans les lots de semences s'est traduite par des foins d'une composition chimique très proche, au moins en ce qui concerne les teneurs en matières minérales et en constituants pariétaux (NDF, ADF, ADL). La digestibilité *in vitro* (IVDOM) est également com-

Tableau I. Composition chimique (% de la MS) et digestibilité in vitro (IVDOM) des deux foins étudiés.

	<i>MM</i>	<i>MAT</i>	<i>NDF</i>	<i>ADF</i>	<i>ADL</i>	<i>IVDOM</i>
Fourrage E+	8,3	8,7	65,2	31,0	3,8	53,3
Fourrage E-	8,1	9,6	66,2	31,5	3,7	53,4

parable entre les deux foins (tableau I). La teneur en matières azotées un peu plus faible du foin E+ est probablement associée à une production de matière sèche légèrement plus élevée (observations visuelles).

L'appétibilité

Le foin E- a été nettement préféré par les animaux durant les tests d'appétence en cafétéria d'auges. Comme le montre la figure 1, les moutons ont systématiquement choisi le foin E- lors des quatre mesures. En moyenne 53,1 % du foin E- a été

consommé alors que seulement 15,7 % du foin E+ l'était.

La valeur alimentaire in vivo

Lorsque le foin est distribué seul et à volonté, le foin E- est ingéré en plus grande quantité que le foin E+ (respectivement 54,7 et 50,1 g/kg P^{0,75}; $p < 0,05$; tableau II), soit une différence de 9 %.

La digestibilité du foin E-, mesurée avec des animaux alimentés en quantité limitée correspondant à la couverture de leurs besoins d'entretien, n'est pas significative-

Tableau II. Effets respectifs de l'endophyte (fourrage E+ ou E-) et de la répétition sur les quantités ingérées et la digestibilité in vivo (dMO).

	<i>ddl</i>	<i>Animaux alimentés à volonté</i>	<i>Animaux alimentés en quantités limitées</i>
		<i>Quantités ingérées</i>	<i>Digestibilité</i>
Effet endophyte	1	7,2 *	0,7 ns
Effet répétition	1	0,7 ns	0,6 ns
Fourrage E-		54,7	57,9
Fourrage E+		50,1	57,0
Répétition 1		53,0	57,0
Répétition 2		51,7	57,9

Extrait du tableau d'analyse de la variance. Mesures indépendantes de ces deux critères. ns : non significatif ; * significatif au seuil $p < 0,05$.

ment supérieure à celle du foin E+ (respectivement 57,9 et 57,0 % ; tableau II).

La digestibilité in situ

L'étude cinétique de la digestion de la matière sèche dans le rumen ne montre aucune différence entre les deux foins (tableau III). Les foins E- et E+ se caractérisent par des fractions rapidement dégradables (fraction a ; 25,0 vs 27,1 %), des fractions indégradables à 72 heures (fraction A ; 18,4 vs 18,2 %) et des vitesses de dégradation (coefficient c ; 0,03 pour les deux foins) comparables. La dégradabilité théorique de la matière sèche (DT6) est alors de 44,5 et 45,7 % respectivement pour E- et E+.

DISCUSSION

Si nous sommes certains du statut E+ (infesté à 100 %) ou E- (indemne) des semences de fétuque utilisées, nous ne pouvons pas à ce jour caractériser avec certitude les foins issus de ces parcelles E+ et E-. Cependant un ensemble d'éléments nous laisse à penser que les foins étudiés se caractérisent bien par des teneurs en ergo-peptides différentes.

Les résultats des tests d'appétibilité présentés ici montrent que la préférence marquée des moutons pour l'un des foins proposés est supérieure à tout ce qui a pu être observé jusqu'ici dans les programmes d'amélioration des fourrages. Par ailleurs, des dosages sanguins chez des génisses alimentées avec les mêmes foins (résultats non publiés) montrent des baisses de pro-lactine sérique de l'ordre de 50 % chez les animaux recevant le foin E+, phénomène très probablement lié à la présence d'ergovaline (Paterson et al, 1995).

Nous n'avons noté aucune différence entre les foins E+ et E- en ce qui concerne leur teneur en constituants pariétaux (CB, NDF, ADF et ADL), ce qui confirme les études antérieures (Bush et Burrus, 1988 ; Waller et al, 1995).

L'appétibilité n'est pas un critère fréquemment évalué dans les essais avec animaux. La très nette préférence des moutons pour le foin indemne d'*Acremonium* conforte les observations de Garner et Cornell (1987) cités par Paterson et al (1995). Ces auteurs signalent que des génisses consomment préférentiellement une ration à base de graines de fétuques E- plutôt que la même ration avec des graines E+.

Concernant l'ingestibilité du fourrage, il est maintenant généralement admis que la présence du champignon est à l'origine

Tableau III. Principaux paramètres de la cinétique de disparition de la matière sèche dans le rumen des deux fourrages (E+ et E-).

	a	b	c	A	t	DT
fourrage E+	27,1	54,7	0,03	18,2	1,1	45,7
fourrage E-	25,0	56,5	0,03	18,4	0,7	44,5

a : Fractions rapidement dégradables, b : lentement dégradables et A : indégradables ; t : temps de latence, c : vitesse de dégradation et DT : dégradabilité théorique.

d'une baisse de consommation de fourrage par l'animal. Nos résultats confirment cette tendance (tableau IV). L'ingestibilité (VI) a, dans certaines études, été réduite de 50 % (Fribourg et al, 1991). Cependant cette baisse semble influencée par les conditions de température. Des baisses de consommation n'ont été observées qu'à partir d'une température de 30 °C en conditions naturelles ou en conditions contrôlées (Hemken et al, 1981 ; Boling et al, 1989 ; Peters et al, 1992 ; Aldrich et al, 1993b). Pour Goetsch et al (1987) l'effet de l'endophyte sur l'ingestion dépend linéairement du degré d'infestation en *Acremonium* de la ration

alors que pour d'autres auteurs, raisonnant en teneur en ergovaline, l'effet n'est pas linéaire (Hannah et al, 1990 ; Fribourg et al, 1991).

Pour la digestibilité, les études disponibles proviennent toutes des États-Unis et peuvent être regroupées en deux groupes (tableau IV). D'une part des mesures in vivo (dOM) ont été effectuées avec des moutons (Hemken et al, 1979 ; Hannah et al, 1990 ; Aldrich et al, 1993a) ou des bovins (Goetsch et al, 1987 ; Aldrich et al, 1993b). D'autre part des déterminations de la digestibilité in vitro (IVDOM) ont été réalisées sur des fourrages consommés par des animaux

Tableau IV. Effets de la présence du champignon endophyte sur l'ingestibilité (VI), la digestibilité in vivo (dOM) et la digestibilité in vitro (IVDOM) : travaux antérieurs et cette étude.

Présentation de la fétuque dans la ration	Espèce animale	Température (°C)	VI	dOM	IVDOM	Référence
Graines	ovins	27	ns	ns		Hannah et al 1990
Graines	ovins	34	ns	ns		Hannah et al 1990
Foin	ovins		-17 %	+6 %		Hemken et al 1979
Foin + graines	ovins	32	-31 %	-6 %		Aldrich et al 1993a
Foin	bovins		-22 %	ns		Goetsch et al 1987
Foin + graines	ovins	32	---	ns		Aldrich et al 1993a
Graines	ovins	27	---	ns à -14% ^a		Hannah et al 1990
Graines	ovins	20	---	ns		Hannah et al 1990
Graines	bovins	32	---	ns		Aldrich et al 1993b
Graines	bovins	22	---	-13 %		Aldrich et al 1993b
Pâturage	bovins		ns à - 19 % ^b		ns	Peters et al 1992
Foin	bovins	33	ns		+5,1 %	Schmidt et al 1982
Pâturage	bovins				ns	Read et Camp 1986
Fourrage vert					ns	Fritz et Collins 1991
Fourrage vert					ns	Arachevaleta et al 1989
Graines	bovins	22 à 32	ns			Aldrich et al 1993b
Ensilage	bovins	21	ns			Hemken et al 1981
Ensilage	bovins	34	-53 %			Hemken et al 1981
Foin	bovins	21	ns			Boling et al 1989
Foin	bovins	34	ns			Boling et al 1989
Foin	bovins		ns			Émile et al 1995
Foin	ovins		-8%	ns	ns	Émile et al 1996

Ration E+ par rapport à la ration témoin E- (en %). ns : différence entre les rations E+ et E-, sur ce critère, non significative selon les auteurs ; ^a selon la teneur en ergovaline de E+ (1,5 vs 3 ppm) ; ^b selon la saison.

(Schmidt et al, 1982 ; Read et Camp, 1986 ; Peters et al, 1992), ou récoltés lors d'essais agronomiques (Fritz et Collins, 1991) ou d'études de croissance de la fétuque en conditions contrôlées (Arachevelata et al, 1989).

Toutes les études *in vitro* montrent que l'endophyte ne diminue pas la digestibilité de la fétuque. Schmidt et al (1982) notent même une amélioration.

Les résultats des mesures *in vivo* sont contradictoires. Lorsque les rations sont constituées à base de graines de fétuque, il semble que les fourrages E+ soient de plus faible valeur que les fourrages E- (Aldrich et al, 1993a,b) bien que ceci ne soit pas toujours significatif (Hannah et al, 1990). La diminution de la digestibilité serait plus importante à température élevée (Hannah et al, 1990) bien que ceci ne soit pas vérifié dans tous les cas (Aldrich et al, 1993b). Dans les rations à base de foin, les foins E+ sont aussi digestibles que les foins E- pour Goetsch et al (1987) comme dans notre étude. Ils sont mêmes plus digestibles pour Hemken et al (1979).

Il semble que ces données quelque peu contradictoires pourraient traduire deux phénomènes distincts. D'une part la digestibilité potentielle d'une ration E+ ne serait pas modifiée par rapport à celle d'une ration E-. Ceci est mis en évidence par les diverses mesures de digestibilité *in vitro* et par notre étude de la cinétique de disparition *in situ*. D'autre part, pour un animal qui consomme la ration E+ depuis un certain temps, on observerait, dans certaines conditions, une plus mauvaise utilisation digestive de la ration E+. Il y aurait donc un effet toxique qui limiterait l'expression de la digestibilité potentielle de la ration, peut-être par une réduction de l'activité des microorganismes du rumen ou par une accélération de la vidange du contenu ruminal en raison d'une augmentation des contractions ruminales (Hannah et al, 1990). Un phénomène d'empoisonnement progressif permettrait

ainsi d'expliquer les situations où la digestibilité *in vivo* de la ration a été significativement plus faible. Il est intéressant de remarquer que, parmi les études publiées, c'est avec la plus forte ingestion d'ergovaline (0,19 mg par kilo de poids métabolique) que l'on constate la plus forte baisse de digestibilité (9,7 points, essai 1 de Hannah et al, 1990).

CONCLUSIONS

Nous avons choisi de nous situer dans des conditions favorables à l'expression de la toxicité de l'endophyte (lot de semence infecté à 100%, récolte du fourrage tardive, alimentation des animaux en conditions chaudes). Les effets observés sont donc probablement supérieurs à ceux que l'on aurait pu enregistrer dans des conditions d'élevage moins extrêmes. Cependant, cette étude montre qu'en parallèle à son éventuel intérêt agronomique la présence du champignon *Acremonium coenophialum* peut avoir un effet négatif sur certains paramètres de la valeur des fourrages comme l'appétibilité et l'ingestibilité.

La présence du champignon n'a, en revanche, pas eu d'effets sur la digestibilité de la fétuque et il serait probablement judicieux de s'intéresser dorénavant plutôt aux phénomènes d'intoxication des animaux consommant des fourrages très infestés et aux pertes de productivité qui en résultent. Compte tenu des fortes interactions avec le milieu des effets de l'endophyte, les expérimentations devront intégrer le niveau d'intensification appliquée aussi bien à la production fourragère qu'à la conduite du troupeau.

Enfin, il serait indispensable, pour l'agriculteur comme pour le sélectionneur, de pouvoir disposer de moyens rapides d'estimation du taux d'infestation d'un fourrage par *A. coenophialum* et de son éventuelle toxicité par le dosage de l'ergovaline.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des personnes qui ont participé à ce travail, en particulier M Lila, S Allerit, E Auzanneau, M Bucher, R Chargelègue, JL Doux, V Ménanteau, J Moinet, C Pradeau, et G Raynal pour sa lecture critique du manuscrit.

RÉFÉRENCES

- Aldrich CG, Rhodes MT, Miner JL, Kerley MS, Paterson JA (1993a) The effects of endophyte-infected tall fescue consumption and use of a dopamine antagonist on intake, digestibility, body temperature, and blood constituents in sheep. *J Anim Sci* 71, 158-163
- Aldrich CG, Paterson JA, Tate JL, Kerley MS (1993 b) The effects of endophyte-infected tall fescue consumption on diet utilization and thermal regulation in cattle. *J Anim Sci* 71, 164-170
- Arachevelata M, Bacon CW, Hoveland CS, Radcliffe DE (1989) Effect of tall fescue endophyte on plant response to environmental stress. *Agron J* 81, 83-90
- Boling JA, Bunting LD, Davenport GM, Van der Veen JL, Meekins KM, Bradley NW, Kohls RE (1989) Physiological responses of cattle consuming tall fescue to environmental temperature and supplemental phenothiazine. *J Anim Sci* 67, 2377-2385
- Bush LP, Burrus PB (1988) Tall fescue forage quality and agronomic performance as affected by the endophyte. *J Prod Agric* 1, 55-60
- Clay K (1988) Fungal endophytes of grasses: a defensive mutualism between plants and fungi. *Ecology* 69,10
- Émile JC, Gillet M, Ghesquière M, Charrier X (1992) Pâturage continu de fétuques élevées par des vaches laitières : amélioration de la production par l'utilisation d'une variété sélectionnée pour l'appétibilité. *Fourrages* 130, 159-169
- Émile JC, Ghesquière M, Gondran J (1996) Contrasting palatability in endophyte free and infected tall fescue did not result in changes of intake and animal growth. Conference on harmful and beneficial microorganisms in grassland, pastures and turf. Paderborn, Germany, 22-24 November 1995. *Bull OILB Strop* 19, 169-172
- Fribourg HA, Hoveland CS, Codron P (1991) La fétuque élevée et l'*Acremonium coenophialum*. Aperçu de la situation aux États-Unis. *Fourrages* 126, 209-223
- Fritz JO, Collins M (1991) Yield, digestibility, and chemical composition of endophyte free and infected tall fescue. *Agron J* 83, 537-541
- Gillet M, Noël C, Jadas-Hécart J (1983) La cafétéria d'auges, méthode d'étude de l'appétibilité des fourrages. *agronomie* 3, 817-822
- Goetsch AL, Jones AL, Stokes SR, Beers KW, Piper EL (1987) Intake, digestion, passage rate and serum prolactin in growing dairy steers fed endophyte-infected fescue with noninfected fescue, clover or wheat straw. *J Anim Sci* 64, 1759-1768
- Hannah SM, Paterson JA, Williams JE, Kerley MS, Miner JL (1990) Effects of increasing dietary levels of endophyte-infected tall fescue seed on diet digestibility and ruminal kinetics in sheep. *J Anim Sci* 68, 1693-1701
- Hemken RW, Bull LS, Boling JA, Kane E, Bush LP, Buckner RC (1979) Summer fescue toxicosis in lactating dairy cows and sheep fed experimental strains of ryegrass-tall fescue hybrids. *J Anim Sci* 49, 641-646
- Hemken RW, Boling JA, Bull LS, Hatton RH, Buckner RC, Bush LP (1981) Interaction of environmental factors on the severity of summer fescue toxicosis. *J Anim Sci* 52, 710-714
- Iceaga F (1992) Les toxicoses du bétail dues aux *Acremonium*, champignons endophytes de la fétuque élevée et du ray grass anglais. Thèse de doctorat, École nationale vétérinaire, Toulouse, France
- Joost RE (1995) *Acremonium* in fescue and ryegrass: boon or bane? A review. *J Anim Sci* 73, 881-888
- Latch GCM, Potter LR, Tyler BF (1987) Incidence of endophytes in seeds from collection of *Lolium* and *Festuca* species. *Ann Appl Biol* 11, 59-64
- Lewis GC (1996) A review of research on endophytic fungi worldwide, and its relevance to European grassland, pastures and turf. Conference on harmful and beneficial microorganisms in grassland, pastures and turf. Paderborn, Germany, 22-24 November 1995. *Bull OILB Strop* 19, 17-29
- Michalet-Doreau B, Vérité R, Chapoutot P (1987) Méthodologie de mesure de la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments dans le rumen. *Bull Tech CRZV Theix, Inra* 69, 5-7
- Paterson J, Forcherio C, Larson B, Samford M, Kerley M (1995) The effects of fescue toxicosis on beef cattle productivity. *J Anim Sci* 73, 889-898
- Peters CW, Grigsby KN, Aldrich CG, Paterson JA, Lipseley RJ, Kerley MS, Garner GB (1992) Performance, forage utilization, and ergovaline consumption by beef cows grazing endophyte fungus-infected tall fescue, endophyte fungus-free tall fescue or orchardgrass pastures. *J Anim Sci* 70, 1550-1561
- Ravel C, Charmet G, Balfourier F (1995) Influence of the fungal endophyte *Acremonium lolii* on agronomic traits of perennial ryegrass in France. *Grass For Sci* 50, 75-80
- Raynal G, Champion R, Sicard G, De Goyon B (1988) Les *Acremonium*, champignons endophytes des graminées, néfastes ou bénéfiques. *Bull Semences FNAMS* 104, 12-14

- Raynal G (1991) Observations françaises sur les *Acremonium*, champignons endophytes des graminées fourragères. *Fourrages* 126, 225-237
- Read JC, Camp BJ (1986) The effect of the fungal endophyte *Acremonium coenophialum* in tall fescue on animal performance, toxicity, and stand maintenance. *Agron J* 78, 848-850
- Sas Institute Inc (1989) Sas/Stat User's guide, Version 6, Fourth edition, Volume 2, SAS Institute Inc, Cary, NC, États-Unis, 846 pp
- Schmidt SP, Hoveland CS, Clark EM, Davis ND, Smith LA, Grimes HW, Holliman JL (1982) Association of an endophyte fungus with fescue toxicity in steers fed Kentucky 31 tall fescue seed or hay. *J Anim Sci* 55, 1259-1263
- Waller JC, Fribourg HA, Graves RB, Walker CL, Gwinn KD (1995) Nutrient composition of tall fescue pasture forage free of or infested with *Acremonium coenophialum*. *Ann Zootech* 44, suppl 1, 125s