

LA CONTAMINATION PAR LES MOISSURES ET LES MYCOTOXINES DES FOURRAGES CONSERVÉS SIGNIFICATION ET PRÉVENTION

Hamid Boudra – Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).
Unité de Recherches sur les Herbivores. Équipe de Digestion Microbienne.
63122 Saint-Genès-Champanelle.

RESUME :

La conservation des fourrages est traditionnellement basée sur la combinaison d'un ou de plusieurs paramètres bien établis, comme la réduction de la teneur en eau par le séchage, l'acidification par le processus fermentaire, et le maintien de l'anaérobiose. Le développement et les modifications des techniques de conservation des fourrages ont été ciblés ces dernières années sur l'efficacité et le coût de la main d'œuvre. Malheureusement des altérations des fourrages par les microorganismes ont été observées dans tous les systèmes de conservation. Elles conduisent à une diminution de la valeur alimentaire des fourrages, et à des effets néfastes sur la santé des animaux et de l'homme par la production de mycotoxines.

Après avoir fait un rappel sur les principales espèces retrouvées dans les fourrages verts (pâturages) et conservés, et sur les conditions écologiques de leur développement, j'aborderai les problèmes liés à une contamination mycotoxique et les recommandations pratiques concernant la prévention et la maîtrise de ces contaminations.

INTRODUCTION :

Les fourrages constituent 40 à 80 % de la ration alimentaire des ruminants, leur richesse en fibre est essentielle pour le fonctionnement du rumen. En raison de la répartition irrégulière et saisonnière de la production des aliments pour animaux (fourrages et céréales), le recours à la conservation de ces aliments est une étape pratiquement incontestable et quasi obligatoire. L'objectif est de pouvoir donner des fourrages durant la période de déficit fourrager (hiver et les saisons sèches). Il existe deux modes dominants de récolte et de conservation des fourrages. Le foin qui reste une image de marque dans certaines régions de France pour la fabrication des fromages. L'ensilage d'herbe et de maïs dont la popularité n'a cessé d'augmenter durant ces 15 dernières années en particulier dans les régions de production intensive de lait (Bretagne et Haute Normandie).

La conservation des fourrages est basée essentiellement sur la combinaison de l'anaérobiose, avec d'une part pour le foin le séchage rapide à une teneur en eau inférieure à 15-20 %, et d'autre part, une homo fermentation, grâce aux bactéries lactiques des ensilages, permettant une acidification rapide à un pH entre 4-5. Sous ces conditions, la majorité des moisissures ne peuvent pas se développer sur ces types d'aliments en raison de leur caractère aérobie. Toutefois, des altérations par les microorganismes sont régulièrement observées ; celles provoquées par les moisissures sont localisées en surface et présentent souvent une croissance importante et macroscopiquement visible. A l'inverse des céréales, la contamination des fourrages et des ensilages par les moisissures et les mycotoxines a été très peu étudiée ou contrôlée, ceci peut s'expliquer en partie par l'absence de valeur marchande des fourrages conservés qui sont produits et consommés *in situ*.

Le développement des moisissures s'accompagne d'une modification plus ou moins importante de l'aliment, avec une production de mycotoxines sous certaines conditions. Les altérations induites par les différents microorganismes présents, dont les moisissures, sont d'une grande importance économique, non seulement en raison des pertes qu'elles occasionnent, mais aussi pour les mesures onéreuses de séchage et de conservation (additifs et conservateurs) qu'elles nécessitent.

I - MECANISMES DE CONTAMINATION PAR LES MOISSURES ET LES MYCOTOXINES

1 - Définitions

Les moisissures sont des champignons microscopiques saprophytes dépourvus de pigments assimilateurs ; incapables d'utiliser le gaz carbonique de l'air, elles sont dépendantes de sources organiques. Sur le plan économique, on peut distinguer deux groupes de moisissures. Les moisissures utiles qui sont utilisées dans l'industrie pour conférer aux produits des propriétés organoleptiques et technologiques comme le *P. camemberti* et *P. roqueforti* dans la fromagerie ; *P. jensenii* ou *nalgiovensis* en salaisonnerie. Les moisissures nuisibles toxigènes peuvent se développer dans différents substrats tels que les céréales et les fourrages, et y produire dans certaines conditions de température et d'humidité des molécules toxiques dénommées mycotoxines ou métabolites secondaires. Le terme de métabolites secondaires signifie qu'on ne sait leur attribuer aucun rôle dans la croissance de la moisissure qui les produit. Plus d'un millier de métabolites secondaires d'origine fongique sont produits dans les conditions de laboratoire (Cole et Cox, 1981). Le nombre de ces derniers est de loin inférieur à la réalité, étant donné que les études réalisées ne portent que sur un faible pourcentage d'espèces fongiques. Une partie seulement de ces métabolites identifiés (environ une trentaine) possèdent expérimentalement une activité biologique, et sont retrouvés à des niveaux appréciables comme contaminants naturels des aliments.

2 - Les étapes de contamination

La contamination des fourrages par les moisissures est inévitable. Un grand nombre et une grande variété de microorganismes sont présents dans les fourrages verts fraîchement récoltés. Mais la majeure partie des contaminants est apportée durant les processus de récolte, de séchage, de manutention et de stockage. Ce deuxième inoculum est essentiellement apporté avec la terre, les poussières et les débris de végétaux moisiss de la dernière récolte qui restent au champ ou dans le silo (Figure 1). La plupart de ces micro-organismes restent superficiels, une partie seulement de ces contaminants est capable de se développer dans les conditions de stockage.

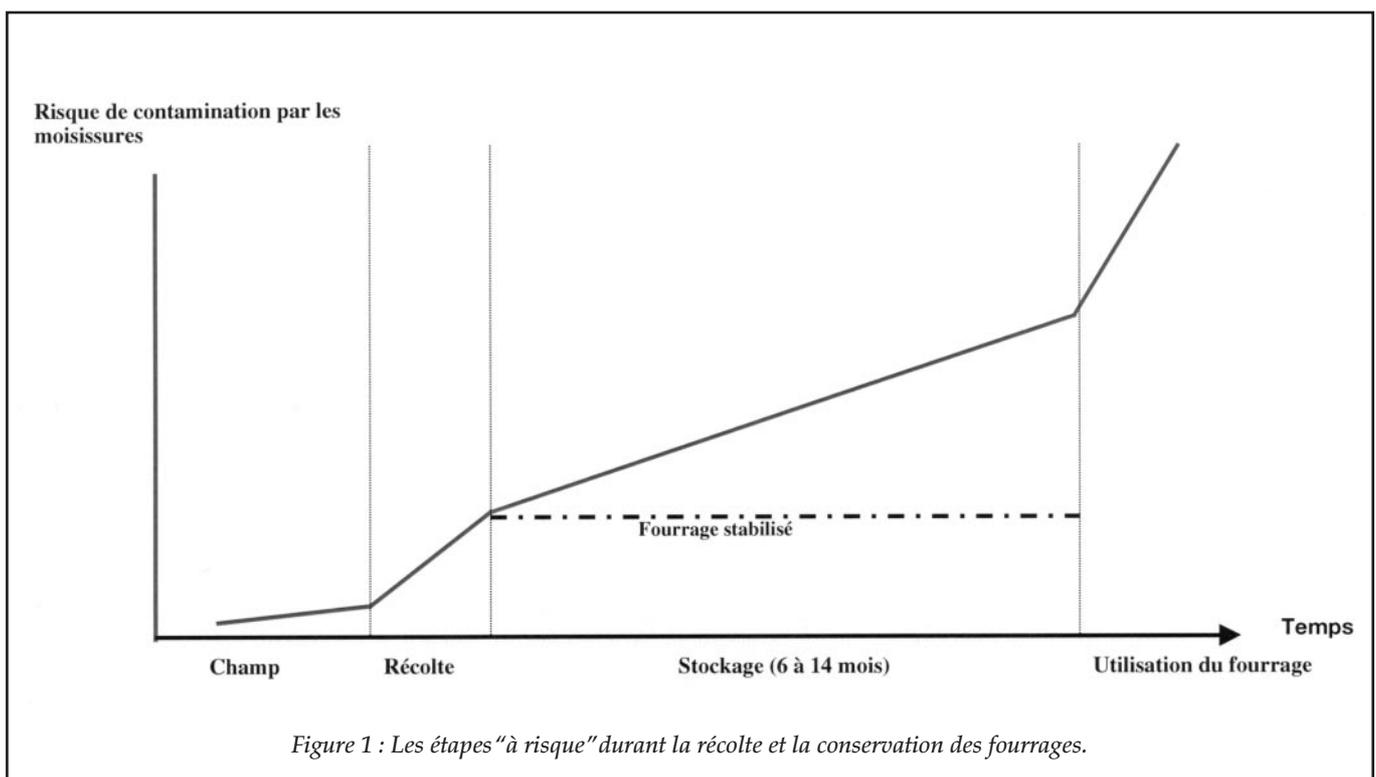


Figure 1 : Les étapes "à risque" durant la récolte et la conservation des fourrages.

3 - Facteurs influençant la croissance et la toxinogénèse

Les fourrages conservés bien stabilisés hébergent, à l'état latent, de nombreuses espèces fongiques. Ceci est sans conséquence préjudiciable pour l'animal consommateur tant que les conditions écologiques et nutritionnelles ne permettent pas un développement fongique. La compréhension des mécanismes régissant la croissance des moisissures avec éventuellement la production de mycotoxines dans les fourrages conservés revêt une importance primordiale. Ces mécanismes sont régis essentiellement par les conditions écologiques de conservation du fourrage. En plus du couple **température-teneur en eau**, deux autres facteurs ont toute leur importance dans la conservation des fourrages : le **confinement ou l'anaérobiose** et la **présence d'autres microorganismes** qui sont susceptibles d'exercer une compétition importante pour l'occupation du substrat.

3.1 - La teneur en eau

La teneur en eau constitue le facteur déterminant de la croissance fongique. Son rôle dans l'altération fongique des fourrages conservés est cependant différent selon le fourrage concerné (Figure 2). Pour le foin, le taux d'humidité des fourrages au moment de la conception des balles rondes est déterminant pour la colonisation ultérieure par les moisissures. En revanche, les teneurs en eau élevées dans les ensilages (75-82 %) sont incompatibles, du moins en début de conservation, avec une croissance fongique.

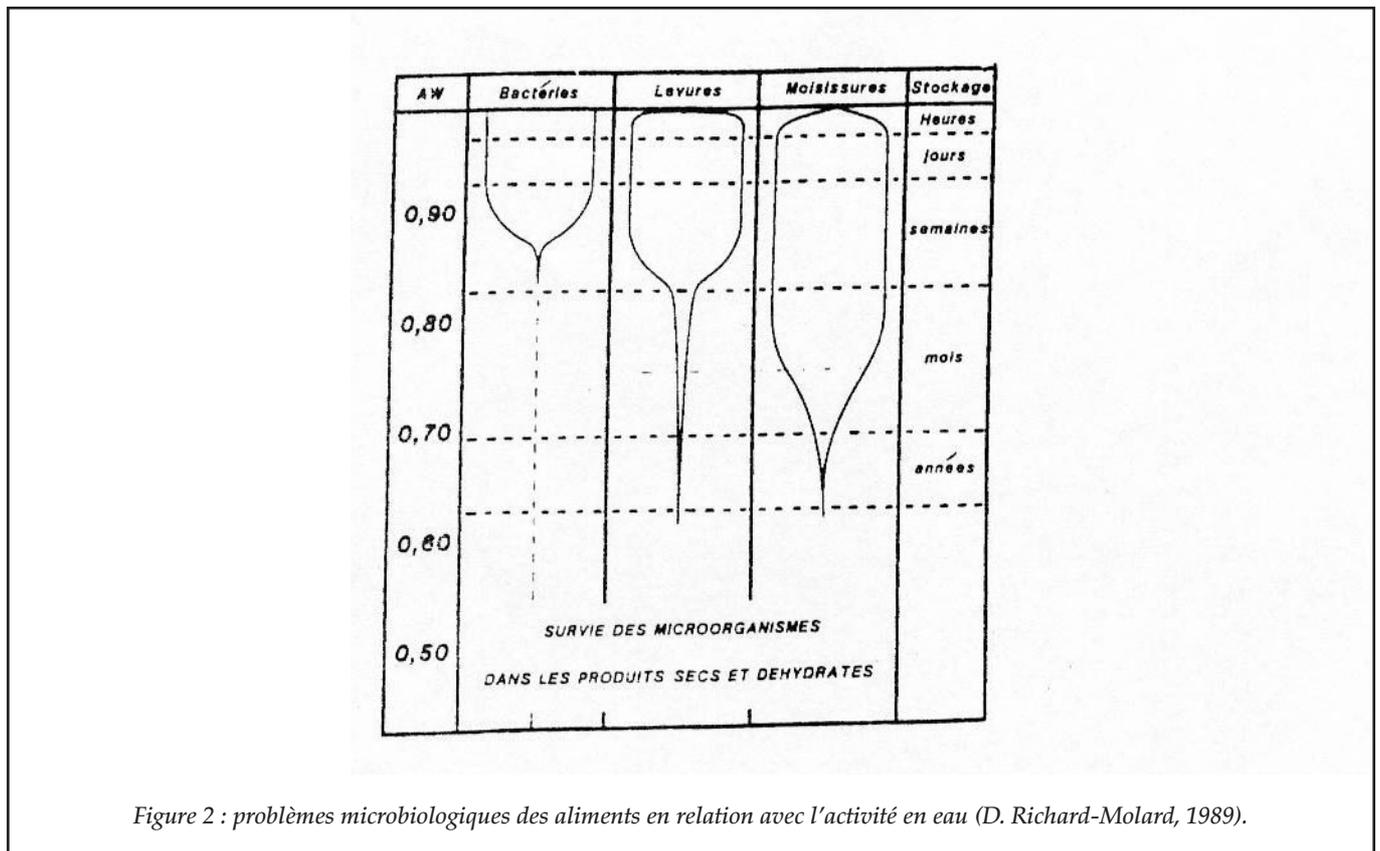
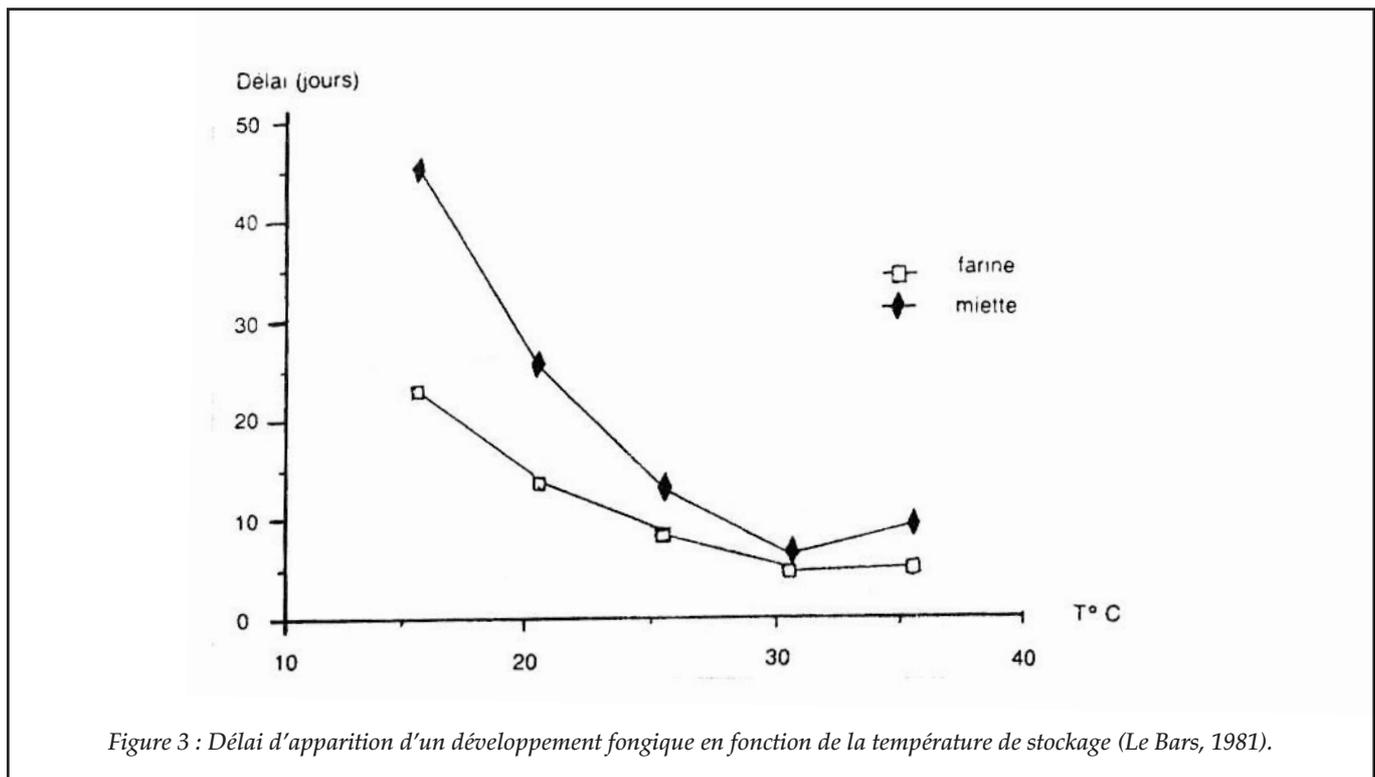


Figure 2 : problèmes microbiologiques des aliments en relation avec l'activité en eau (D. Richard-Molard, 1989).

3.2 - La température :

La plupart des moisissures ont des optimum de croissance entre 25 et 35°C (Figure 3). Certaines espèces appelées thermophiles, peuvent même se développer à des températures supérieures, comme c'est le cas de l'*A. fumigatus*, espèce fréquente des fourrages conservés (Smith, 1972 ; Cole et al, 1977 ; Pelhate, 1987 ; Schneiweis et al, 2001). La température optimale de toxinogénèse est généralement voisine de celle qui permet une croissance ; mais des études ont montré l'effet activateur et positif de températures cycliques. Ainsi, [Richard-Molard, 1989] a montré que la production d'AF B1 par l'*A. parasiticus* aux températures cycliques de 25/40°C est nettement plus importante qu'à une température moyenne constante.



3.3 - L'anaérobiose

La plupart des moisissures rencontrées dans les aliments sont considérées comme aérobies strictes. Cependant certaines espèces appelées **microaérophiles** ou tolérantes au confinement, peuvent se développer sur des foin et au sein de l'ensilage où le confinement est plus important. C'est le cas particulièrement des espèces toxigènes suivantes : *Byssoschlamys nivea* ; *Paecilomyces varioti*, *Penicillium roqueforti*, *Aspergillus fumigatus*, *Monascus purpureus*... A côté de ces espèces, il existe d'autres espèces qui se révèlent à la faveur d'un apport d'oxygène lors d'un désilage ou au niveau d'un front de coupe d'ensilage.

3.4 - pH

Le pH acide entre 4 et 5 obtenu après une fermentation lactique des ensilages peut prévenir également la contamination par certaines espèces fongiques. (Lacey, 1975) a montré que l'acidité de l'ensilage n'est pas favorable à la croissance de l'*A. flavus* et par conséquent à la production d'AF B1. De la même façon, nous avons constaté que la production *in vitro* de gliotoxine est significativement moins importante à pH 4 qu'à un pH supérieur à 6 (Boudra et al, 2002). De plus, certaines mycotoxines naturellement présentes dans une herbe, disparaissent totalement après ensilage (Hacking et al, 1981 ; Müller et al, 1997).

II - CONSÉQUENCES D'UN DÉVELOPPEMENT FONGIQUE

Le développement des moisissures s'accompagne d'une modification plus ou moins importante de l'aliment, et d'une production, sous certaines conditions, de mycotoxines dangereuses pour l'homme et l'animal.

1 - Altération de la valeur alimentaire et des qualités organoleptiques

Les micromycètes possèdent un arsenal enzymatique très varié qui leur permet d'utiliser plusieurs types de substrats. Sous certaines conditions, notamment de température et d'humidité, ils peuvent se développer et provoquer de multiples modifications biochimiques et nutritionnelles. C'est ainsi qu'un développement fongique même minime sur les fourrages

confère à ces derniers un goût de moisi et/ou une diminution de l'appétibilité qui peut constituer un **facteur de refus** ou une **diminution de l'ingestion**. De plus, les processus de dégradation initiés par les enzymes du végétal, sont souvent relayés par les microorganismes présents dans l'ensilage (bactéries, levures et moisissures). Les pertes touchent essentiellement la **matière sèche (MS)**, les **glucides** et les **produits azotés**. L'accumulation de certains produits de la dégradation est souvent utilisée comme un indicateur de la qualité de l'ensilage. Si le rôle des bactéries telles que les bactéries lactiques, les entérobactéries, *Clostridium*, *Bacillus*, dans l'altération biochimique des ensilages a été étudié, l'intervention des moisissures dans ces processus d'altération des fourrages est mal connue et n'a pas été quantifiée.

2 - Effets sur la santé animale et humaines (Risques toxicologiques)

Les effets sur la santé sont associés à la présence de mycotoxines ou de moisissures allergéniques. On peut observer deux types d'effets selon qu'ils sont provoqués par les moisissures ou par leur(s) métabolite(s).

2.1 - Les effets directs

Certaines espèces fongiques sont responsables de mycoses et de réactions allergiques chez l'homme et l'animal. Les effets les mieux connus sont ceux provoqués par l'*A. fumigatus*, espèce fréquemment retrouvée dans les fourrages et connue pour être responsable d'aspergillose pulmonaire (Richard et al, 1996), et de mammites (Bauer et al, 1989) chez les animaux.

2.2 - Les effets Indirects

Effets sur la santé animale (Mycotoxicose)

Le problème des mycotoxines sur la santé animale peut être comparé à un iceberg. La faible partie visible représente les mycotoxicoses aiguës observées lors d'ingestion de grandes quantités de mycotoxines; elles sont actuellement très rares. La face cachée de l'iceberg, plus importante et plus difficile à reconnaître, représente les effets d'une ingestion continue de doses faibles de toxines seules ou en associations avec d'autres toxines ou agents pathogènes. L'ingestion de faibles doses peut entraîner des effets insidieux comme la baisse des performances animales et leur prédisposition accrue à des maladies par suite d'une déficience du système immunitaire. C'est ainsi que l'ingestion d'une petite dose d'aflatoxines peut être reliée à un accroissement de la sensibilité à la salmonellose, la candidose ou à la coccidiose chez la volaille; à la salmonellose ou à la dysenterie chez le porc (Hamilton et al, 1971 ; Pier et al, 1980).

Les problèmes de toxines observés dans les fourrages conservés ont pour origine aussi bien les bactéries que les moisissures. On s'intéressera, dans ce qui va suivre, uniquement aux problèmes liés aux moisissures. La reconnaissance du pouvoir toxique des mycotoxines et l'intérêt qu'on leur porte sont relativement récents, et sont liés au développement de l'élevage industriel et des nouvelles technologies de l'alimentation. Le premier cas de mycotoxicose remonte à 1960 en Angleterre dans les élevages industriels lorsque une ingestion d'une forte dose d'aflatoxines a provoqué la mort de plus de 10 000 dindonneaux. Depuis, d'autres mycotoxicoses ont été décrites dont certaines en France (Le Bars et Le Bars, 1996).

De nombreuses enquêtes ont montré la présence de mycotoxines dans les fourrages conservés (**Tableau 1a**). En raison des propriétés immunosuppressives de la plupart des mycotoxines, leur ingestion même à faibles doses pourrait augmenter l'incidence des maladies dans les troupeaux et entraîner une diminution de leurs performances zootechniques. A l'exception des signes à forte présomption diagnostique, comme le syndrome oestrogénique chez le porc et l'eczéma facial des ruminants qui évoquent fortement une intoxication par la zéaralénone et la sporidesmine respectivement, les effets dus aux mycotoxines peuvent facilement passer inaperçus en présence d'autres maladies telles les carences nutritionnelles, les maladies infectieuses ou métaboliques.

Tableau 1a : Présence à l'état naturel de mycotoxines dans les fourrages conservés

	Echantillons analysés	Mycotoxines	Taux ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Références
Ensilage				
Maïs	38/135	Acide mycophenolique	20000 – 23000	[Schneweis, 2000]
Herbe	36/98	Acide mycophenolique	21000 – 35000	
	0/10	Patuline	0	[Hacking, 1981]
	?	Acide mycophenolique	80000	[Adler in Müller, 97]
pulpe de betterave	: 0/25	PR-toxine	0	[Nout, 1993]
Maïs	16/26	Patuline	1500-40000	[Escoula, 1974]
Seigle	0/3			
Sorgho	1/2			
graminée	0/3			
Herbe	22/98	Monacoline K1	26-15600	[Schneweis, 2001]
	23/98	Monacoline Ka	28-65400	
	4/98	Citrinine	3.7-4.4	
Herbe	9/12	Roquefortine C	200-1500	[Auerbach, 1998]
Maïs	12/12	Roquefortine C	700-36000	
Foin	?	Gliotoxine	490	[Gareis, 1994]

Problèmes de santé publique

Une autre conséquence de la contamination des aliments pour animaux par les mycotoxines est la possibilité de transfert de ces toxines et/ou de leur(s) métabolite(s) dans les produits animaux notamment le lait. Parmi ces toxines, l'AF M1 douée d'un redoutable effet cancérigène et classée au niveau 2B par l'IARC a été la plus étudiée. Dans les années 80, cette toxine a posé de sérieux problèmes de contamination du lait et dérivés en France suite à l'ingestion de tourteaux d'arachides contaminés par l'AF B1. Des études expérimentales ont montré le passage d'autres mycotoxines, comme la zéaralénone, l'ochratoxine A, et le déoxynivalénol (DON) et de son métabolite la DOM-1. La présence de mycotoxines dans le lait et les produits dérivés pose un problème de santé publique, du fait que ces produits sont largement consommés, notamment par les enfants plus sensibles à la toxicité et pour lesquels ces aliments constituent l'alimentation de base.

3 - Principales moisissures toxinogènes et mycotoxines dans les fourrages (Tableaux 1a et 1b)

3.1 - Moisissures et mycotoxines du champ

La diversité de la mycoflore du champ, contrairement à celle de stockage, est réduite et spécifique. Elle inclut des espèces endophytes et phytopathogènes mais aussi quelques espèces saprophytes. En effet certaines moisissures peuvent se développer à l'état saprophytique dans le champ après un stress provoqué par la sécheresse ou une attaque par les insectes, introduisant ainsi les spores en contact direct avec les nutriments et y produire des mycotoxines. Il existe trois mycotoxicoses actuellement reconnues en relation avec la consommation d'herbe de pâturage contaminée par la zéaralénone, la sporidesmine, et les mycotoxines des endophytes. Ces

mycotoxicoles sévissent essentiellement en Nouvelle Zélande, mais ont été également rapportées en France (Le Bars et Le Bars, 1996). Ces intoxications sont en relation avec un climat automnal particulier avec une succession de chaleurs et de chutes de pluie.

Tableau 1b : Moisissures toxigènes présentes dans les fourrages conservés

Espèces	Mycotoxines	Foin	Ensilage
<u><i>Aspergillus sp.</i></u> <i>A. fumigatus</i> <i>A. versicolor</i> <i>A. repens</i> <i>A. ochraceus</i> <i>A. flavus</i>	Gliotoxine, Fumigaclavine A et B Sterigmatocystine. Ochratoxin A <u>Aflatoxins</u>	+ + + + -	+ - - - +
<i>Fusarium sp.</i>	<u>Zearalenone</u> , <u>DON</u> , Fumonisins, moniliformin, T-2 toxin, HT-2 toxin, Fusarochromanone,	+	+
<i>Penicillium sp.</i> <i>P. roqueforti</i>	Ochratoxin A, Citrinin, Patulin, Cyclopiazonic ac ., Penicillic ac ., PR toxin, Roquefortin A, B, C	+ -	+ +
<u>Autres</u> - <i>Alternaria sp.</i> - <i>Byssochlamis nivea</i> - <i>Paecilomyces varioti</i> - <i>Claviceps sp.</i> - <i>Wallemia sebi</i> - <i>Scopulariopsis brevicaulis</i> - <i>Monascus purpureus</i> - <i>Trichoderma viride</i>	Alternariol, acide tenuazonique. <u>Patuline</u> , acide byssochlamique. <u>Patuline</u> . <u>Ergotamine</u> et dérivés.	+ - + + - + - + +	- + - + + - + -

3.2 - Moisissures et mycotoxines de conservation

Les principales moisissures retrouvées dans les fourrages conservés appartiennent à des espèces saprophytes et ubiquistes. Elles appartiennent essentiellement aux genres *Penicillium*, *Aspergillus*, *Monascus*, *Geotrichum*, *Trichoderma*. Ainsi, la détermination de la composition de la flore des fourrages secs peut être utilisée comme un critère d'évaluation de la conservation de ces aliments. Les données concernant la présence à l'état naturel des moisissures toxigènes et des mycotoxines sont résumées dans les tableaux 1a et 1b respectivement.

Ensilage :

La microflore des ensilages peut schématiquement être divisée en 2 groupes : les microorganismes désirables et les microorganismes indésirables. Les bactéries lactiques appartiennent au premier groupe et jouent un rôle clé dans la réussite des processus de conservation. Les microorganismes appartenant au second groupe sont capables d'altérations dans les conditions d'anaérobiose, comme les *Clostridium* et les *Entérobactéries*, mais également en aérobie avec les *Listéria*, les levures et les moisissures. Une soixantaine d'espèces ont été isolées des ensilages, mais un nombre limité peut effectivement se développer au sein de la masse, du moins pour un ensilage de bonne qualité, comme le *Byssochlamys spp*, le *P. roqueforti* et le *Monascus spp* après 3 à 4 mois de conservation. L'ensilage est parfois l'objet d'atteinte fongique souvent macroscopiquement visible et localisée en surface et les endroits en contact avec l'air.

Dans la suite de notre article, nous nous intéresserons aux moisissures toxigènes rencontrées dans les ensilages.

A. fumigatus est l'une des espèces majeures retrouvées dans les fourrages et les ensilages ; elle se trouve souvent associée à l'échauffement de la balle ronde de foin. En culture pure, l'*A. fumigatus* est capable de produire plusieurs toxines telles la gliotoxine, les toxines trémorgènes (fumitremorgène A, B, et C ; verruculogène ; et la TR-2) et alcaloïdiques (fumiglavine A et B). L'*A. fumigatus* est le principal responsable de cas d'aspergilloses pulmonaires et de mammites (Bauer et al, 1989 ; Gareis et Wernery, 1994).

Penicillium roqueforti est une moisissure bleue présentant une tolérance au milieu acide et à l'anaérobiose. C'est une espèce majeure des ensilages de maïs. Dans les conditions de laboratoire, elle produit plusieurs toxines, la PR toxine, la roquefortine A, B et C, et l'acide mycophénolique. A l'état naturel, l'acide mycophénolique a été trouvé dans 32 % des ensilages examinés à des doses comprises entre 20 et 25000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Schneiweis et al, 2000). La roquefortine a été trouvée dans des ensilages de maïs et d'herbe à des taux moyens de 6 et 17 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, respectivement (Auerbach et al, 1998]. Des extraits d'ensilage infecté par *P. roqueforti* donnés quotidiennement à des vaches se traduit par une perte d'appétit, une gastro-entérite et un avortement des vaches primipares entre le 7^e et 8^e mois (Vesley dans Scudamore, 1998).

Byssochlamys spp, dont le principal représentant est le *B. nivea*, est une moisissure blanche prenant en masse parfois l'ensilage. La patuline est la principale toxine produite par cette espèce, elle est régulièrement retrouvée dans les ensilages à des concentrations parfois très élevée (Escoula, 1977).

Trichoderma viride est une moisissure rare dans les ensilages, son développement exclut par compétition toutes les autres espèces fongiques (Le Bars, 1989).

Monascus purpureus, fréquente dans les ensilages, est à l'origine de la coloration rouge des ensilages. L'analyse mycologique de 233 ensilages de maïs et d'herbe a montré que plus de 19 % des échantillons étaient contaminés par cette espèce (Schneiweis et al, 2000]. Cette espèce longtemps considérée comme non toxigène, s'est avérée sous certaines conditions, productrice de métabolites secondaires comme la citrinine ou les monakolin Ka et Kl, qui seraient à l'origine d'une diminution de la digestion des constituants pariétaux dans le rumen (Schneiweis et al, 2001).

Geotrichum candidum affectionne particulièrement les milieux lactiques, il confère un goût amer à l'ensilage et serait donc un facteur de refus.

D'autres moisissures sont suspectées de produire d'autres toxines non identifiées encore. En effet, des extraits d'aliments administrés par voie orale à des animaux provoquent des symptômes d'intoxication, alors que la recherche de mycotoxines connues s'avère négative.

Foin et paille :

Après la récolte et le séchage, la flore du champ plus hygrophile laisse place à la flore de stockage avec des micro-organismes xérotolérants dont les plus représentatifs sont les *Aspergillus* et les *Penicillium*. *Stachybotrys atra*, qui peut coloniser aussi bien le foin que la paille, est une espèce cellulolytique dont le développement est favorisé par l'humidité. La stachybotrytoxicoïse affecte plusieurs animaux notamment les ruminants (chevaux, moutons, vaches). En France, 15 % des souches testées, sur le plan de la toxigénèse, sont hautement toxigènes. *Wallemia sebi*, a été isolée d'un foin ayant été à l'origine de mort de poney (Scudamore et Livesey, 1998) ; cette espèce peut produire, dans certaines conditions, une molécule sesquiterpène-diol très toxique appelée wallemiol A.

III - CONCLUSION

Recommandations

Les mycotoxines restent des contaminants accidentels et surtout sporadiques des fourrages. La production de mycotoxines est conditionnée par (i) des conditions climatiques extrêmes causant des stress au végétal, (ii) un défaut technique de stockage, (iii) ou une qualité hygiénique initiale médiocre de l'aliment. La prévention contre ces contaminations et leurs effets néfastes commence par le respect des bonnes pratiques agricoles (BPA) indispensables tout au long de la chaîne de la fabrication de l'aliment, depuis la sélection des semences jusqu'à la mangeoire des animaux. Les étapes les plus sensibles sont la récolte, la conservation, et l'ouverture du fourrage.

Durant la récolte

Il faudrait éviter ou limiter l'ensemencement, par les spores de moisissures, des fourrages récoltés :

- en récoltant aussitôt que possible afin d'éviter d'exposer inutilement les plantes à des conditions climatiques automnales propices au développement fongique et à la production de mycotoxines.
- en veillant à la propreté du matériel de récolte (ensileuse,...), et des endroits de stockage (silos,...)
- en évitant l'incorporation de terre lors de la récolte (i) grâce à l'augmentation de la hauteur de coupe et l'élimination juste avant la récolte des émergences de terre (taupinières). L'augmentation de la hauteur de coupe des fourrages permet non seulement d'éviter d'apporter des contaminants avec la terre, mais également d'améliorer la vitesse de dessiccation.
- en nettoyant le végétal récolté (quand c'est possible) avant le séchage et l'entreposage, pour retirer les contaminants superficiels apportés par les débris de végétaux et la terre.
- en labourant juste après la moisson pour enfouir profondément dans la terre les débris de végétaux propices au développement fongique, notamment dans les cultures maïs et blé.
- les pratiques culturales sont également à l'origine de certains problèmes mycotoxiques. Le mode de culture, notamment le précédent maïs montre une forte influence sur l'infestation des *Fusarium* [ITAB, 2000]. Il a été constaté en effet que la plupart des chaumes sont infestés par les *Fusarium* et constituent un risque de contamination pour les cultures à venir. Des résultats ont démontré que le travail du sol avec retournement a réduit plus de 90 % de l'infestation, ainsi que la teneur en déoxynivalénol par rapport au travail de sol minimal. De son côté, Oldenburg, (1993) pense que l'augmentation de la contamination mycotoxique du maïs est le résultat d'une absence d'alternance de récolte.

Durant le stockage

La présence d'altération fongique sur les fourrages conservés traduit généralement un défaut technique de conservation. L'illustration de ceci peut être donnée par deux études. La première a montré l'incapacité de l'*A. flavus* à se développer sur un ensilage bien fermenté à un pH 4 (Gregory et al, 1963) ; l'autre étude rapporte des contaminations d'ensilage de maïs avec de l'aflatoxine à des taux pouvant atteindre 1 ppm (Cleveström et al, 1981). La maîtrise de ces contaminations passe donc par la mise en place de **mesures hygiéniques** tout au long de la fabrication du fourrage, par l'amélioration de la **qualité de la fermentation**, et de la **stabilité aérobie** de l'ensilage une fois désilé. Connaissant les facteurs de risque, il est possible de définir des recommandations visant à limiter la contamination mycotoxique des fourrages conservés.

Teneur en eau :

L'obtention d'un foin de qualité est liée à la rapidité du séchage et à sa teneur en eau au moment de la fabrication de la balle. L'altération du foin par le chauffage ou par le développement de moisissures se fait à partir d'une teneur en eau de 25 % et au delà.

Assurer une anaérobiose rapide et stable :

Les contaminations indiquent souvent un défaut dans l'étanchéité ou le tassement de l'ensilage qui génère des poches d'air propices au développement des moisissures. Randby, 1996 a montré qu'une herbe ensilée sous forme longue est le siège d'un développement fongique significativement plus intense qu'une herbe finement hachée. La combinaison d'une MS faible et d'un hachage fin du fourrage assure un bon tassement de l'ensilage et des balles rondes enrubannées (BRE), et améliorerait ainsi l'anaérobiose. De plus, la qualité de l'ensilage dépend également de la compétition entre les différents microorganismes de la microflore. La prédominance des bactéries lactiques (utiles), condition d'un ensilage de bonne qualité, va limiter par compétition la croissance d'autres microorganismes indésirables comme les *Entérobactéries* et les *Clostridium*.

L'utilisation de conservateurs appropriés

L'addition de conservateurs aux ensilages n'est pas une nécessité absolue. Certes, ils peuvent contribuer à la réussite d'un fourrage en accélérant le processus fermentaire, mais à aucun cas, ils ne peuvent être utilisés pour cacher un défaut technique. Des ensilages de grande qualité peuvent très bien être produits sans l'addition d'additifs, en revanche, certains conservateurs mal utilisés n'empêchent pas le développement des moisissures (Randby, 1996) et la production de mycotoxines.

La température de stockage

Pour les ensilages, elle constitue un facteur primordial notamment dans les régions chaudes. Des ensilages de même origine stockés à deux températures différentes (5 et 25°C) ont montré une altération fongique beaucoup plus importante de l'ensilage conservé à 25°C (Randby, 1996). De plus, sous l'effet d'une exposition au soleil des foins convenablement séchés, il peut y avoir une augmentation localisée de la teneur en eau suite à une migration de vapeur d'eau et de recondensation. La protection des fourrages contre le rayonnement solaire, le choix des matériaux utilisés, et l'évacuation du jus d'ensilage ont à cet égard une importance capitale.

A l'ouverture d'un ensilage

Après un désilage (rupture de l'anaérobiose), le développement des moisissures est assez rapide. Il est donc conseillé de renouveler assez rapidement le front de désilage, et d'éviter de donner de l'ensilage visiblement moisi aux animaux.

Récemment, une approche de réduction des effets des mycotoxines sur les animaux par l'utilisation d'adsorbants inertes a été testée. Des agents chimiques et biologiques additionnés aux aliments pour animaux viendraient se fixer aux toxines en formant une liaison non adsorbable dans le tractus gastro-intestinal et diminuer ainsi leur biodisponibilité dans le sang.

Perspectives

Très peu de travaux ont été consacrés à la contamination mycotoxique des fourrages. Trois études au moins méritent d'être menées :

- (i) déterminer la capacité des espèces à se développer et à produire les mycotoxines correspondantes sur les fourrages conservés
- (ii) tester la stabilité des mycotoxines précédemment produites (au champ et lors du stockage) durant la période de conservation (6 à 12 mois)
- (iii) et enfin, tester la capacité de détoxification du rumen vis à vis des principales toxines dans différentes situations alimentaires.

BIBLIOGRAPHIE

- Auerbach H., et al., 1998. *Journal Science Food Agricultural*, 76, 565-572
- Bauer J., et al., 1989. *Journal of Medical and Veterinary Mycology*, 27, 45-50
- Boudra H., et al., 2002. (soumis à publication).
- Cleveström G., et al., 1981. *J. Stored Prod. Res.*, 17, 151-161
- Cole R. J., et al., 1977. *Journal Science Food Agricultural*, 826-830,
- Cole R. J. et R. H. Cox, 1981. *Handbook of toxic fungal metabolites*. New York.
- Escoula L., 1974. *Annales de Recherche Vétérinaire*, 5, 423-432
- Escoula L., 1977. *Fourrages*, 69, 97-114
- Gareis M. et Wernery, U. 1994. *Mycotoxin research*, 10, 2-8
- Gregory P. H., et al., 1963. *Journal of Genetic and Microbiology*, 33, 147-174
- Hacking A. et Rosser, W. R. 1981. *Journal Science Food Agricultural*, 32, 620-623
- Hamilton P. B. et Harris, J. R. 1971. *Poultry Science*, 50, 906-912
- ITAB, 2000. *Alter Agri*, 44, 8-12
- Lacey J., 1975. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 65, 171-184
- Le Bars J. et Le Bars, P. 1989. *Contamination par les moisissures des aliments pour animaux*,
- Le Bars J. et Le Bars, P. 1996. *Veterinary Research*, 27, 383-394
- Müller H. M. et Amend, R. 1997. *Arch. Anim. Nutr.*, 50, 213-225
- Oldenburg E., 1993. *Mycotoxin research*, 9, 72-78
- Nout M. J. R., et al., 1993. *Journal of Agricultural Science*, 121, 323-326
- Pelhate J., 1987. *Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation*,
- Pier A. C., et al., 1980. *JAVMA*, 176, 719-724
- Randby A. T., 1996. *XI th International Silage Conference*,
- Richard J. L., et al., 1996. *Mycopathologia*, 134, 167-170
- Richard-Molard D., 1989. *Contamination par les moisissures des aliments pour animaux*,
- Schneewis I., et al., 2000. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 3639-3641
- Schneewis I., et al., 2001. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.*, 85, 38-44
- Scudamore K. A. et Livesey, C. 1998. *Journal Science Food Agricultural*, 77, 1-17
- Smith D. F. et Lynch, G. P. 1972. *Journal of Dairy Science*, 56, 828-829