

SOMMAIRE

Introduction.....	11
-------------------	----

Partie 1 : L'ensilage de maïs, caractéristiques techniques et cycle biologique.

1.1. Caractéristiques de la plante, cycle biologique.....	13
1.2. La culture du maïs fourrager.....	13
1.3. Ensilage	
1.3.1. Importance du maïs ensilé en France.....	16
1.3.2. Fabrication de l'ensilage.....	17
1.3.3. Caractéristiques nutritionnelles de l'ensilage de maïs.....	20
1.4. Rendements de l'ensilage de maïs	
1.4.1. Valeurs moyennes dans le sud-ouest.....	21
1.4.2. Facteurs de variation.....	22

Partie 2 : Les plantes toxiques et les intoxications

2.1. L'Amarante	
2.1.1. Description botanique.....	25
2.1.1.1. Morphologie	
2.1.1.2. Localisation, biotope	
2.1.1.3. Biologie	
2.1.2. Toxicité.....	26
2.1.2.1. Nature des principes toxiques	
2.1.2.2. Localisation dans la plante	
2.1.2.3. Quantité de principes toxiques	
2.1.2.4. Facteurs de variations des principes toxiques	
2.1.2.5. Pathogénie	
2.1.3. Intoxication.....	30
2.1.3.1. Circonstances	
2.1.3.2. Signes cliniques	
2.1.3.3. Lésions	
2.1.3.4. Doses toxiques	
2.1.3.5. Les cas d'intoxication de la littérature	
2.2. La Mercuriale	
2.2.1. Description botanique.....	41
2.2.2. Toxicité.....	42
2.2.3. Intoxication.....	43

2.3. Le Datura	
2.3.1. Description botanique.....	53
2.3.2. Toxicité.....	54
2.3.3. Intoxication.....	56
2.4. La Morelle noire	
2.4.1. Description botanique.....	65
2.4.2. Toxicité.....	66
2.4.3. Intoxication.....	67
<u>Partie 3 : Etude expérimentale</u>	
3.1.Objectifs – Nécessité d’une étude pratique	69
3.2. Etude pratique	
3.2.1. Protocole expérimental	69
3.2.1.1. Ramassage des plantes, premières observations	
3.2.1.2. Enregistrement et traitement des échantillons bruts	
3.2.2. Résultats	71
3.3. Essais de calcul du nombre de plantes toxiques susceptibles de provoquer des troubles sur les bovins consommant de l’ensilage de maïs	
3.3.1. Amarante.....	77
3.3.2. Mercuriale.....	79
3.3.3. Datura	81
3.3.4. Morelle noire.....	82
<u>Partie 4 : Discussion</u>	85
Conclusion.....	93
Annexe 1 : Données brutes.....	95
Annexe 2 : Liste des documents insérés.....	99
Annexe 3 : Table des abréviations	101
<u>Bibliographie</u>	103

INTRODUCTION

Les risques d'intoxication avec des végétaux évoluent au cours du temps avec les changements de l'agriculture. De manière générale les plantes toxiques sont peu appétantes, ce qui explique que les intoxications aient lieu surtout lors de disette ou dans le cas particulier de fourrages contaminés. La réserve naturelle des ruminants pour ces plantes toxiques est « trompée » quand ces dernières sont séchées, hachées ou mélangées à l'ensilage [Blain, 1981].

Le maïs fourrage est devenu un pilier dans l'alimentation des bovins laitiers et allaitant. C'est un aliment riche en énergie qui peut apporter à une vache laitière en pleine lactation 80 % de ses besoins énergétiques et jusqu'à 40 % de ses besoins en azote. L'ensilage de maïs est appétant, relativement facile à cultiver, à conserver et à distribuer. Toutes ces raisons font qu'il est devenu le premier fourrage cultivé en France, il représente en effet 80 % de la surface fourragère soit entre 1,4 et 1,6 million d'hectares.

Très peu de données bibliographiques sont disponibles sur les intoxications végétales liées à la consommation d'ensilage de maïs contaminé. Le problème est par contre régulièrement soulevé par différents auteurs.

En 1980, le CNITV publie un article intitulé *Intoxications consécutives à l'ingestion de maïs* [Senger et Baroux, 1980a]. Une partie de cet article est consacré aux intoxications d'origine végétale dues à des plantes adventices du maïs parmi lesquelles sont citées : le datura, la morelle noire et l'amarante. La mercuriale est citée parmi les risques d'accidents d'origine alimentaire liés à l'ensilage dans un article de 1978, par Fromageot. Parmi les sources d'intoxications aux nitrates présentées dans un article de Veterinary Medicine, on retrouve l'amarante comme contaminant de l'ensilage de maïs [Bjornson *et al.*, 1961]. D'autres articles décrivent les différentes sources d'intoxication du bétail par les nitrates. L'amarante et le datura, parfois la morelle noire, sont cités comme des plantes riches en nitrates pouvant être consommées spontanément par les animaux ou pouvant contaminer l'ensilage. Le maïs fait aussi partie des plantes fourragères naturellement riche en nitrates [Case, 1957 ; Messonier, 1977].

Dans l'ordre d'importance d'après les données de l'Institut du Végétal on retrouve donc le datura stramoine, l'amarante, la mercuriale et la morelle noire dans un premier groupe, puis la prêle des champs, le sorgho d'Alep, le mouron rouge, les euphorbes, les renoncules, la ravenelle et le chénopode blanc dans un groupe secondaire. Les données fournies par la bibliographie sur la contamination de l'ensilage de maïs par des adventices confirment celles de l'Institut du Végétal. Les adventices du maïs du second groupe, et toutes celles qui ne sont pas citées, ont une toxicité telle qu'il est très peu probable qu'elles conduisent un jour à une intoxication clinique par contamination de l'ensilage.

Chaque année, à l'époque de la fabrication de l'ensilage des questions se posent : que faire d'un champ de maïs hautement contaminé par une ou plusieurs plantes adventices toxiques ? A partir de quels seuils de contamination doit-on considérer ces champs comme à risque ? Quelle quantité d'ensilage contaminé peut être consommée sans risque d'intoxication aiguë ou chronique ?

Le problème ici est d'essayer de définir le risque encouru par les animaux consommant de l'ensilage contaminé en fonction du taux de contamination et de la plante incriminée. A partir de l'étude bibliographique de la toxicité de ces plantes et d'une étude pratique sur leurs caractéristiques physiques (masse, hauteur et envergure), on cherche à fixer des seuils de contamination des champs de maïs, de manière à apporter des réponses pratiques à un problème réel rencontré par les éleveurs alimentant leurs vaches avec de l'ensilage de maïs.

Partie 1 : L'ensilage de maïs, cycle biologique de la plante et caractéristiques techniques.

L'ensilage est une méthode de conservation par acidification des aliments. L'acidification se fait par fermentation des glucides grâce à des bactéries anaérobies, notamment des bactéries lactiques.

Cette méthode de conservation du maïs est aujourd'hui utilisée en routine, elle est maîtrisée par les éleveurs. En effet, l'ensilage de maïs est un aliment très intéressant par ses qualités nutritionnelles (voir §1.3.), c'est l'élément de base de la ration de la majorité des vaches laitières. Il sert très souvent de fourrage l'hiver, quand les vaches sont en stabulation. La transformation du maïs sur pied en ensilage nécessite des connaissances techniques importantes, car la moindre erreur de fabrication peut compromettre l'évolution du silo et donc la qualité de l'aliment.

1.1. Caractéristiques de la plante, cycle biologique

Le maïs ou *Zea mays* L. est une espèce de graminée appartenant à la sous-famille des Panicoïdées.

Du point de vue de son utilisation, le maïs est classé dans les céréales mixtes puisqu'il peut être utilisé comme céréale au sens strict, sous forme de grains, ou en plante entière (maïs fourrager) sous forme d'ensilage par exemple. Il s'agit d'une plante annuelle, à fort développement végétatif, elle peut mesurer jusqu'à quatre mètres de haut. Cette plante est une espèce monoïque, les fleurs femelles à longs stigmates sont à l'aisselle des feuilles et enveloppées dans des bractées, tandis que les fleurs mâles sont groupées en panicule terminale. La plante arrive à maturité cinq mois en moyenne après le semis.

1.2. La culture du maïs fourrager

La technique de culture du maïs fourrager ressemble beaucoup à celle du maïs grain car l'objectif est d'obtenir le maximum de Matière Sèche (MS) et le maximum de grains. Ce sont


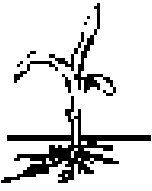

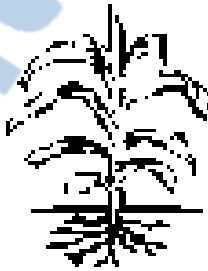



les variétés de maïs utilisées qui diffèrent. Les variétés de maïs grain sont plus tardives, elles nécessitent une plus longue durée de croissance pour arriver à maturité. La majorité du maïs à ensiler est récoltée entre le quatrième et le cinquième mois de croissance alors que les variétés de maïs grain sont à maturité à six mois.

Les grains de maïs sont semés en pleine terre au printemps, en général à partir de la deuxième quinzaine d'avril et jusqu'au début du mois de mai. Le nombre de grains semés à l'hectare dépend du mode de culture (avec ou sans irrigation) et naturellement de la densité des pluies dans la région. En moyenne les agriculteurs sèment 70 à 75 000 grains à l'hectare en culture sèche et 10 à 30 000 grains de plus en culture irriguée. Le nombre de grains semés est supérieur de 10 ou 15 % au nombre de pieds récoltés, ce pourcentage correspond aux pertes au moment de la germination et de la croissance. Il est important de prévoir l'époque des semis en fonction de la précocité de la variété utilisée et des contraintes matérielles qui s'imposeront au moment de la récolte. Le maïs nécessite l'accumulation d'une certaine chaleur pour arriver à maturité. On parle d'UTC ou Unité Thermique de Croissance, ce qui correspond à la somme de toutes les températures que subissent les plants de maïs chaque jour. Les variétés précoces nécessitent moins de chaleur pour arriver à maturité que les variétés tardives. Le climat breton, par exemple, n'offre pas des températures assez élevées sur une assez longue période pour permettre à des variétés tardives d'arriver à maturité, contrairement au climat du Sud Ouest de la France. Pour que le maïs ait des qualités satisfaisantes du point de vue de l'ingestibilité et de la digestibilité, sa culture doit se faire dans de bonnes conditions que l'on peut résumer de la manière suivante :

- Ne pas semer trop tôt pour éviter les coups de froid après la levée, cette dernière est d'autant plus rapide que la température du sol est douce (minimum 11° C au sol).
- Faire attention à ce que la terre ait été travaillée assez profondément : si les racines se heurtent à une terre « dure » à 15 cm de profondeur, elles vont s'étaler en largeur et non pas en profondeur, le maïs sera plus sensible à la sécheresse.
- Semer à une densité maximale de 90 000 pieds/ha pour favoriser l'enracinement, le développement de la tige et du grain et diminuer les besoins en eau à l'hectare.
- Irriguer quand la pluviométrie est trop basse.
- Récolter assez tôt pour éviter les gelées automnales.

Le tableau 1 présente les différents stades du début de la croissance des pieds de maïs et le tableau 2, l'évolution des caractéristiques techniques (grain, matière sèche...) quand le pied arrive à maturité.

Tableau 1 : Les différents stades du début du développement du maïs fourrage [d'après Ontario, 2006a].

							
Age	J0	10 j	1 m	1,5 m	1,75 m	2 m	2,5 m
Nombre de feuilles		3	7	10	11	15	variable
Particularités	Levée 6 à 21 jours après les semis, entre le 15 avril et le 15 mai	Période critique de lutte contre les mauvaises herbes	Début d'épiaison		Stade d'élongation rapide de la tige	Stade le plus sensible à la sécheresse ou à la chaleur ; déterminant pour la taille et le nombre d'épis	Sortie de la panicule et dissémination du pollen. La viabilité est réduite si la chaleur est excessive.

Légende : J0 correspond au jour de la levée, les durées en jour (j) et mois (m) sont mesurées à partir de J0.

Age (mois)	Stade	Teneur en eau	Particularités
3	Gonflement	85 %	Les grains sont blancs, remplis de liquide clair, ils commencent à stocker de la matière sèche.
3,5	Laiteux	80 %	Les grains commencent à jaunir. Le temps (chaleur et pluviométrie) à ce stade est capital puisqu'il conditionne la taille définitive des grains.
3,75	Pâteux	70 %	Le contour des grains s'affermit, leur croissance est limitée, c'est maintenant leur masse qui augmente ; le liquide qu'ils contiennent s'épaissit.
4	Grain denté	55 %	Il se forme une couche très dure d'amidon sur le haut du grain (dent)
> 4,5	Maturité	< 40 %	Les grains sont très durs, ils ne contiennent parfois que 30 % d'eau, ils ont atteint leur masse maximale.

Tableau 2 : Caractéristiques des grains de maïs à maturité physiologique (appareil végétatif à maturité) [d'après Ontario, 2006a].

Les cultures de maïs fourrager peuvent être colonisées par de nombreuses plantes adventices, dont certaines sont toxiques. La présence de ces adventices a de lourdes conséquences en matière de qualité de l'ensilage et en matière de rendement. La période critique de croissance du maïs est le premier mois suivant la levée. Pour lutter contre le développement des adventices, les agriculteurs utilisent depuis de nombreuses années des herbicides. Les plus utilisés appartiennent à la famille des triazines.

1.3. L'ensilage

1.3.1. Importance du maïs ensilé en France

En France on cultive 3,3 millions d'hectares de maïs par an, dont 1,6 millions sont ensilés en plante entière. Comme le montre la figure 1, cette surface est à peu près constante sur la dernière décennie.

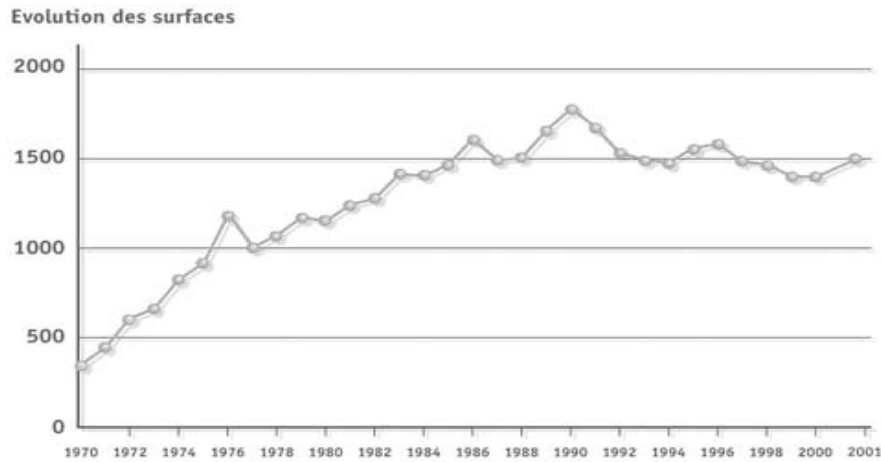


Figure 1 : Evolution de la surface de maïs fourrage en millier d'hectares, en France, de 1970 à 2001 [d'après ARVALIS, 2003].

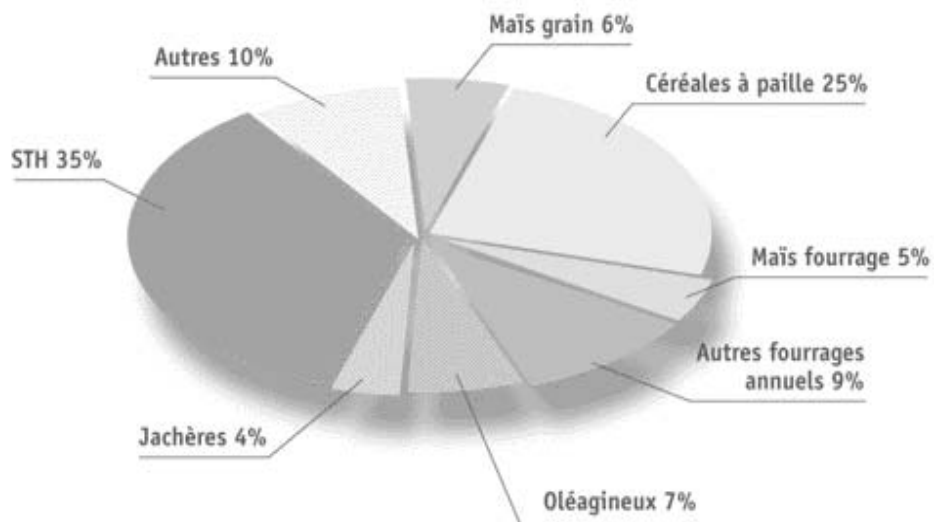


Figure 2 : Le Maïs fourrage et la SAU en France [d'après ARVALIS, 2003]

Le maïs fourrage représente moins de 5 % de la Surface Agricole Utile (SAU) en France, mais c'est le fourrage annuel le plus cultivé puisqu'il représente 80 % de la surface fourragère cultivée, très loin devant le ray-grass et le colza.

1.3.2. Fabrication de l'ensilage

Brièvement, la fabrication d'ensilage de maïs consiste en :

- la coupe des pieds de maïs à 10-15 cm du sol. La base de la tige étant très riche en cellulose brute et donc pauvre en énergie, quand on augmente la hauteur de coupe, on diminue le rendement en MS et la teneur en fibre de l'ensilage mais on augmente sa densité énergétique.

- le hachage du maïs et son dépôt dans un silo horizontal ou en couloir le plus souvent. La longueur de coupe est en moyenne de 10-15 mm, elle dépend de la teneur en matière sèche du maïs. Elle est réduite à 8 mm si la teneur en MS excède 35 %. Les lames doivent être bien aiguisées pour éviter d'écraser les fibres, ce qui modifierait complètement la digestibilité de l'ensilage.

- l'éclatement des grains est nécessaire si la teneur en matière sèche est forte (> 35 %) pour faciliter leur digestion.

- le tassement par l'action mécanique d'un deuxième tracteur qui concrètement roule sur le tas de maïs, le deuxième tracteur doit avoir les roues propres pour limiter la contamination par des spores butyriques.

- la couverture par des bâches étanches maintenues au moyen de pneus ou de sacs de sable par exemple, le plus rapidement possible.

Si une bonne anaérobiose est instaurée rapidement après le hachage du maïs, son tassement et la fermeture étanche du silo, la production d'acide lactique permet une diminution rapide du pH. Toutes les étapes de la fabrication servent à éliminer au mieux l'air contenu dans le silo et le contact avec l'air environnant pour permettre aux bactéries anaérobies de se développer. En effet ces bactéries sont, d'une part, sensibles au dioxygène de l'air et, d'autre part, en compétition avec les bactéries aérobies. Or, le développement des bactéries aérobies est impossible en l'absence d'oxygène et si le pH du milieu est trop bas. Un ensilage à 30-35 % de matière sèche est stable à un pH maximum de 4,6.

Le point critique de la réalisation du silo est le choix du stade de récolte. On recherche le meilleur compromis entre la valeur alimentaire de l'ensilage, le rendement à l'hectare et une bonne aptitude à la conservation. En moyenne, 46 % de la matière sèche de l'ensilage est contenue dans les grains, ce qui explique que leur état de maturité soit un critère de décision essentiel. Le tableau 3 illustre le lien entre la maturité des grains et la teneur en matière sèche de l'ensilage. Il présente la relation entre la qualité des grains et les productions de lait permises par l'ensilage, en distinguant la production permise par l'apport d'énergie de celle permise par l'apport protéique

Stade de récolte	Production permise (en litres de lait)			Teneur MS (%) plante entière
	Par l'énergie (UFL)	Par les protéines (PDIE)	Par les protéines (PDIN)	
Laiteux-pâteux	11	6	4	23 à 25
Pâteux-vitreux	14	9	5	29 à 32
Vitreux	17	13	6	33 à 35

Tableau 3 : Valeur alimentaire du maïs ensilé (production de lait permise) en fonction de la maturité des grains [d'après Enjalbert, 1999].

La maturation des épis s'accompagne d'une augmentation du taux de matière sèche des tiges et des feuilles ; le taux de fibres de l'ensilage augmente. Donc, si la récolte est trop tardive, le tassement du silo est plus difficile ce qui pose des problèmes de conservation et la qualité nutritionnelle diminue.

Inversement, si la récolte est trop précoce, le tassement du silo est facile mais l'excès d'humidité pose des problèmes de conservation ; de plus le rendement et la valeur nutritionnelle du maïs diminuent parce que les épis ne sont pas complètement développés.

Dans des conditions climatiques normales, le stade optimal est pâteux - vitreux, avec une teneur en MS comprise entre 29 et 35 %. Cela permet une bonne conservation du silo et un rendement énergétique optimal.

Toutes ces données doivent être adaptées en fonction des conditions climatiques. La sécheresse, par exemple, entraîne un manque de développement des grains et un vieillissement prématuré des feuilles ; il faut dans ce cas ensiler plus tôt pour compenser le manque de grains par une meilleure digestibilité des feuilles.

Dans le Sud-ouest, les variétés cultivées sont dites « tardives » le maïs est donc ensilé quand la teneur en matière sèche de la plante est comprise entre 32 et 35 %, ce qui correspond à quatre mois de croissance et au début du stade vitreux. En Bretagne, ces variétés tardives de maïs n'atteindraient que 27 à 28 % de MS si elles étaient cultivées.

Toutes ces données illustrent la difficulté de la réalisation d'un bon ensilage. Il est fondamental d'adapter la variété de maïs semée aux conditions locales et de gérer le stade de la récolte au cas par cas (champ par champ), chaque année, selon la pluviométrie et les

conditions de développement du maïs. La maîtrise de la technique de réalisation du silo est fondamentale aussi.

1.3.3. Caractéristiques nutritionnelles de l'ensilage de maïs

Les tables d'alimentation de l'INRA (1988) présentent les valeurs nutritives de l'ensilage de maïs pour des plants récoltés dans des conditions normales de température et de pluviométrie, avec des teneurs en matière sèche sur la plante entière au moment de la récolte de 25, 30 ou 35 %. Elles donnent aussi les valeurs nutritives de l'ensilage quand la croissance a été affectée par des conditions particulières : été particulièrement froid ou sec.

Ces valeurs datent de 1988. Depuis, on observe des variations, avec notamment une chute de la teneur en azote du maïs récolté. Les dernières lignes du tableau 4 correspondent aux valeurs moyennes, minimales et maximales, obtenues au cours d'une campagne d'analyse du Laboratoire Vétérinaire Départemental mayennais en 2004 [LVD 53, 2004].

	stade	MS*	MAT**	CB**	Mm**	P**	Ca**	UFL	UFV
Conditions normales	25 %MS	25	86	222	63	2,0	3,0	0,9	0,8
	30 %MS	30	84	205	58	2,5	3,5	0,9	0,8
	35 %MS	35	82	187	53	2,5	3,5	0,9	0,8
Sécheresse		32	77	203	57	2,0	3,0	0,84	0,73
Été trop froid		24	105	226	56	2,0	3,0	0,85	0,73
LVD 53, résultats 2004	moyenne	35,9	68	176	34	1,7	1,8	0,92	0,83
	minimum	27,5	52	130	26	1,3	1,2	0,83	0,73
	maximum	47,8	84	217	48	2,4	3,7	1,02	0,93

Tableau 4 : Valeur nutritive de l'ensilage de maïs [d'après l'INRA, 1988] et les analyses du LVD de Mayenne [d'après LVD 53, 2004] (* en %, ** en g/kg MS).

Ainsi, les valeurs mesurées en 1988 ne sont plus d'actualité car les variétés de maïs ont été sélectionnées depuis, pour augmenter leur valeur énergétique, au détriment de leur qualité minérale et protéique. D'après ce tableau, on peut constater que les teneurs en MAT ont diminué de presque 20 % en moyenne. Le LVD 53 a mis en évidence une variabilité importante d'un ensilage à l'autre. Les écarts observés entre les valeurs minimales et maximales pour les différents paramètres sont souvent supérieurs à 50 %.

La teneur moyenne en phosphore est aujourd'hui de 1,7 g/kg MS et celle de calcium : 1,8 g/kg MS. Comme le montre le tableau 5, d'autres teneurs en minéraux (phosphates, zinc et manganèse) ont baissé aussi entre 1992 et 2002.

Elément minéral (/kg MS)	1992	1998	2002
Phosphore (g)	2,00 ± 0,39 ^a	1,80 ± 0,28 ^b	1,80 ± 0,26 ^b
Calcium (g)	1,90 ± 0,60	1,80 ± 0,50	1,90 ± 0,60
Magnésium (g)	1,10 ± 0,29	1,10 ± 0,25	1,10 ± 0,27
Potassium (g)	-	-	9,0 ± 2,0
Sodium (g)	-	-	0,1 ± 0,2
Zinc (mg)	26,0 ± 8,6 ^a	21,0 ± 7,0 ^b	14,0 ± 8,0 ^c
Manganèse (mg)	34,0 ± 12,5 ^a	28,0 ± 16,0 ^b	24,0 ± 18,0 ^c
Cuivre (mg)	4,3 ± 1,5	4,5 ± 1,3	4,2 ± 1,7
Fer (mg)	-	70,0 ± 32,0	55,0 ± 82,0

a, b, c : différences significatives au seuil de 1%

Tableau 5 : Teneurs en minéraux du maïs ensilage, évolution de 1992 à 2002, d'après [Beguin et Dagorne, 2003].

Entre 1992 et 2002, d'après ce tableau, les teneurs en calcium et magnésium semblent relativement stables, contrairement aux teneurs en zinc et en manganèse qui diminuent significativement entre 1992 et 1998, puis entre 1998 et 2002.

1.4. Rendements de l'ensilage de maïs

La croissance du maïs étant liée aux conditions climatiques, les rendements ne sont pas comparables d'une région de France à l'autre. On va s'intéresser essentiellement à la culture du maïs ensilage dans le grand quart Sud-ouest.

1.4.1. Valeurs moyennes dans le Sud Ouest

Le rendement des champs de maïs fourrager varie entre 8 et 17 t de MS à l'hectare (pour un fourrage avec une teneur en matière sèche comprise entre 30 et 35 % le plus souvent). On a donc un rendement de 25 à 37 t de MB d'ensilage à l'hectare, ce qui équivaut à un volume de 38 à 57 m³/ha. De façon générale, on peut considérer qu'un mètre cube d'ensilage en vrac au moment de la récolte pèse entre 350 et 400 kg, et aux alentours de 650 kg après tassage, une fois stable.

1.4.2. Facteurs de variation

Le rendement dépend de la variété de maïs semé, de la qualité de la parcelle utilisée, de la fertilisation et du climat (pluviométrie et température).

Dans le sud ouest où le climat est globalement assez sec, la mise en place d'un système d'irrigation des champs de maïs est un facteur important. Sur des parcelles de qualité équivalente, soumises à des conditions climatiques « normales » ; le rendement est de l'ordre de 8 à 11 t MS/ha sans irrigation (on parle de « maïs sec ») et de 12 à 16 t MS/ha avec irrigation.

Une année de sécheresse sévère, comme 2003, les rendements en maïs sec chutent à tel point que les champs ne sont même pas ensilés. Ils diminuent un peu et de façon variable en maïs irrigué, selon les sources d'eau dont dispose l'agriculteur, des limitations fixées par la préfecture (les mesures de restriction d'eau), et parfois indépendamment de l'eau, de la température. Quand elle est trop haute, elle ne permet plus une croissance optimale du maïs.

La colonisation du champ de maïs par des adventices toxiques est aussi un facteur important en matière de rendement. La période critique dans la croissance du maïs après les semis est l'intervalle entre les stades 1 et 8 feuilles, soit les 4 premières semaines suivant la levée. Le développement d'adventices à cette période a des conséquences graves à cause de la spoliation des réserves nutritives du sol et de l'eau, et du manque d'ensoleillement pour les jeunes pieds de maïs (tableau 6).

	Perte (en %) selon le nombre de plants d'adventice / m²		
	1	5	25
Dicotylédones annuelles			
Chénopode blanc	12	35	56
Amarante	11	34	55
Moutarde des champs	5	18	42
Renouée persicaire	3	13	36
Morelle noire de l'Est	2	7	25
Vivaces			
Chardon des champs	4	15	40
Prêle	2	7	25

Tableau 6 : Conséquences sur le rendement des cultures de maïs de la colonisation par des adventices [d'après Ontario, 2006b].

Ces résultats sont déterminés dans le cas où la levée des adventices survient en même temps que celle du maïs, et dans des conditions climatiques normales. Si la teneur en eau du sol était insuffisante, les pertes de rendement seraient accrues. Ce tableau montre qu'en cas de contamination massive du maïs à un stade défavorable, la perte de rendement peut monter à 50 %.

Cette première partie présentait brièvement l'ensilage de maïs. En bilan, cet aliment est le fourrage le plus consommé par les vaches laitières en période hivernale. Il peut être mélangé à de la paille, de l'ensilage d'herbe ou du foin pour augmenter la teneur en fibres de la ration. On lui associe en général un correcteur azoté pour améliorer la teneur en protéines de la ration et un correcteur énergétique (un concentré de production) pour les vaches hautes productrices. En pratique, l'ensilage de maïs est souvent distribué aux vaches « à volonté » et les quantités ingérées pour tous les autres aliments sont fixées en fonction des besoins de la vache à son stade de lactation. La quantité de matière sèche qu'une vache peut ingérer varie entre 11 et 23 kg MS selon l'avancement de sa lactation et de sa gestation. On peut donc considérer, quand l'ensilage de maïs est le fourrage principal, que les vaches en mangent entre 9 et 15 kg MS par jour, soit entre 25 et 45 kg MB.

Nous allons maintenant nous intéresser aux quatre plantes toxiques les plus susceptibles de contaminer les cultures de maïs, en faisant un bilan des informations disponibles dans la littérature scientifique à leur sujet.



Amarante réfléchi. Amaranthus retroflexus L.

www.esu-psud.fr/flore/Fiches/amaranthus.jpg consultée le 23/03/07

Partie 2 : Plantes toxiques et intoxications

Parmi toutes les plantes adventices du maïs susceptibles de contaminer l'ensilage, quatre plantes toxiques présentent un danger réel. Nous allons les décrire successivement en envisageant pour chacune une description botanique, la toxicité et notamment ses facteurs de variation, les circonstances d'intoxication et les principaux cas cliniques décrits dans la littérature, du plus ancien au plus récent.

2.1. L'Amarante

2.1.1. Description botanique

L'amarante appartient à la famille des Amarantacées. Il existe plusieurs espèces d'amarante dont la plus répandue est l'amarante réfléchie ou *Amarantus retroflexus* L. Il a été décrit aussi des intoxications à *Amarantus hybridus* L. ou *Amarantus quietensis* L.

2.1.1.1. Morphologie

La plante entière à maturité est de taille très variable, de 20 à 100 cm, sa tige anguleuse est duveteuse, argentée et parfois légèrement rougeâtre. Les feuilles alternes sont ovales, à pétiole marqué. L'inflorescence arrive à maturité au cours de l'été. Les fleurs sont vertes et petites, regroupées en épis denses et courts. Ces grappes de fleurs se situent à l'aisselle des feuilles et à l'extrémité de la tige. Les fleurs portent chacune trois bractées qui se terminent en épine rendant ainsi l'inflorescence piquante [Blamey et Grey-Wilson, 1991].

2.1.1.2. Localisation, biotope

L'amarante est une plante adventice extrêmement banale qui pousse dans les fossés, sur les terrains cultivés et qui peut être très abondante dans certaines cultures fourragères comme le maïs ou le sorgho. On la retrouve dans toute la France et notamment dans le sud car elle supporte très bien le temps sec.

2.1.1.3. Biologie

L'amarante a un pouvoir de multiplication particulièrement important, car chaque pied mère peut produire jusqu'à 40 000 graines. Les graines sont petites et légères, elles se disséminent facilement grâce au vent, ou via des semences et des engins agricoles contaminés. Les graines en terre peuvent survivre plusieurs dizaines d'années si les conditions ne leur permettent pas de germer. Cette prolificité et les capacités de résistance aux herbicides qu'on lui attribue sont un réel fléau pour les cultures de maïs.

L'amarante a été capable de devenir résistante à la triazine, principal herbicide utilisé pour désherber les cultures de maïs, à la suite de la mutation d'une seule protéine, et cette résistance est transmissible à la descendance. Les herbicides de cette famille agissent en se fixant sur une protéine du chloroplaste, ce qui empêche la photosynthèse. Les facteurs de risque d'apparition de ces résistances sont le surdosage en herbicide (le surdosage au sens strict ou le traitement des parcelles par temps trop sec, ce qui entraîne la persistance de résidus de triazine dans le sol pendant plus d'un an) et l'utilisation répétée plusieurs années consécutives de la même famille d'herbicide.

Certains départements de France comme le Lot et Garonne, la Vendée, l'Yonne, la Loire sont particulièrement envahies par l'amarante, d'après une étude publiée en 1980. Dans ces régions l'amarante peut couvrir jusqu'à 30 % de la surface en maïs fourrager d'où un risque important de toxicité de l'ensilage [Senger et Baroux, 1980b] [Jean Blain, 1979a].

2.1.2. Toxicité

2.1.2.1 Nature des principes toxiques

L'amarante est une plante riche en acide oxalique et capable d'accumuler des nitrates. En outre, plusieurs auteurs ont souligné la ressemblance de certaines intoxications à l'amarante avec les symptômes et les lésions observées dans des cas d'intoxication par *Quercus* sp et *Terminalia oblongata*, laissant supposer qu'il existe peut-être un composé phénolique commun à ces différentes espèces [Sizelove *et al.*, 1988] [Kerr et Kelch, 1998].

2.1.2.2. Localisation dans la plante

Les feuilles de l'amarante sont très riches en acide oxalique et la tige en nitrates, l'inflorescence peut contenir les deux en proportion importante.

2.1.2.3. Quantité

Les teneurs en nitrate et en oxalate des différentes parties de l'amarante (feuilles, tiges et inflorescences), ont été déterminées en 1967 par une équipe américaine. Les valeurs obtenues sont visiblement très variables d'un lot à l'autre mais les facteurs de variations n'ont pas été déterminés (tableau 7).

Numéro d'échantillon	Acide oxalique			Nitrate		
	feuille	tige	inflorescence	feuille	tige	inflorescence
1	12,61	2,51	0,32	0,25	0,69	0,36
2	18,5	4,51	2,15	0,25	1,00	0,36
3	19,65	1,26	2,16	0,41	0,82	0,36
4	26,50	6,59	4,16	0,13	0,23	0,21
5	23,50	3,77	4,08	0,21	1,48	0,66
6	23,50	4,72	5,93	0,08	0,35	0,08
7	29,20	7,00	4,66	0,37	0,70	1,10
8	30,75	3,52	6,40	0,13	1,21	0,44
9	17,90	3,47	1,46	0,04	0,21	0,26
10	22,90	5,18	0,83	0,14	0,77	0,53
moyenne	22,5	4,25	3,21	0,20	0,75	0,44

Tableau 7 : Concentration en oxalates et nitrates (en pourcentage de MS) de 10 échantillons d'*Amarantus retroflexus* L. [d'après Marshall *et al.*, 1967].

Les échantillons d'amarante ont été collectés dans un rayon de 160 km autour d'Ames dans l'Iowa. Les pieds étaient à maturité. Les analyses ont été faites sur des échantillons congelés. On peut remarquer que les teneurs mesurées en acide oxalique dans les feuilles varient entre 12,61 et 30,75 % MS.

Des données relativement différentes ont été obtenues en 1985 au service de toxicologie végétale de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Les pieds étudiés ont été ramassés dans le jardin botanique de l'école (tableau 8).

Date récolte 1985	Teneur en MS	Acide oxalique				Nitrates		
		plante entière	tige	feuille	inflorescence	tige	feuille	inflorescence
19 / 07	16,47	5,22	1,61	8,20	5,10	0,14	0,06	0,15
26 / 07	20,84	4,45	1,71	9,06	2,49	0,43	0,21	0,37
02 / 08	22,07	4,76	1,65	9,95	2,43	0,14	0,11	0,31
09 / 08	28,87	4,01	1,18	8,01	2,12	0,06	0,03	0,07
14 / 08	23,81	3,82	1,18	8,63	1,80	0,06	0,05	0,12
21 / 08	30,47	4,62	1,33	9,60	2,17	0,16	0,06	0,12
28 / 08	29,06	4,96	1,59	10,13	2,61	0,05	0,03	0,07
04 / 09	29,11	5,11	1,11	11,42	2,73	0,06	0,07	0,08
11 / 09	30,99	4,16	1,82	8,51	2,61	0,12	0,12	0,09
moyenne		4,6	1,46	9,28	2,67	0,14	0,08	0,15

Tableau 8 : Concentration en oxalates et en nitrates d'échantillons d'amarante collectés dans le jardin botanique de l'ENVT (en % MS) [d'après ENVT, 1985].

On peut noter d'après ces données que le pourcentage de matière sèche de l'amarante a doublé entre le 19 juillet et le 11 septembre.

Les données moyennes de ce tableau sont sensiblement inférieures à celles du tableau 6, il y a une différence de l'ordre de 50 %, qui pourrait être expliquée en partie par les différences de protocoles expérimentaux et de milieu.

2.1.2.4. Facteurs de variations des principes toxiques

La teneur en nitrates des plantes dépend principalement de l'intensité de la fertilisation azotée : une seule application de nitrates à la dose de 80 kg/ha ferait passer la teneur en nitrates de la plante de 0.03 % à 0.3 % [Jean Blain, 1979a].

Les nitrates absorbés dans le sol sont utilisés pour la photosynthèse. Si la plante absorbe beaucoup de nitrates, dans des conditions de croissance défavorables, le teneur en nitrates de la plante augmente beaucoup plus que si les conditions de croissance sont favorables

(l'augmentation de photosynthèse compense au moins en partie l'augmentation de l'absorption des nitrates). Le taux de nitrates des plantes dépend donc de facteurs techniques et climatiques.

Les teneurs en nitrate évoluent aussi après la coupe (tableau 9).

	Plante fraîche	+ 2 h	+ 4 h	+ 6 h	+ 24 h
Tiges	0.62	0.75	0.87	1.16	1.45
Feuilles	0.36	0.48	0.42	0.48	0.48

Tableau 9 : Evolution de la teneur en nitrate dans les tiges et les feuilles de l'amarante après la coupe (en % MB) [d'après Miller et Egyed, 1963].

Les pourcentages de nitrate ont été calculés à partir d'un échantillon issu de 60 kg de plante fraîche, puis de 60 kg de plante deux heures après la coupe, puis de 60 kg quatre heures après la coupe etc. [Miller et Egyed, 1963]. On peut constater que vingt quatre heures après la coupe, la quantité de nitrates contenue dans les tiges a beaucoup plus augmenté que celles des feuilles. Cette différence peut être expliquée par la fuite des éléments nutritifs des feuilles vers la tige qui s'opère naturellement après la coupe.

Cette augmentation est liée à la déshydratation, mais aussi à des processus métaboliques qui continuent au-delà de la coupe. Il aurait été intéressant de continuer l'expérience après plusieurs jours de séchage et la mise en ensilage d'une partie des échantillons, pour mesurer l'évolution de ces teneurs dans des conditions particulières.

Certains auteurs ont fait remarquer que les cristaux d'oxalates ne sont pas systématiquement mis en évidence dans les carcasses d'animaux ayant succombé à une intoxication par l'amarante. Les oxalates (solubles ou insolubles) ne sont pas toujours mis en évidence sur des plants d'amarante à l'origine d'intoxications cliniques. Donc il existe des variations importantes de la teneur en oxalates de l'amarante réfléchie, mais ces facteurs de variation sont inconnus.

2.1.2.5. Pathogénie

Chez les ruminants, les nitrates sont réduits en nitrites au niveau du rumen, puis en ammoniac grâce aux hydrogènes libérés par les réactions de dégradation des glucides en

acides gras volatils, en lactate et en succinate. Quand les substrats donneurs en hydrogènes s'épuisent, les réductions sont incomplètes, les nitrites s'accumulent dans le rumen puis passent dans le sang. Chez les ruminants, la toxicité liée directement aux nitrates est faible puisqu'ils sont intégralement réduits en nitrites. Par contre, les nitrites entraînent une vasodilatation et oxydent l'hémoglobine. Leur action vasodilatatrice, d'un point de vue clinique, se manifeste par une chute de la tension artérielle et une accélération du rythme cardiaque. La transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine par oxydation de l'ion fer de l'hème la rend inapte à fixer l'oxygène, on a donc une asphyxie progressive des tissus [Gay, 1978].

Les oxalates absorbés par voie orale peuvent suivre trois voies différentes : soit être métabolisés par la flore ruminale, soit former des cristaux d'oxalate de calcium dans le rumen puis être éliminés par voie fécale, ou enfin passer dans la circulation sanguine et former différents cristaux solubles ou non. Les oxalates de sodium et potassium sont solubles alors que les oxalates de calcium précipitent sous la forme de gros cristaux.

Ces cristaux ont essentiellement une action mécanique sur le tube digestif (entérite) et les reins. Ils provoquent une insuffisance rénale aiguë associée à une crise d'urémie. Dans certaines intoxications, ils induisent une forte hypocalcémie. Le calcium sérique est piégé sous la forme de cristaux d'oxalates de calcium ; et l'intoxication ressemble alors beaucoup à une fièvre de lait. Kerr et Kelch (1998) ont fait remarquer que sur des vaches mortes à cause d'une hypocalcémie très sévère, on n'avait pas mis en évidence de cristaux dans les reins. On ignore pourquoi, dans certains cas, la formation de cristaux dans le sang n'a pas de répercussions sur les reins [Kerr et Kelch, 1998]. D'autres auteurs ont fait la même observation sur des veaux qui auraient succombé d'une hypocalcémie consécutive à l'ingestion d'oxalate, sans que l'on puisse observer de cristaux d'oxalates au niveau des reins. Des lésions rénales autrefois systématiquement attribuées aux oxalates, pourraient être dues à un troisième principe actif toxique encore non identifié [Spearman et Johnson, 1989].

2.1.3. Intoxications

2.1.3.1. Circonstances

Les intoxications par l'amarante ont été observées principalement chez des ruminants, mais aussi parfois chez le lapin et le porc aux Etats Unis. L'amarante est peu consommée

naturellement car son inflorescence est irritante. L'intoxication survient généralement lorsque l'amarante est présente dans les fourrages ou pendant les années de disette quand le bétail mange ce qu'il trouve. L'intoxication n'apparaît qu'après une consommation importante d'amarante, étalée sur plusieurs jours.

2.1.3.2. Signes cliniques

De manière générale, les signes cliniques étant peu spécifiques, les données épidémiologiques sont plus intéressantes à collecter pour le diagnostic (changement de pré récent, apparition sur plusieurs animaux en même temps...). Après quatre ou cinq jours de consommation d'amarante, les animaux sont abattus. Ils souffrent de dyspnée et de douleurs abdominales. Quand l'intoxication est sévère, les symptômes respiratoires peuvent être associés à des symptômes nerveux tels que de l'ataxie, des convulsions ; les animaux tombent généralement dans le coma et meurent rapidement des conséquences de l'anoxie cérébrale. L'intoxication peut aussi ressembler à une fièvre de lait, le calcium sanguin ayant été piégé sous la forme de cristaux d'oxalates de calcium. Les signes cliniques varient en fonction des proportions des différents principes toxiques de la plante et de leur concentration. Les auteurs décrivent des signes cliniques associés à l'intoxication par les nitrates ou par les oxalates, mais rarement les deux ensemble. Un des deux tableaux cliniques prend toujours le dessus sur l'autre.

2.1.3.3. Lésions

Les cadavres sont cyanosés et congestionnés, les carcasses ont une couleur brune, à cause de l'accumulation de méthémoglobine. Les organes les plus touchés sont le sang et l'appareil circulatoire, le rein, les poumons, le tube digestif. La destruction des capillaires entraîne la présence de nombreuses ecchymoses et pétéchies sur les organes. Le rein présente un cortex et une medulla hémorragiques, les tubes urinifères sont dilatés et présentent parfois des cristaux d'oxalates (syndrome néphrotique). La présence de cristaux n'est pas systématique, même quand la teneur en oxalates dans le sang est importante. Les lésions d'œdème péri-rénal sont assez caractéristiques, on les observe chez les porcs et les bovins. Il y a parfois un hydrothorax (dyspnée), un hydropéricarde, de l'ascite ou une entérite hémorragique.

2.1.3.4. Dose toxique

D'après les cas d'intoxication décrits dans la littérature, l'intoxication fait suite à une consommation « importante » d'amarante pendant 5 jours pour des bovins adultes, ou 1 à 2 jours pour des jeunes bovins (ruminants).

En ce qui concerne les nitrates, la dose létale pour une vache de 500 kg est de 500 g (DL = 1 g/kg PV par voie orale [Davison *et al.*, 1964]). Donc on peut calculer la quantité d'amarante théoriquement toxique. D'après les proportions mesurées par Miller et Egyed, 1 kg d'amarante fraîche contenant 9,8 g de nitrates, il faudrait 51 kg d'amarante fraîche pour induire une intoxication aiguë. Après 24 h de séchage 1 kg d'amarante contenant 19.3 g de nitrates, il ne faudrait plus que 26 kg d'amarante pour induire une intoxication [Miller et Egyed, 1963].

De nombreux autres facteurs interviennent sur la quantité de nitrates ingérés par une vache chaque jour. On ne peut en effet négliger les nitrates présents dans l'eau de boisson des bovins et la teneur en nitrates parfois élevée du fourrage. En effet, le maïs est une plante naturellement riche en nitrates. La quantité d'amarante induisant des signes cliniques (la dose toxique) est donc difficile à déterminer et très certainement inférieure aux valeurs précédemment données. Enfin, comme les nitrites s'accumulent dans le sang et les organes épurateurs du sang, une consommation moindre répétée plusieurs jours peut aussi conduire à l'apparition de signes cliniques et au développement de lésions [Gonzales, 1983]. Pour Meissonnier, une vache peut tolérer par voie orale une dose de 70 à 90 g de nitrate de potassium. Mais la même dose répétée plusieurs jours de suite devient mortelle [Meissonnier, 1977]. Mais pour les nitrates comme pour les oxalates, nous avons vu que les problèmes ne surviennent que si les capacités de dégradation de la flore ruminale sont dépassées. Or, ces capacités sont propres à chaque individu et dépendent étroitement de la qualité de la ration. Pour Case, le seuil d'alerte doit être une teneur de 0,5 % MS en nitrates dans la ration. Si l'apport énergétique de la ration est suffisant, une vache peut tolérer un fourrage contenant 1,5 % MS de nitrates, mais si la ration est de mauvaise qualité, un taux de 0,7 % de nitrates peut s'avérer mortel [Case, 1957].

En ce qui concerne les oxalates, la quantité maximale tolérée par voie orale pour les ruminants est comprise entre 0,1 et 0,5 g/kg de PV [Bruneton, 2001]. Cet écart assez large est du au fait qu'une partie de la flore ruminale est capable de dégrader les sels d'oxalate, le développement de cette flore conditionne donc la « résistance » aux oxalates.

Les données du tableau 7 ne sont pas exploitables parce qu'elles ne donnent que les teneurs respectives des différents composants de la plante, et pas les proportions relatives de ces composants. D'après les données du tableau 8, les oxalates représentent en moyenne 4,6 % de la matière sèche de la plante entière. Le taux de Matière Sèche de l'amarante d'après la même source est de l'ordre de 25 %. Un kilogramme d'amarante fraîche contient donc 260 g de MS et 11,5 g d'oxalates. D'après les données du tableau 8, la quantité d'amarante fraîche nécessaire pour intoxiquer un bovin est donc comprise entre 4,5 et 24 kg.

2.1.3.5. Les cas d'intoxication rapportés dans la littérature

En 1963, Miller et Egyed ont décrits plusieurs cas d'intoxication par l'amarante. Les symptômes présentés par les bovins intoxiqués étaient ceux d'une intoxication par les nitrates. Les auteurs ont été interpellés par la constatation suivante : la consommation de l'amarante « sur pied » n'a pas posé de problèmes mais sa consommation trente heures après la récolte a intoxiqué un troupeau de vaches. En effet, pour prendre de l'avance, l'éleveur avait coupé son herbe la veille. Les analyses de fourrages réalisées figurent dans le tableau 9 [Miller et Egyed, 1963].

En 1965, des cas d'intoxications ont été observés sur deux troupeaux différents au Kansas [Jeppensen, 1966].

Cas n° 1 : deux veaux de 200 kg (donc ruminants) dans un troupeau de douze ont été retrouvés morts par l'éleveur et, malgré le changement de pâture immédiat, un troisième a succombé le lendemain. Le champ contenait beaucoup d'amarante mais c'est surtout la ressemblance des lésions avec celles retrouvées chez les porcs intoxiqués qui a orienté le diagnostic. Tous les animaux ont présenté un œdème péri-rénal.

Cas n° 2 : Les plus jeunes veaux (90 kg) d'un troupeau de vingt six vaches Hereford ont été intoxiqués. Le problème venait visiblement de foin de sorgho Soudan Grass contaminé par de l'amarante. Les deux premier cas sont arrivés dix jours après le changement de foin, deux autres deux jours après, puis d'autres veaux sont tombés malades ensuite mais ont guéri en quelques semaines. Les lésions étaient caractéristiques d'une intoxication par les oxalates. L'auteur ne fait aucune allusion à une éventuelle toxicité du foin lui-même, mais le sorgho Sudan Grass est capable de contenir de l'acide cyanhydrique à certains stades de sa croissance. De plus, les veaux intoxiqués étaient les plus jeunes, très jeunes pour manger du foin, qui de toute manière ne leur était pas accessible. L'auteur laisse entendre qu'il aurait pu y avoir une excrétion du principe toxique par le lait.

En 1966 à Santa Fe, un troupeau de quarante huit vaches de race argentine a été durement touché par une intoxication massive à *Amarantus hybridus*. L'éleveur a réparti ses animaux en deux lots, un lot (A) de jeunes vaches mises à la reproduction, en pâture dans un pré de luzerne assez pauvre, et un lot (B) de vaches et taurillons destinés à l'engraissement, donc nourris avec un aliment riche en énergie. Les deux lots ont ensuite été rassemblés dans un pré colonisé par de l'amarante. En une semaine, une vache est morte et six autres sont tombées malades, elles appartenaient toutes au lot A.

Les jours suivants, de nombreuses autres vaches sont tombées malades et mortes mais les vaches maigres (lot A) ont beaucoup plus été touchées que les autres. L'apparition de nouveaux cas et la mortalité ont continué après le changement de pré. L'intoxication a évolué en trois à douze jours en moyenne. Les traitements mis en œuvre n'ont sauvé aucune vache, les lésions rénales étant visiblement trop graves. A la fin, tout le lot A est mort et 50 % du lot B environ [Cursack et Romano, 1966]

En octobre 1973, aux Etats Unis, cinq génisses sont mortes après deux à dix jours de symptômes variés. Ces vaches, appartenant à un troupeau de cent bêtes, avaient été déplacées dans un champ rempli d'amarante cinq jours avant l'apparition des premiers signes. Ces cinq génisses, de race Hereford, présentaient à l'autopsie des signes d'œdème et de nécrose du rein. Ce même champ avait été occupé précédemment par un troupeau d'Angus dont trois étaient mortes sans signes particuliers d'intoxication par l'amarante. Les Angus avaient présenté de la fièvre, ce qui n'est pas le cas des autres vaches intoxiquées. Malheureusement aucune autopsie n'a été pratiquée sur les Angus ce qui limite les possibilités de diagnostic [Brown, 1974].

En 1975, on a rapporté des cas d'intoxication dans un troupeau de trente sept génisses et un taureau aux Etats Unis. Ces génisses ont pâturé pendant cinq jours dans un champ dans lequel l'amarante était abondante et a été consommée en quantité. La première vache atteinte a très vite déclaré des symptômes généraux assez peu évocateurs puis, deux jours après, trois autres vaches ont réagi et finalement, dans les dix jours qui ont suivi, vingt deux génisses sont mortes ou ont été abattues, malgré le changement de pré précoce [Stuart *et al.*, 1975].

En 1975, un vétérinaire de Nouvelle Zélande a soulevé d'autres problèmes liés à l'amarante. Un troupeau de brebis placées pendant quatre jours dans un pré contenant quasi exclusivement de l'amarante n'a présenté aucun signe d'intoxication. Ce n'est pas le cas des veaux qui leur ont succédé sur la pâture. Un veau de dix huit mois a succombé d'une intoxication par les nitrates après avoir passé une demi-journée dans ce pré et, malgré le changement immédiat de pré, un deuxième est mort le lendemain avec les mêmes signes d'intoxication. Le reste du troupeau semble être resté indemne. On ne sait pas si les brebis ont consommé moins d'amarante que les veaux ou si ces derniers sont particulièrement sensibles. Il est cependant admis que les animaux jeunes sont plus sensibles à l'intoxication par les nitrates que les adultes. Dans cet exemple et les autres cas décrits dans la littérature Néo-Zélandaise les nitrates semblent toujours être le seul composant incriminé dans les intoxications par l'amarante [Duckworth, 1975].

En 1983 au Mexique, des chercheurs ont mis en évidence et comparé les signes cliniques et les lésions dus à l'ingestion d'amarante sur des ovins et des caprins de différentes races. Pour ce faire, ils ont réalisé des prélèvements sur des carcasses de onze animaux intoxiqués accidentellement dans différentes exploitations de la région. Des échantillons de sérum ont été prélevés pour mesurer certains paramètres sanguins : magnésémie, phosphorémie et calcémie, le contenu ruminal a été prélevé aussi et des coupes de rein ont été réalisées pour une analyse histopathologique. Des fragments végétaux ont été cueillis dans les prés sur lesquels les animaux ont montrés les premiers symptômes d'intoxication.

Les résultats des différentes recherches menées ont montré que la présence d'oxalates dans l'amarante était à l'origine de la mort de tous ces animaux. On n'a retrouvé aucune trace de nitrites ou de nitrates dans le contenu ruminal. Les teneurs en oxalates mesurés sur les prélèvements de rein étaient cinq à treize fois supérieures à la quantité d'oxalates que

peuvent tolérer par voie orale des ovins, soit 0,55 g/kg PV. L'intoxication a été suraiguë. Les modifications des quantités d'oligo-éléments mesurées dans le sérum sont expliquées par l'effet chélateur des oxalates. Dans la plus part des cas, les animaux étaient en hypocalcémie, en hyperphosphatémie et en hypermagnésémie. La mort a été vraisemblablement liée à l'hypocalcémie brutale et aux troubles métaboliques qu'elle entraîne, à l'urémie et au défaut de perfusion des organes vitaux à cause de l'obstruction des capillaires par des cristaux d'oxalates [Gonzales, 1983].

Une étude menée par des chercheurs cubains en 1984 a montré l'importance que peuvent prendre les cas d'intoxication par l'amarante quand cette dernière colonise des plantations de maïs. Il ne s'agit pas ici d'*Amarantus retroflexus* L. mais d'*Amarantus viridis* L., ce sont deux espèces très proches [Rivera *et al.*, 1984]. En effet, dans cet article les auteurs ont relaté l'intoxication mortelle de soixante six jeunes bovins dans un élevage de La Havane, à la suite de l'ingestion de fourrage contaminé par de l'amarante. Ce fourrage poussait sur un terrain utilisé précédemment pour la culture de maïs. La quantité de nitrates contenue dans ces pieds d'amarante était très supérieure aux valeurs habituellement mesurées sur des plantes poussant à l'état sauvage (0,35 %MB).

L'auteur fait un bilan de tous les facteurs connus qui accentuent l'accumulation de nitrates dans les plantes et leur toxicité. Les cultures supplémentées de façon importante en engrais azotés font pousser l'amarante sur un sol particulièrement riche en nitrates, ce qui est le principal facteur d'augmentation de la teneur en nitrate de la plante. Un autre facteur incriminé est l'usage d'herbicide contenant de l'acide 2,4-D-dichlorofénoxiacétique. Cette molécule favorise l'accumulation de nitrates dans le sang des animaux qui la consomment (elle augmente en quelque sorte la toxicité des plantes déjà toxiques sur lesquelles elle est répandue). La teneur en molybdène du sol est aussi un facteur important car cet oligo-élément est un constituant de la nitro-réductase, enzyme végétale permettant la conversion des nitrites en nitrates. Un sol appauvri en molybdène favorise l'accumulation des nitrites dans la plante. Dans ce cas d'intoxication aiguë, la mortalité a été très importante, les animaux sont morts douze heures après l'ingestion du fourrage contaminé. La caractéristique principale de cette intoxication aux nitrates est la présence d'une teneur importante de nitrates dans le liquide cérébro-spinal.

Un autre cas d'intoxication a été décrit aux Etats-Unis sur une velle de six mois qui faisait partie d'un troupeau de cinquante veaux et qui a été la seule à avoir présenté des symptômes graves [Sizelove *et al.*, 1988].

Toujours en 1988, au Canada, cinq veaux Holstein dans un troupeau de vingt cinq, ont été retrouvés morts au pré. Deux jours auparavant, deux balles de foin avaient été distribuées et ce foin était presque exclusivement composé d'Amarante, avec un peu de Chénopode blanc. L'autopsie a mis en évidence une absence de cristaux d'oxalates dans les reins et une absence de lésions caractéristiques de l'intoxication par les nitrates. Les nitrates représentaient cependant plus de 2,5 % de la MS du fourrage incriminé. Il semblerait que ces animaux aient succombé à cause de l'hypocalcémie provoquée par les oxalates [Spearman et Johnson, 1989].

En 1995, une équipe canadienne a décrit de nouveaux cas d'intoxication de moutons par de l'amarante réfléchie. Un troupeau entier d'agneaux a été sevré puis placé sur un champ fortement contaminé pendant dix jours. Les animaux sont tombés malades quelques jours après le changement de pâture et 2 % du troupeau est mort. On ignore quelle proportion du troupeau a été touchée et si certains agneaux ont guéris, mais « beaucoup » auraient présentés des signes de diarrhée et de dépression. Les auteurs signalent qu'il est exceptionnel d'observer de la mortalité lors d'intoxication d'ovins par de l'amarante [Rae et Binnington, 1995].

En 1997, des vétérinaires brésiliens ont signalé l'intoxication massive presque simultanée de deux troupeaux de bovins de deux régions différentes. Dans le premier cas il s'agit d'un troupeau de vingt huit génisses dont neuf sont tombées malades et huit d'entre elles sont mortes après des signes cliniques très classiques d'intoxication par les oxalates. Les symptômes ont commencés à apparaître au moment où les génisses quittaient le pré contaminé, 3 semaines après leur arrivée. Le pré d'un demi-hectare était riche en amarante et celle-ci a été abondamment consommée. Dans le deuxième cas, quarante cinq vaches ont été placées dans un autre pré d'un demi-hectare ne contenant pas d'autre fourrage que des pieds d'amarante d'un mètre de haut. Les vaches venaient d'être séparées de leurs veaux. Elles ne sont restées sur cette parcelle que pendant trois jours. Huit jours après le deuxième changement de pâture, une vache est morte puis quatorze autres ont suivi en six jours. Dans

ces deux cas, la morbidité était de l'ordre de 30 % et la mortalité de presque 100 % [Torres *et al.*, 1997].

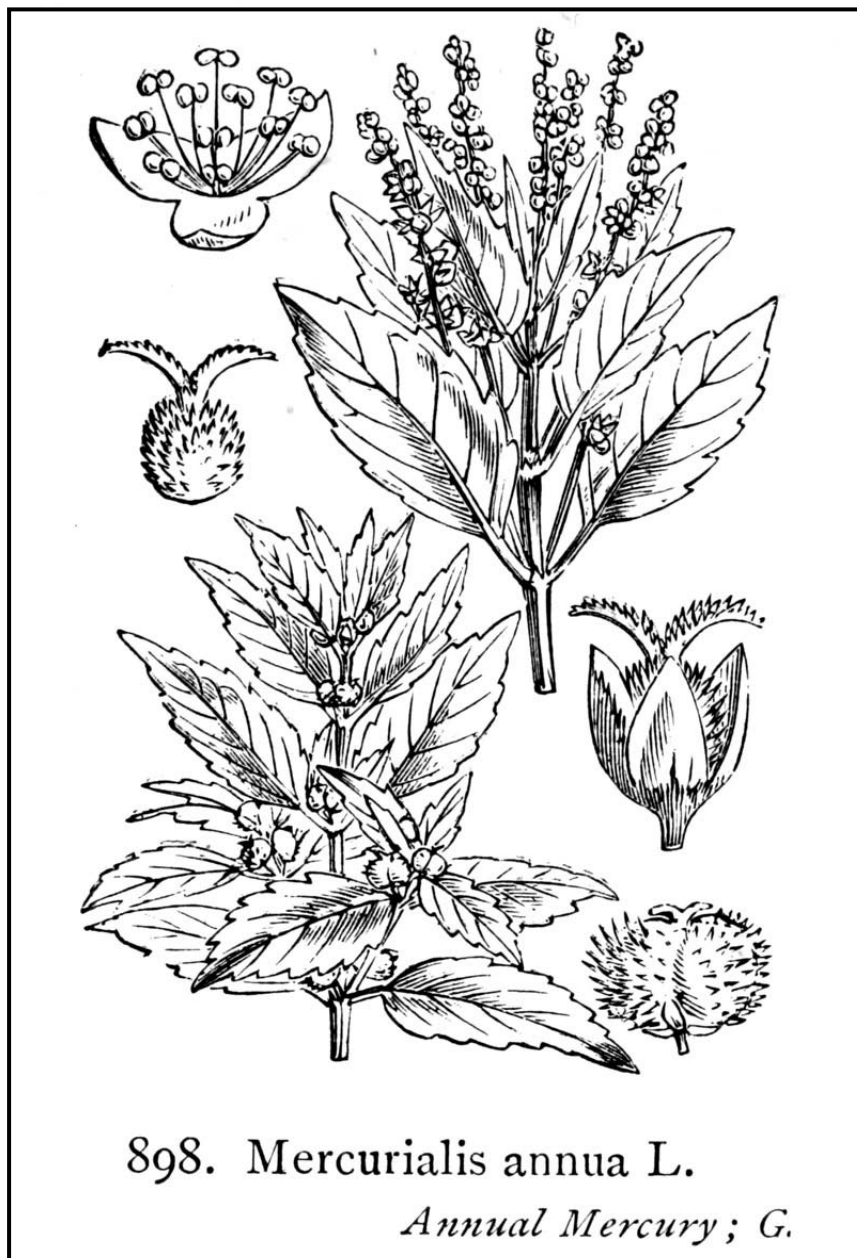
Deux vétérinaires américains ont décrit en 1998 les intoxications de quatre vaches adultes d'un troupeau de quinze. Peu de temps après l'introduction dans un pré contenant de l'amarante et peu d'herbe, une première vache pourtant tarie depuis 3 semaines, a présenté des symptômes proches d'une fièvre de lait et a été traitée en conséquence. Cette vache était cependant tarie depuis 3 semaines ce qui a semblé paradoxal. L'hypocalcémie a été confirmée par une prise de sang. En dépit du traitement au gluconate de calcium cette vache est morte le lendemain soir. Trois autres vaches sont ensuite tombées malades dans des conditions similaires et un traitement à base de calcium, de vitamines A et D, d'électrolytes et d'AINS les a guéries. L'autopsie de la vache morte a révélé l'absence de cristaux d'oxalates dans le rein mais des lésions tubulaires similaires à celles observées lors d'intoxication par les chênes [Kerr et Kelch, 1998]. Le tableau 10 présente un résumé de ces différents articles.

Tableau 10 : Résumé des données bibliographiques sur les intoxications par l'amarante réfléchie.

Auteurs	Année	Lieu	Animaux		Incidence		Type d'intoxication - remarques
			Espèce	Age - Poids	Morbidité	Mortalité	
Miller et Egyed	1963	NS	BV	Vaches adultes	NS	8 %	Nitrates
Jeppesen	1966	Etats Unis	BV	Veaux 200 kg	NS	25 %	Oxalates
			BV	Veaux 90 kg	100 %	15 %	Oxalates
Cursack et Romano	1966	Argentine	BV	Vaches maigres	100 %	100 %	
			BV	Engraissement	50 %	100 %	
Brown	1973	Etats Unis	BV	Génisses 180 kg	5 %	100 %	Oxalates
Stuart <i>et al.</i>	1975	Etats Unis	BV	Génisses 1,5 ans	60 %	100%	
Duckworth	1975	N Zélande	BV	Veaux 18 mois	NS	NS	Nitrates (2 animaux morts)
Gonzales	1983	Mexique	PR	> 3 mois	NS	NS	Oxalates (11 animaux morts)
Rivera <i>et al.</i>	1984	Cuba	BV	NS	NS	NS	Nitrates (66 animaux morts)
Spearman	1988	Canada	BV	Jeunes bovins	20 %	100 %	Nitrates et oxalates
Sizelove <i>et al.</i>	1988	Etats Unis	BV	Veau 6 mois	2 %	100 %	
Rae et Binnington	1995	Canada	OV	3-4 mois	NS	NS	2 % du lot d'agneaux sont morts
Torres <i>et al.</i>	1997	Brésil	BV	Génisses 2 ans	32 %	90 %	
			BV	Vaches adultes	33 %	100 %	
Kerr et Kelch	1998	Etats Unis	BV	Vaches adultes	27 %	100 %	Oxalates

Morbidité : nombre d'animaux malades sur l'effectif du troupeau - Mortalité : nombre d'animaux morts parmi les malades - NS : non signalé

Cette étude bibliographique montre qu'une fois les symptômes apparus, la mortalité est de presque 100 % lors d'intoxication par l'amarante, après un délai variable. La morbidité est plus difficile à calculer puisque rarement mentionnée par les différents auteurs. D'autre part, l'analyse de ces cas montre des tableaux cliniques et nécropsiques très variables même s'il s'agit toujours de l'amarante réfléchie. La mortalité est parfois associée à la toxicité des nitrates, parfois à des lésions rénales très sévères liées dans certains cas à la toxicité des oxalates et enfin, parfois associée à une hypoglycémie due à la chélation du calcium ruminal et sanguin par les oxalates.



2.2. La Mercuriale

2.2.1. Description

La mercuriale annuelle, *Mercurialis annua* L., est une herbacée annuelle appartenant à la famille des Euphorbiacées. *Mercurialis perennis* L. est une autre mercuriale toxique, pérenne mais moins fréquente dans les champs de maïs.

2.2.1.1. Morphologie

La mercuriale annuelle est une plante de petite taille, de 20 à 50 cm. Sa tige est droite, quadrangulaire, et ramifiée dès la base. Elle porte des feuilles opposées à pétiole court, ovales, dentelées et de couleur vert pâle. Cette espèce dioïque est en fleur d'avril à novembre. Les fleurs, verdâtres, sont placées à l'aisselle des feuilles.

Les pieds mâles portent des inflorescences en forme d'épis grêles, de quatre à douze glomérules, et sont longuement pédonculées. Chacune de ces fleurs présente un calice à trois sépales et une dizaine d'étamines (huit à quinze). Les fleurs femelles sont isolées ou par deux et presque dépourvues de pédoncule. L'ovaire est biloculaire et surmonté de deux styles [Blamey et Grey-Wilson, 1991].

Le fruit est une petite capsule hérissée de poils blancs d'environ 3 mm de diamètre, contenant de petites graines ovoïdes gris-brun.

Contrairement aux autres euphorbes, elle ne contient pas de latex mais un suc qui lui donne un goût amer et une odeur désagréable.

2.2.1.2. Localisation, biotope

La mercuriale est très commune en France dans les cultures, les jardins et les terrains vagues. On la retrouve plus souvent dans les cultures ou les terrains anciennement cultivés que dans les prairies permanentes. Elle s'adapte à des natures de sol très différentes, y compris les décombres et les terrains pierreux et elle se développe très bien même en milieu très sec ou par temps de sécheresse.

2.2.1.3. Biologie (croissance, multiplication)

La floraison a lieu d'avril à novembre. La mercuriale résiste très bien à la sécheresse, de nombreux rapports soulignent qu'en période de canicule, comme les étés 1947 et 1976 en Bretagne, c'est une des dernières plantes à avoir survécu dans les prés, causant ainsi de nombreuses intoxications.

2.2.2. Toxicité

2.2.2.1. Nature des principes toxiques

Le principe actif à l'origine des intoxications est inconnu. La mercuriale contient une méthylamine (appelée parfois mercurialine) et une triméthylamine, une saponine, un principe purgatif amer et un chromogène, l'hermidine, qui colore l'urine en rouge lorsqu'il est oxydé.

2.2.2.2. Localisation dans la plante

Les pieds femelles sont visiblement plus toxiques que les pieds mâles. En effet les graines concentrent les principes toxiques et en plus, il semblerait que certains principes toxiques soient absents sur les pieds mâles. La toxicité de la mercuriale est donc importante après la floraison, quand les graines arrivent à maturité, à la fin de l'été. La mercuriale resterait toxique sèche (après traitement par des herbicides ou fanée) ou ensilée, mais les avis sont assez partagés sur la question. Certains auteurs rapportent que la mercuriale desséchée perdrait ses propriétés toxiques [Puyt *et al.*, 1981].

2.2.2.3. Quantité de principe toxique

Comme le principe toxique n'est pas identifié, son dosage n'a pas pu être réalisé. La toxicité est maximale quand la mercuriale porte des fruits.

2.2.2.4. Facteurs de variation

Il semblerait que la mercuriale n'engendre pas systématiquement des intoxications graves.

On peut supposer que le stade végétatif de la plante est très important puisque l'absence ou la présence de graines vont conditionner l'importance de sa toxicité. Certains auteurs ont écrit que la mercuriale sèche perdait sa toxicité [Puyt *et al.*, 1981], d'autres au contraire ont décrit des intoxications liées à la consommation de foin contaminé, donc de mercuriale déshydratée [Landau *et al.*, 1973]. La mercuriale étant une plante fragile, avec des graines très petites ; on peut supposer que la récolte peut provoquer la chute des graines, et donc diminuer la toxicité.

2.2.2.5. Pathogénie

Le mécanisme d'action des molécules toxiques contenues dans la mercuriale est inconnu.

2.2.3. Intoxication

2.2.3.1. Circonstances

La mercuriale a une odeur et un goût désagréable. Elle est donc rarement spontanément consommée, mais est plutôt ingérée lorsqu'elle est mélangée au foin ou à l'ensilage, ou en période de disette ou de sécheresse, faute de mieux. Certains auteurs soulignent en outre que le traitement des prés par des herbicides comme les phénoxyacétates ou les aryloxyacides (2,4 D ou 2,4,5 T) fait perdre son odeur à la mercuriale, mais pas sa toxicité [Delatour et Jean Blain, 1977].

Toutes les espèces animales sont susceptibles d'être intoxiquées par la mercuriale mais les ruminants sont les plus exposés. Les cas décrits dans la littérature concernent essentiellement des bovins et des ovins. Néanmoins, Gratzl a décrit en 1946 l'intoxication expérimentale d'un cheval de 18 ans qui a reçu pendant quatre jours 15 kg de mercuriale fraîche par jour. Le quatrième jour, des signes de coliques puis d'anémie sont apparus, l'état général s'est dégradé et le cheval a finalement été abattu le sixième jour après le début de l'expérience. Ces travaux ont été rapportés dans la thèse d'un vétérinaire sur les intoxications par la mercuriale [Trocherie, 1948].

2.2.3.2. Signes cliniques

Les symptômes dominants consistent en une dysurie, suivi de mictions douloureuses d'urine colorée de rouge (par le chromogène) ou de brun (par de l'hémoglobine). Ces signes sont les plus caractéristiques mais pas les plus précoces. Les premiers signes d'intoxication sont de l'abattement (un vétérinaire décrit l'exemple de 12 vaches intoxiquées depuis la veille qui semblaient toutes dormir dans l'étable), de l'inappétence voire de l'anorexie et des troubles digestifs avec gastro-entérite, météorisation, diarrhée et coliques [Trocherie, 1948].

L'évolution clinique peut s'orienter vers une guérison spontanée ou vers la mort au terme d'un affaiblissement progressif de quelques jours.

En 1976, Espinasse et Savey ont mesuré les modifications de la formule sanguine en réalisant des prélèvements sur quatre vaches intoxiquées par de la mercuriale (tableau 11). L'analyse a montré l'existence d'une anémie, ainsi que d'une lymphopénie associée à une éosinophilie et à une neutrophilie.

	Constantes normales	Intoxication par <i>M. annua</i>
Numération globulaire	7 à 8 .10 ⁶ / mm ³	4,14 .10 ⁶ / mm ³
Numération leucocytaire	7 à 12 .10 ³ / mm ³	13. 10 ³ / mm ³
Lymphocytes	65 +/- 10 %	31 %
Polynucléaires neutrophiles	35 +/- 10 %	49 %
Polynucléaires éosinophiles	6 +/- 3 %	13 %
Polynucléaires basophiles	2 +/- 1 %	2 %
Monocytes	3 +/- 2 %	6 %

Tableau 11 : Modifications de la formule sanguine des bovins à la suite d'une intoxication par la mercuriale annuelle [d'après Espinasse et Savey, 1976].

En 1993, deux vétérinaires et un professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse ont mesuré la modification de différents paramètres sanguins à la suite de l'ingestion de mercuriale dans le but de faciliter le diagnostic différentiel avec la babésiose bovine. Leurs analyses montrent qu'au delà de l'anémie, l'existence d'une leucocytose avec une neutrophilie et une éosinophilie massive permet de confirmer un diagnostic d'intoxication par la mercuriale [Alzieu *et al.*, 1993].

2.2.3.3. Lésions

Les organes principalement touchés sont le rein, le foie et le tube digestif. L'ingestion de mercuriale se traduit par une hémolyse intense qui induit une anémie grave, une chute de l'hématocrite et de l'hémoglobine. Cependant les lésions rénales entraînent aussi la présence de sang en nature dans les urines (en plus du chromogène) et pas simplement de l'hémoglobine due à l'hémolyse intra-vasculaire. On observe parfois un ictère qui peut être d'origine extra-hépatique (anémie hémolytique) et hépatique (lésions nécrotiques). On peut observer des lésions macroscopiques de néphrite, le rein est rouge foncé avec des plages noirâtres, et des lésions microscopiques de glomérulonéphrite.

2.2.3.4. Doses toxiques

Les quantités de mercuriale nécessaires à l'apparition de symptômes d'intoxication sont connues de manière assez approximative. Pour Dérivaux, la dose létale est de 15 kg de matière brute en 24 h pour un bovin adulte ; pour Diernhofer, 10 kg suffiraient [Delatour et Jean Blain, 1977]. Comme le principe toxique s'accumule dans l'organisme, 2 à 3 kg par jour pendant 4 à 6 jours suffiraient à produire une intoxication grave, voire mortelle [Delatour et Jean Blain, 1977]. Pour les ovins, une consommation de 200 g de plante fraîche par jour pendant 6 jours divise la numération globulaire par trois ($2,3 \cdot 10^6 / \text{mm}^3$ au lieu de $6,8 \cdot 10^6 / \text{mm}^3$) [El Bahri, 1981a].

Des cas d'intoxications mortelles par la mercuriale étaient déjà décrits au siècle dernier chez les bovins. Ainsi en 1902, une vache ayant ingéré entre 18 et 24 kg de mercuriale est morte en quatre jours, et une autre en ayant consommé 12 à 13 kg, a résisté un jour de plus avant de succomber [Anonyme, 1902].

D'autres travaux confirment que les quantités nécessaires pour provoquer une intoxication peuvent être faibles, mais répétées plusieurs jours de suite. Par exemple, un troupeau de 20 Prime' Holstein ayant consommé pendant huit jours un fourrage vert de moha contenant un tiers de mercuriale a été intoxiqué. Comme ce fourrage était donné à volonté, on peut supposer que les vaches ont consommé plus de trois kilogrammes de mercuriale par jour pendant huit jours. Les troubles observés sur les vaches sont restés mineurs : baisse générale de la production lactée, coloration des urines pour deux vaches. Après le retrait du foin

contaminé, la situation est redevenue normale en deux jours. Ces vaches n'ont présenté aucun trouble digestif comme des coliques ou de la diarrhée, signes habituellement importants dans les intoxications à la mercuriale [Anonyme, 1973].

Ces données illustrent la complexité de l'étude de l'intoxication d'animaux par certaines plantes, surtout quand les principes toxiques restent inconnus.

2.2.3.5. Les cas d'intoxication rapportés dans la littérature.

Dans une communication de 1941, Eaton a rapporté l'intoxication de quatre vaches par de la mercuriale. Deux d'entre elles sont mortes avant qu'un traitement n'ait été mis en place, les deux autres ont guéri. Ces vaches avaient changé de pré deux ou trois semaines plus tôt. On ignore quelle quantité de mercuriale a été consommée [Eaton, 1941].

En 1944, un troupeau de génisses et de vaches a été mené dans une pâture qui n'avait pas été fauchée ni entretenue depuis plusieurs années. Une semaine après, une vache a péri, puis d'autres ont suivi. Dans les semaines suivantes, certaines vaches ont continué de s'affaiblir et sont mortes, d'autres ont répondu à un traitement symptomatique et ont guéri. Les derniers cas de mortalité sont survenus plusieurs semaines après le changement de pré, opéré à la fin de la première semaine, dès le premier cas de mortalité [Barron, 1944].

Onze cas d'intoxications ont été décrits en 1973 dans un troupeau de Mérinos (110 brebis) à Jérusalem. Ces animaux étaient nourris avec des concentrés et du foin à volonté. Ce foin était composé de la végétation qui avait poussé dans un champ à la saison des pluies après la récolte des légumes qu'il contenait, c'est-à-dire en majorité de la mercuriale. Sur les onze animaux ayant présenté des symptômes, six sont morts avec des lésions identiques : des reins très noirs, une urine foncée, un ictère généralisé et un œdème pulmonaire. Sur les 5 animaux « rescapés », des prises de sang ont été faites pendant la convalescence (une semaine après le début des intoxications) montrant une numération globulaire de $2,2 \cdot 10^6$ GR/mm³ au lieu de 6,8. L'auteur fait cependant remarquer que ces cas sont les premiers décrits dans un pays où la mercuriale est pourtant très présente. Une expérience complémentaire a été menée par son équipe de recherche et a montré que la race de moutons locale (Awassi) évite beaucoup plus la consommation de mercuriale que le mérinos. Les brebis testées ont refusé la mercuriale, prudence qui explique peut-être l'absence d'intoxication [Landau *et al.*, 1973].

Au cours de la sécheresse de l'été 1976 en Bretagne, douze bovins ont consommé de la mercuriale qui était la seule plante verte encore sur pied dans leur pré. Tous ont présentés une hémoglobinurie et une paralysie digestive, et les trois animaux les plus touchés sont morts après une semaine d'affaiblissement progressif, en dépit du traitement symptomatique mis en œuvre. Ce traitement comportait l'administration d'un hépato-protecteur, d'un tonicardiaque, de vitamines B1 et C et de bleu de méthylène à raison de 4 g pour 500 kg [Anger *et al.*, 1976].

La mort de deux génisses a été relatée en 1978 par un vétérinaire en France. Les symptômes principaux étaient la coloration des urines (une hémoglobinurie), une tachycardie et une légère polypnée avec de l'hypothermie. L'autopsie a révélé une congestion rénale, un foie dégénéré, des pétéchies cardiaques et des muscles pâles [Anonyme, 1978].

En 1978, le service de toxicologie végétale de l'ENVT a reçu l'appel du docteur Arabeyre de Pau qui signalait l'intoxication de vingt sept vaches au sein d'un troupeau de quarante. Ces vaches ont présenté des troubles digestifs et rénaux, et malgré les essais de traitement, quatre sont mortes. Ce vétérinaire a relevé la ressemblance des symptômes entre l'intoxication par la mercuriale et la piroplasmose, si ce n'est l'absence de fièvre lors de l'intoxication végétale.

Les cas d'intoxication à la mercuriale rapportés au service de toxicologie de l'ENVT sont nombreux mais il en reste peu de traces, bien souvent incomplètes :

- en 1885, quatre vaches ont présenté des signes d'intoxication et une est morte.
- en 1921, trois vaches ont présenté des signes d'intoxication, deux sont mortes après avoir présenté des signes nerveux. Dans un autre cas, trois vaches sont mortes après avoir présenté des troubles essentiellement rénaux.
- en 1983, six vaches parmi vingt huit sont tombées malades. Aucune n'est décédée, on a simplement rapporté une chute de lactation, ainsi que des troubles digestifs et rénaux.

En 1979, quatre cas ont été signalés par un vétérinaire français, il s'agissait d'intoxications dans un troupeau de vaches Française Frisonne Pie Noire. Le pré en cause contenait de nombreuses plantes toxiques mais les symptômes (ictère, anémie, urine brun/rouge, anorexie

et inrumination en phase terminale) ont permis de soupçonner la mercuriale. Les signes cliniques ont commencé à apparaître six jours après le changement de pré. La première vache est morte en trois jours puis trois autres vaches sont mortes les trois jours suivants. Au total, sur les quarante et une vaches du troupeau, vingt sept ont eu l'urine colorée, quatre sont mortes, cinq ont mis longtemps à se remettre (appétit très faible pendant une semaine) et quatorze n'ont présenté aucun symptôme [Jacob, 1979].

Un cas a été rapporté d'outre Rhin en 1987, sur un troupeau de quarante sept vaches laitières. Les symptômes sont apparus progressivement, sur toutes les vaches à la fois, avec : de la fatigue, de l'apathie, puis une accélération du rythme cardiaque, une coloration des urines de rouge à brun sombre, de l'anémie puis de l'anorexie et la mort pour trois vaches. Beaucoup d'animaux ont été sauvés visiblement grâce à des perfusions et même des transfusions pour les plus atteints. L'herbe contaminée a été retirée rapidement. Toutes ces vaches ont été intoxiquées car l'herbe contaminée par la mercuriale était distribuée à l'auge grossièrement hachée, ce qui a empêché les possibilités de triage des aliments [Hollberg et Winkelmann, 1989].

Une thèse de Doctorat vétérinaire entière est consacrée à l'intoxication des bovins par la mercuriale annuelle [Trocherie, 1948]. L'auteur a recensé un certain nombre d'observations de différents cas d'intoxication par la mercuriale, dont voici les plus « récents » :

- Rainaud (1921) a observé quatre vaches intoxiquées dont deux ont guéri grâce à un traitement symptomatique et deux autres en état de gestation avancé ont succombé après des troubles nerveux convulsifs et une paralysie.

- Gauffriaud (1921) a été appelé dans une exploitation de Maine et Loire pour soigner trois vaches intoxiquées, une n'a pas survécu.

- Zinghi (1936) a décrit en Italie l'intoxication d'un troupeau de trois mille ovins ayant entraîné un à deux morts par jour pendant quelques semaines. Les animaux ont présenté des troubles digestifs, rénaux et des tremblements.

- Diemhoferr et Kment (1942) ont rapporté l'intoxication de cinq vaches, présentant une anémie sévère ($2 \text{ à } 3.10^6 \text{ GR/mm}^3$).

- Barron (1944) a décrit l'intoxication mortelle de plusieurs vaches et génisses d'un troupeau en Angleterre. Le signe le plus marquant était l'anémie, dans un premier temps, puis l'ictère d'apparition secondaire. Le troupeau occupait un pâturage laissé à l'abandon depuis plusieurs années.

- Gratzl (1946) a relaté l'intoxication de chevaux, de bovins et de moutons suite à la consommation d'un fourrage vert, haché, contenant de la mercuriale.

Ce travail [Trocherie, 1948] décrit aussi les cas auxquels l'auteur a été personnellement confronté pendant l'automne 1947 en Mayenne, avec :

- une vache a été intoxiquée après avoir mangé de la mercuriale dans un jardin. Elle a été guérie en huit jours par un traitement symptomatique.

- trois vaches ont été intoxiquées, deux ont guéries en trois jours et la troisième, gestante, s'est remise en huit jours après un traitement symptomatique.

- une vache intoxiquée est morte en dépit du traitement, elle présentait à l'autopsie des signes importants de nécrose du foie et une deuxième a guéri.

- un troupeau de douze vaches a été sauvé après avoir pâTURÉ de la mercuriale la veille grâce à un traitement purgatif.

- deux chèvres et trois lapins ont été mortellement intoxiqués et ont présenté les mêmes signes cliniques que des bovins.

- une vache intoxiquée non soignée est morte huit jours après le retrait de la source de mercuriale.

La dernière publication relatant un cas d'intoxication d'un troupeau par de la mercuriale date de 1995. Il s'agit d'un troupeau de dix huit vaches laitières de race pie noire, en Tunisie. Le manque de foin avait amené l'éleveur à acheter de l'« herbe » fauchée dans un verger voisin, herbe qui s'est avéré être de la mercuriale. Les vaches ayant refusé de consommer la mercuriale, l'éleveur les a laissés à la diète vingt quatre heures et leur a représenté la mercuriale mélangée à leur foin habituel. Finalement, chaque vache a mangé une quantité estimée à 15 à 20 kg de mercuriale. L'éleveur a été alerté par la mort subite de deux vaches le lendemain matin. Toutes les autres ont présenté des signes d'abattement intense ainsi qu'une chute de la production laitière. Dix animaux avaient de la diarrhée et huit des signes urinaires (urines noires et « limpides comme du café »). Un traitement symptomatique et le retrait immédiat de la mercuriale ont probablement sauvé les autres vaches. La coloration des urines a persisté une dizaine de jours, la convalescence a duré un mois et la production laitière des vaches les plus atteintes a mis plus de deux mois à revenir à la normale [Ben Said *et al.*, 1995].

Le tableau 12 est un résumé de ces différentes données bibliographiques.

Tableau 12 : Résumé des données bibliographiques sur les intoxications par la mercuriale annuelle.

Auteur	Année	Lieu	Animaux		Incidence		Intoxication - remarques
			Espèce	Age - Poids	Morbidité	Mortalité	
Anonyme	1902	France	BV	Vache adulte	NS	100 %	
Trocherie	1921	France	BV	Vaches adultes	NS	50 %	Observation du Dr Rainaud
Trocherie	1921	France	BV	Vaches adultes	NS	33 %	Observation du Dr Gauffriaud
Trocherie	1936	Italie	OV	NS	NS	NS	Observation du Dr Zinghi
Eaton <i>et al.</i>	1941	NS	BV	Vaches adultes	NS	50 %	
Barron	1944	Angleterre	BV	Vaches génisses	NS	NS	Intoxication au pré
Trocherie	1946	Autriche	CV	NS	NS	NS	Observation du Dr Gratzl
Trocherie	1947	France	BV	NS	NS	10 %	Année de sécheresse
Anonyme	1973	France	BV	Vaches génisses	10 %	0 %	Foin contaminé à 30 %
Landau <i>et al.</i>	1973	Israël	OV	Brebis adultes	10 %	55 %	
Anger <i>et al.</i>	1976	France	BV	Vaches adultes	NS	25 %	Intoxication au pré - sécheresse
Anonyme	1978	France	BV	Génisses	50 %	100 %	
Archives ENVT	1978	France	BV	Vaches adultes	68 %	15 %	
Jacob	1979	France	BV	Vaches adultes	66 %	20 %	Intoxication au pré
Hollberg et Winkelmann	1987	Allemagne	BV	Vaches adultes	100 %	6 %	Mercuriale hachée à l'auge
Ben Said <i>et al.</i>	1995	Tunisie	BV	Vaches adultes	100 %	11 %	Mercuriale à l'auge

Morbidité : nombre d'animaux malades sur l'effectif du troupeau - Mortalité : nombre d'animaux morts parmi les malade – NS : non signalé

La morbidité et la mortalité à la suite de l'intoxication par la mercuriale sont très variables et sont essentiellement liées à la durée et à la dose de mercuriale ingérée. La mortalité semble très faible quand le retrait de l'aliment contaminé est rapide et le traitement symptomatique précoce, mais elle peut atteindre plus de 50 % quand la quantité ingérée est importante.

La mercuriale représente réellement un danger quand les animaux n'ont pas la possibilité de trier parce qu'elle est mélangée à leur fourrage habituel et / ou qu'elle a subi une transformation comme le hachage ou l'ensilage.



Illustrations of the British Flora – www.zum.de/stueber/fitch/index.html - consultée le 24/03/07

2.3. Le Datura

2.3.1. Description

Le datura stramoine, *Datura stramonium* L., est une plante annuelle appartenant à la famille des Solanacées. Il serait originaire d'Amérique latine. Les *Datura ferox* L. et *Datura metel* L. sont deux espèces assez proches du point de vue de leur composition et de leur toxicité ; ils sont originaires d'Asie.

2.3.1.1. Morphologie

Le datura est une plante vigoureuse dont la taille peut atteindre 1,5 m de haut et plus de 2 m d'envergure. La tige arrondie porte des feuilles ovales découpées en lobes inégaux et pointus. A l'état frais, ces feuilles dégagent quand on les écrase une odeur nettement désagréable. Les fleurs sont solitaires, axillaires et de grande taille. Elles ont un calice à cinq sépales plissés et une corolle tubuleuse, blanche, en forme d'entonnoir. Le fruit est une capsule épineuse de quelques centimètres, contenant jusqu'à huit cents graines de 2-3 mm en moyenne, réniformes et noires [Blamey et Grey-Wilson, 1991].

2.3.1.2. Biotope et localisation

Le datura stramoine est originaire d'Amérique Latine mais sa distribution est aujourd'hui mondiale. Il s'est adapté à toutes les régions dont le climat est globalement chaud et tempéré, notamment l'Europe et l'Afrique du Sud. On en retrouve partout en France, en milieu urbain ou rural, de façon variable d'une année à l'autre en fonction du climat.

Le datura se développe préférentiellement sur des terrains dont la terre est remuée : chantier et terrains vagues, mais aussi cultures, notamment celles de maïs fourrager. En effet, le datura est une plante adventice fréquente des champs de maïs, son développement est facilité par les apports azotés importants nécessaires à cette culture.

2.3.1.3. Biologie

La plante fleurit en été et ses fruits arrivent à maturité au cours de l'automne, à l'époque de la réalisation de l'ensilage de maïs. Le pouvoir de multiplication d'un pied de datura est

considérable (50 fruits contenant chacun en 600 graines en moyenne, et 100 fruits contenant chacun jusqu'à 800 graines dans les cas extrêmes !) De part sa taille importante, cette plante peut prendre des proportions non négligeables dans les ensilages contaminés. En effet, d'après les prélèvements réalisés dans la région Toulousaine (voir la partie III), les pieds les plus volumineux pèsent facilement plus de 4 kg dont jusqu'à 500 g de graines.

2.3.2. Toxicité

2.3.2.1. Nature des principes toxiques

La toxicité du *Datura* est due à la présence dans l'ensemble de la plante d'alcaloïdes à action parasympatholytique. Les principaux alcaloïdes sont l'atropine, présente dans la plante sous la forme d'un isomère actif appelé hyoscyamine, et la scopolamine ou hyoscine. Ces principes actifs agissent sur les systèmes nerveux central et périphérique, entraînant des troubles respiratoires, cardiaques et des hallucinations. Des cas d'intoxication ont été rapportés chez l'homme et une étude datant des années 1990 souligne une recrudescence des cas d'intoxications volontaires, chez les toxicomanes [Roblot *et al.*, 1995].

La plante contient aussi d'autres alcaloïdes (apo-scopolamine, apo-hyoscyamine, meteloïdine, tiglymeteloïdine...) et un pseudo-peptide toxique, l'acide gamma-glutamyl-aspartique (LGLA) qui agit sur le système nerveux central et entraîne des pertes de mémoire [Piva et Piva, 1995].

En combinant la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse, on confirme la présence d'autres alcaloïdes, et on révèle la présence de lectines et de tanins. Finalement, aucune étude ne permet de dire si les effets du *datura* sont liés à ces deux principaux alcaloïdes (hyoscyamine et scopolamine) ou à d'autres, moins connus [Dungan *et al.*, 1989].

2.3.2.2. Localisation dans la plante

Les principes actifs sont présents dans toute la plante, mais en proportion plus importante dans les graines et la tige.

2.3.2.3. Quantité d'alcaloïdes toxiques

A cause des problèmes posés en toxicologie humaine les principes toxiques du datura ont été beaucoup étudiés, pour la plante entière et plus spécifiquement pour les graines. Ces dernières ont été particulièrement étudiées à cause de la recrudescence des cas de contamination d'aliments industriels pour le bétail et pour l'homme.

En 1930 en Afrique du Sud, l'Institut Impérial a étudié des pieds de *Datura stramonium* L. Ils contenaient 0,49 % MB d'alcaloïdes totaux et principalement de l'hyoscyamine. Ce dernier peut être converti in vivo en atropine par racémisation [Steyn, 1934].

En 1982, Nelson *et al.* ont réalisé une expérience pour évaluer la toxicité du datura chez les bovins. Les graines utilisées contenaient en moyenne 2,61 mg d'atropine (hyoscyamine) et 5,5 mg de scopolamine par gramme de MB [Nelson *et al.*, 1982].

Une expérience similaire a été réalisée en 1989 sur des rats par Dugan *et al.*. Les graines utilisées pesaient en moyenne $6,8 \pm 0,33$ mg ; leur teneur en alcaloïdes était environ de 2,71 mg d'atropine et 0,66 mg de scopolamine par gramme de MB [Dungan *et al.*, 1989].

En 2001, une équipe Italienne a étudié la teneur en alcaloïdes des différentes parties du *Datura stramonium* L. Ces teneurs ont été mesurées par GC-MS (chromatographie en phase gazeuse couplée à de la spectrométrie de masse). Les valeurs mesurées représente le dixième des valeurs habituelles, elles sont présentées dans le tableau 13 [Milradi *et al.*, 2001].

	Plants jeunes		Plants adultes	
	Atropine	Scopolamine	Atropine	Scopolamine
Feuilles	0,405 ± 0,009	0,052 ± 0,005	0,150 ± 0,004	0,027 ± 0,006
Tiges	0,915 ± 0,015	0,129 ± 0,014	0,001	/
Racines	0,121 ± 0,015	0,014 ± 0,004	/	/
Fleurs	0,299 ± 0,021	0,106 ± 0,031	0,270 ± 0,026	0,066 ± 0,004
Fruits				
- péricarpe	0,001	/	0,001	/
- graines	0,17 ± 0,003	0,012 ± 0,001	0,387 ± 0,015	0,089 ± 0,010

Tableau 13 : Teneurs en alcaloïdes ($\mu\text{g}/\text{mg}$ MB), dans des plants jeunes (< 30 cm) et des plants adultes (>30 cm) de *Datura stramonium* L. [d'après Milradi *et al.*, 2001].

Dernièrement en 2004, les taux d'alcaloïdes ont été mesurés dans différentes solanacées dont les graines de *Datura stramonium* L. Les techniques utilisées étaient très variées : HPLC, TLC (Thin Layer Chromatography), ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), GC-MS et spectroscopie UV. Selon l'origine des graines de datura étudiées, les valeurs varient entre 1,69 et 2,71 mg/g MB pour l'atropine et 0,36 et 0,69 mg/g MB pour la scopolamine [Friedman, 2004].

Auteur	Année	Alcaloïdes totaux	Graines	
			Hyoscyamine	Scopolamine
Steyn	1934	0,49 %	/	/
Nelson <i>et al.</i>	1982		0,26 %	0,55 %
Dungan <i>et al.</i>	1989		0,27 %	0,07 %
Milradi <i>et al.</i>	2001		0,038 %	0,008 %
Friedman	2004		0,17 à 0,27 %	0,04 à 0,07 %

Tableau 14 : Résumé des teneurs en alcaloïdes des graines de datura selon quelques auteurs (liste non exhaustive).

Les teneurs en alcaloïdes (tableau 14), sont peu variables d'un auteur à l'autre, (mis à part les données de Milradi *et al.*, 2001) ce qui suggère que les variations de toxicité du datura sont faibles. Sa toxicité est à son maximum juste avant que les fruits arrivent à maturité, mais une fois que les pommes sont mûres, elles se dessèchent et s'ouvrent libérant les graines dans le milieu extérieur. Friedman et Levin (1989) ont cependant montré qu'il existe des variations selon l'origine géographique des graines de datura. Elles peuvent présenter des teneurs en alcaloïdes, atropine et scopolamine, variant respectivement de 1,69 à 2,71 mg et 0,36 à 0,69 mg par gramme de MB selon les sites [Friedman et Levin, 1989].

2.3.3. Intoxication

2.3.3.1. Circonstances

Les intoxications chez les animaux sont très rarement dues à l'ingestion de plante fraîche car son odeur est dissuasive. Par contre, la contamination de fourrages, d'ensilage et même de tourteaux est possible et est à l'origine des intoxications observées chez les ruminants, mais aussi chez le porc et chez le cheval.

Chez l'homme, des intoxications ont été décrites après l'infusion de fleurs et de graines de datura. Un article de 1979 décrit, par exemple, les hallucinations survenues chez une personne qui consommait du thé à base de graines de datura tous les jours depuis plusieurs semaines. Ces hallucinations ont persisté longtemps en dépit du traitement symptomatique mis en place à l'hôpital (réhydratation orale ou par voie veineuse, tranquillisation) [Fama, 1979]. On réalise souvent chez l'homme en cas d'intoxication aiguë, un lavage gastrique (car le datura passe très lentement dans le tube digestif) et une administration de charbon activé. Le traitement préconisé pour les animaux est identique. La fumée dégagée par les feuilles est toxique aussi. A faible dose elle provoque des assoupissements. Cette propriété du datura est connue et a été utilisée pendant des siècles, par les voleurs dans les trains par exemple...

2.3.3.2. Signes cliniques et lésions

L'atropine et la scopolamine sont deux esters organiques utilisés en pharmacie comme agents anticholinergiques. Les signes cliniques résultant d'une intoxication par ces molécules sont liés à cette activité sur le système nerveux. Lors d'intoxication, les animaux présentent des crises d'hyperexcitabilité ainsi que des convulsions au cours de phases d'excitation. L'excitation peut être suivie dans les cas les plus sévères d'une phase de dépression. L'animal tombe alors dans le coma et finit par mourir d'asphyxie. Ces signes nerveux sont accompagnés de troubles digestifs (ouverture des sphincters ou constipation accompagnée de ténésme), de signes respiratoires et cardiaques, chez les ruminants.

De l'arthrogrypose, normalement d'origine congénitale, a été mise en évidence chez les porcins, à la suite de la consommation de datura par des femelles gestantes. Ceci a été observé en 1973 dans un élevage de porcs américain. Huit truies gestantes ont montré des signes d'intoxication par le datura entre le deuxième et le troisième mois de gestation. Ensuite, sur les huit portées soit soixante cinq porcelets, 25 étaient atteints d'arthrogrypose, contre aucun dans le lot suivant de truies à avoir mis bas [Leipold *et al.*, 1973]. L'arthrogrypose se caractérise par des articulations déformées, bloquées en flexion, et non fonctionnelles.

2.3.3.3. Dose toxique

De nombreuses expériences ont été menées pour mesurer la dose de datura nécessaire pour faire apparaître des signes cliniques ou la mort. Pour Oladosu et Case (1979), la

consommation de datura à hauteur de 0,06 à 0,09 % du poids vif de l'animal est fatale, chez les bovins. Ce pourcentage correspond à une dose de 300 à 450 g MB de datura frais pour un bovin de 500 kg [Oladosu et Case, 1979].

Le porc serait l'espèce la plus sensible, l'ingestion de 2,2 à 2,7 mg/kg PV par jour de graines de datura suffit à entraîner des signes cliniques. Des mesures expérimentales de la toxicité des graines de datura stramoine, ont été réalisées chez le porc. Les graines étaient mixées dans l'aliment [Worthington *et al.*, 1981].

Auteur	Nombre d'animaux	Dose d'alcaloïdes (mg / kg PV)	Durée expérience (j)	Symptômes
Hesselbarth, 1962	10	1 à 1,5	4	Absents
	10	2 à 3	4	Présents
	1	4 à 6	1	Présents
Behrens & Horn, 1962	Plusieurs	0,53 à 2,2	1	Absents
	1	2,66	1	Présents
	2	1,4	8	Présents
	Plusieurs	0,4 à 0,8	112	Absents
Anon, 1953	/	0,34 à 1,41	42	Absents

Tableau 15 : Résumé des résultats d'expériences mesurant la toxicité des graines de datura chez le porc [d'après Worthington *et al.*, 1981].

La plus faible dose capable d'induire une intoxication serait donc de l'ordre de 1,4 mg d'alcaloïde par kilo de poids vif par jour pendant 8 jours. En dessous de cette valeur, même sur une durée de plusieurs mois, l'ingestion de datura n'a pas entraîné de signes cliniques.

Chez le cheval, Williams et Scott ont rapporté en 1984 deux intoxications (sur un yearling et sur un poney de 10 ans) à la suite de l'ingestion d'un aliment contenant accidentellement 0,5 % de graines de datura (ou 595 graines par kg d'aliment ce qui correspond à une pomme de datura de taille moyenne). Le yearling, de 200 kg environ, avait mangé 3 kg/j de cet aliment, soit 15 g de graines par jour pendant dix jours. Dans ces conditions, la quantité de graines de datura nécessaire pour induire des signes cliniques a été de 75 mg/kg sur une période de dix jours. Ces animaux ont présenté des signes nerveux,

digestifs et généraux tels que de l'abattement et de l'hyperthermie. Leur état s'est amélioré après quelques jours de traitement symptomatique [William et Scott, 1984].

Une expérience a été menée au Soudan sur des chèvres et des moutons. Les animaux ont été séparés en plusieurs groupes et ont reçu par sondage gastrique des pommes ou des feuilles de datura broyées, en suspension dans de l'eau, en plus de leur ration journalière.

Les animaux ont reçu les traitements suivants :

- i. 10 g/kg PV/j de fruits de datura broyés en suspension dans l'eau,
- ii. 2,5 g/kg PV/j du même mélange,
- iii. 10 g/kg PV/j de feuilles de datura broyées en suspension dans l'eau,
- iv. 1 g/kg PV/j du même mélange,

	Age (mois)	Régime	Apport total de datura (kg)	Apparition des signes (j)	Mortalité (j)
Caprins	3,5	10 g/kg/j feuille	3,4	2	33
	7	10 g/kg/j feuille	17,2	86	abattus*
	7	10 g/kg/j fruit	5,3	30	42
	6,5	2,5 g/kg/j fruit	3,5	70	abattus**
Ovins	11	10 g/kg/j fruit	9,7	4	38
	10	10 g/kg/j feuille	3,9	3	17
	11	1 g/kg/j feuille	1,4	40	50 (abattus)

Tableau 16 : Effets cliniques du *Datura stramonium* L. sur les chèvres et les moutons [d'après El Dirdiri *et al.*, 1981].

Mortalité (j) : Délai moyen avant la mort pour les individus du lot

Abattus * et ** : aucune mortalité au-delà de respectivement 100 et 130 jours, les animaux ont été abattus pour réaliser des autopsies.

Les résultats du tableau 16 montrent, d'une part que les moutons sont beaucoup plus sensibles que les chèvres et, d'autre part, que les animaux jeunes sont plus sensibles. Pour les chevreaux de trois mois et demi consommant 10g/kg/j de feuilles, les signes cliniques sont apparus en deux jours, alors que des adultes (sept mois) soumis au même traitement ont commencé à montrer des signes d'intoxication au bout de trois mois.

Pour les moutons, la consommation de 10 kg de fruits *in toto*, étalée sur un mois, soit environ 300 g par jour est létale, les signes cliniques sont apparus au bout d'une semaine [El Dirdiri *et al.*, 1981].

Une autre expérience a été menée en 1982 pour mesurer les conséquences de l'ingestion de graines de datura sur 9 génisses. Les graines utilisées contenaient en moyenne 0,26% d'hyoscyamine (dérivé de l'atropine) et 0,05% d'hyoscine (dérivé de la scopolamine). Les génisses ont été réparties en 4 groupes dont un lot contrôle, un lot a reçu 8,8 graines ; un autre 881 graines et le dernier 4408 graines de datura par kilo d'aliment. L'expérience a duré quatorze jours. Seules les génisses du dernier lot ont montré des signes d'anorexie dès le 2^{ème} jour, suivis d'autres signes cliniques. Ces derniers n'ont jamais été assez marqués pour pouvoir considérer que les fonctions vitales étaient atteintes. On ignore combien de temps les génisses auraient résisté à ce régime. Les génisses des trois premiers lots ont consommé la totalité de leur ration (soit 3 % du poids vif) pendant toute la durée de l'expérience.

Cette étude montre que les doses toxiques minimales pour les bovins sont d'environ 2,49 mg/kg PV pour l'hyoscyamine et 1,5 mg/kg PV pour l'hyoscine ; c'est-à-dire environ 107 graines de datura/kg PV. Dans cette étude le poids moyen d'une graine étant de 6,8 mg, la dose toxique minimale en graines est de 0,07 % PV, chez les bovins [Nelson *et al.*, 1982].

La même expérience entreprise avec des rats a montré, qu'à partir d'un certain taux de graines dans l'alimentation, à savoir 5 %, on pouvait observer des retards de croissance, de l'anorexie mais pas d'autres signes cliniques même avec une distribution maintenue pendant 90 jours [Dugan *et al.*, 1989].

2.3.3.4. Les cas d'intoxication rapportés dans la littérature

Les cas d'intoxications au datura, comme pour la mercuriale, sont décrits depuis plus d'un siècle dans la littérature française. En 1901, un vétérinaire de l'Isère rapportait l'intoxication de six vaches, un taureau et une génisse de dix huit mois par du *Datura ferox*, espèce très proche du *Datura stramonium* L. Le datura avait été fauché et utilisé comme litière pour ces vaches. Seule une génisse est morte de l'intoxication, après avoir présenté des symptômes nerveux : tremblements musculaires, incoordination motrice, perte de la sensibilité cutanée, mydriase et amaurose, et des signes généraux : arrêt de la rumination, diarrhée, difficultés respiratoires...Après trois jours, la génisse est tombée dans le coma et a succombé. Les autres animaux ont présenté les mêmes signes nerveux atténués au début, mais leur état s'est amélioré en deux jours. Cet exemple prouve que la réticence naturelle des ruminants face à l'odeur du datura est annulée quand celui-ci est desséché, alors que sa toxicité ne l'est pas [Poligant, 1901].

Un vétérinaire a relaté en 1905 l'intoxication de deux chevaux fugueurs par du datura. Les symptômes de l'intoxication étaient principalement une dilatation pupillaire, des déplacements hésitants et difficiles, une sécheresse de la bouche, de la diarrhée et de la tachycardie. Ces symptômes sont très proches de ceux observés chez les ruminants. Les deux chevaux ont guéri après huit jours d'un traitement qui consistait en l'administration de 250 g de permanganate de potassium à 0,1 %. On peut remarquer que l'intoxication a été la conséquence d'une seule prise alimentaire de datura et que les symptômes sont apparus en moins de vingt quatre heures [Sullivan, 1905].

On a rapporté en 1927 dans l'Indiana l'intoxication mortelle de douze bovins et deux chèvres présentant peu avant leur mort une dilatation des pupilles, des signes de paralysie des quatre membres et des troubles digestifs comme de la diarrhée, vraisemblablement due à l'ingestion de *Datura stramonium* [Hansen, 1927].

Sept jours après un changement d'alimentation, un poney est mort dans un élevage et beaucoup d'autres sont tombés malades. Le nouvel aliment a vite été retiré par mesure de sécurité. Cet aliment était un complément alimentaire composé de céréales concassées. Néanmoins, six poneys sont morts quatre jours après le retrait de l'aliment suspect et deux autres six jours après. En tout, quinze animaux sont tombés malades et onze ont succombé. Le tableau clinique a été dominé par des troubles nerveux : hyperexcitabilité au début et mydriase, puis incoordination motrice, spasmes musculaires. Les animaux sont tombés dans le coma avant de mourir ou d'être abattus. L'examen rapproché de l'aliment a révélé la présence de nombreuses graines de datura stramonium [Barney et Wilson, 1963].

En 1971, un cas d'intoxication d'une vache a été rapporté en Inde. La vache était normale à la traite du matin, puis a montré dans la matinée des signes d'excitation puis d'hyperactivité en milieu de journée. Elle a présenté des crises d'excitation avec des tremblements et des périodes de convulsions, dont la fréquence a augmenté régulièrement, puis elle est tombée dans un état dépressif qui a lentement évolué vers le coma puis la mort sans que le traitement symptomatique mis en place n'y change quoi que ce soit. L'évolution de l'intoxication a duré une journée. La consommation de datura a vraisemblablement eu lieu au pré [Singh et Singh, 1971].

En 1983, un autre cas d'intoxication massive d'un troupeau en Tchécoslovaquie a été décrit. Dans un troupeau de cinq cent dix vaches nourries avec du maïs contaminé par du datura, quarante quatre sont mortes à la suite de l'intoxication et vingt deux ont été abattues. Les signes cliniques étaient évocateurs d'un principe actif parasympholytique : dilatation des pupilles, troubles digestifs et cardiaques [Ofukany *et al.*, 1983].

En 1991, en Argentine, une vache d'un troupeau de quinze Holstein argentines, est morte à la suite de symptômes caractéristiques d'une intoxication par des alcaloïdes parasympholytiques. Le rumen était rempli de feuilles et de tiges de datura, mais pas de fruits. L'auteur a estimé que pour un bovin de 500 kg, 15 kg de feuilles et de tiges de datura avait été nécessaires pour observer des symptômes [Renner, 1991].

Le tableau 17 présente un résumé de ces données bibliographiques.

Tableau 17 : Résumé des données bibliographiques sur les intoxications par le *Datura stramonium*

Auteur	Année	Lieu	Animaux		Incidence (%)		Intoxication - remarques
			Espèce	Age - Poids	Morbidité	Mortalité	
Poligant	1901	France	BV	variable	NS	12	6 vaches adultes, 1 taureau et 1 génisse de 18 mois, <i>Datura ferox</i> L.
Sullivan	1905	Angleterre	CV	NS	100	0	
Hansen	1927	Etats-Unis	BV CP	NS	NS	NS	Intox. 12 BV et 2 CP
Barney et Wilson	1963	Etats-Unis	CV	NS	100	73	Aliment contaminé par des graines de <i>Datura stramonium</i> L.
Singh et Singh	1971	Inde	BV	Vache adulte	NS	100	
Ofukani <i>et al.</i>	1983	Tchécoslovaquie	BV	NS	NS	NS	66 animaux morts parmi 510
Williams et Scott	1984	Nouvelle Zélande	CV	1,5 et 10 ans	100	0	Aliment contaminé par des graines de <i>Datura stramonium</i> L.
Renner	1991	Argentine	BV	Vaches adultes	NS	NS	1 vache morte - <i>Datura ferox</i> L.

Morbidité : nombre d'animaux malades sur l'effectif du troupeau - Mortalité : nombre d'animaux morts parmi les malades – NS : non signalé

Les conséquences de l'intoxication par le datura sont directement liées à la quantité de plante ingérée. Les cas d'intoxications décrits dans la littérature sont toujours liés à un aliment accidentellement contaminé ou à du datura déshydraté. Ces plantes étant de taille et de masse importante, le nombre de pieds de datura colonisant un champ cultivé n'a pas besoin d'être très élevé pour avoir des conséquences. Les intoxications sont aussi graves chez les ruminants que chez les monogastriques.



Illustrations of the British Flora – www.zum.de/stueber/fitch/index.html - consultée le 24/03/07

2.4. La morelle noire

2.4.1. Description

La morelle noire, *Solanum nigrum* L., est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Solanacées.

2.4.1.1. Morphologie

Elle mesure jusqu'à 60 cm de haut. Sa tige ramifiée porte des feuilles ovales, lancéolées, de couleur vert sombre et des fleurs groupées en corymbe. Les fleurs sont petites, leur corolle blanche est en forme d'étoile, elles ont un calice à cinq sépales soudés, et cinq étamines à anthères jaunes orangées, volumineuses, groupées au centre. Le fruit est une petite baie sphérique verte, puis noire à maturité [Blamey et Grey-Wilson, 1991].

2.4.1.2. Localisation, biotope

Cette « mauvaise herbe » est très commune dans les cultures, notamment dans les champs de maïs fourrager, dans les friches et sur le bord des chemins. L'aire de répartition de la morelle noire ressemble à celle du datura. Elle pousse dans des régions tempérées et chaudes, elle est abondante dans le sud de l'Europe, l'Afrique du Sud et l'Amérique latine.

2.4.1.3. Biologie (croissance, multiplication)

La fructification a lieu au début de l'automne. Comme l'amarante, elle possède un important pouvoir de multiplication. De plus, elle est relativement résistante aux herbicides utilisés dans les cultures de maïs fourrager au sein desquelles, dans les régions du sud de la France, elle a pris une importance considérable dans les années 1970.

2.4.2. Toxicité

2.4.2.1. Nature des principes toxiques

Le seul principe toxique de la morelle noire sur lequel tous les auteurs s'accordent est la présence de solanine, un glucoalcaloïde toxique [Wellet et Phipps, 1979]. La morelle noire contient aussi des hétérosides, dont le plus important est la solasodine, et des traces d'alcaloïdes à action mydriatiques non identifiés. Pour Reinhold (1981), elle contiendrait en plus des sapogénines.

2.4.2.2. Localisation dans la plante

Toute la plante est toxique, sauf les fruits à maturité. La solanine est présente dans l'ensemble de l'appareil végétatif, mais majoritairement dans les baies immatures. La solasodine est présente dans les baies vertes, mais également dans les tiges [El Bahri, 1981b].

2.4.2.3. Quantité

Les quantités de sapogénine et d'hétérosides (comme la solasodine) ont été mesurées après extraction en 1980 par Reinhold sur cinquante cinq pieds de morelle noire, et sur des pieds issus de trente deux autres espèces du genre *Solanum*. Les résultats sont présentés dans le tableau 18 [Reinhold, 1981]. On peut regretter que la solanine n'ait pas été dosée dans cette expérience.

	Sapogénines		Hétéroside
	Diosgénine	Tigogénine	Solasodine
Feuilles	-	1,28	-
Baies vertes	0,19	0,15	0,68

Tableau 18 : Quantité de sapogénines et d'hétérosides contenus dans les baies vertes et les feuilles de morelle noire (en % MS) [d'après Reinhold, 1981].

2.4.2.4. Facteurs de variations

La teneur de ces différents principes actifs dans la plante est extrêmement variable en fonction du stade végétatif, des conditions climatiques, de la saison, de la qualité du terrain (de la région). Il est donc difficile de fixer des doses toxiques, mais cette toxicité est à son maximum quand la plante est couverte de fruits verts. En moyenne les alcaloïdes représentent 1,3 % MS de ces derniers.

La production de solasodine est saisonnière. Du fait qu'elle n'est présente que dans les fleurs et les baies vertes, on peut supposer qu'elle est synthétisée dans les ovaires [Reinhold, 1981].

2.4.3. Intoxication

2.4.3.1. Circonstances

La morelle noire est ingérée sèche (elle conserve sa toxicité) ou dans l'ensilage, rarement fraîche car son odeur est dissuasive. Des cas d'intoxication ont été rapportés dans toutes les espèces animales. De nombreuses intoxications sont décrites chez l'homme, généralement à la suite de l'ingestion de baies vertes. La quantité de principes toxiques contenus dans les baies diminue avec le temps, les baies noires ne sont plus dangereuses, elles sont fréquemment consommées par les enfants sans conséquence.

Des chercheurs ont déjà soulevé le problème des risques de contamination de l'ensilage par de la morelle noire. Leurs conclusions sont que les principes toxiques, comme cela a déjà été montré pour les fanes de pommes de terre, pourrait être en partie neutralisés par l'acidité de l'ensilage, ce qui autoriserait une consommation importante d'ensilage contaminé [Jean Blain, 1979b]. Les limites sont fixées à 20 kg/j pour de l'ensilage contenant 10 % de morelle noire, et 10 kg/j pour de l'ensilage contenant 20 % de morelle noire. On ignore sur quelles données se fondent ces estimations et on ne dispose d'aucune étude montrant que les principes toxiques se comportent de la même manière dans les baies de morelle noire que dans les fanes de pomme de terre. Il faudrait en plus limiter l'utilisation de cet ensilage aux bovins à l'engraissement et alterner avec un ensilage de bonne qualité tous les quinze jours. Ces conclusions sont hypothétiques et dépendent bien sûr de la quantité de principes toxiques contenue dans la morelle noire au moment de la récolte.

2.4.3.2. Signes cliniques et lésions

Chez les animaux intoxiqués par la morelle noire, on observe une mydriase, des troubles intestinaux sévères, de la prostration et une accélération cardiaque et respiratoire. Ces signes sont en partie dus à la solanine qui provoque une hémolyse et qui agit sur le système nerveux autonome, d'où les troubles digestifs et les troubles nerveux.

2.4.3.3. Dose toxique

Le CNITV de Lyon a constaté sur les années 1990 à 1992, treize cas d'intoxication par la morelle noire dont un mortel. Il semblerait qu'il faille entre 3 et 25 g de solanine dans 100 kg de fourrage pour provoquer des troubles chez les vaches laitières [Bruneton, 2001]. Jean Blain (1979b) fixe la limite de consommation d'un ensilage contaminé à 10 % par de la morelle noire à 20 kg MB par jour, soit 2 kg MB de morelle noire par jour et par bovin.

2.4.3.4. Cas d'intoxication rapporté dans la littérature

Des intoxications ont été rapportées en 1943 par un vétérinaire anglais, sur des chèvres qui ont présenté des troubles digestifs sévères avec des vomissements. Les trois chèvres intoxiquées ont pu être sauvées en partie grâce à l'utilisation de vomitifs et par des sondages gastriques évitant que l'absorption des substances toxiques ne soit complète. Le contenu stomacal a permis de confirmer l'ingestion de morelle noire [Gunning, 1949]. L'auteur fait cependant remarquer que la morelle noire est une plante toxique particulière car la quantité de solanine est tellement variable d'un pied à l'autre (selon le terrain, le stade végétatif, le climat...) que cette plante est considérée comme parfaitement inoffensive dans certaines régions du monde, et comme hautement toxique pour le bétail mais aussi les enfants et les volailles, dans d'autres régions.

Ces variations compliquent le diagnostic et expliquent peut-être que les intoxications soient rarement diagnostiquées et très peu décrites dans la littérature.

Les données relatives aux intoxications alimentaires des bovins par la morelle noire sont très rares, pour ne pas dire absentes. Tous les livres de toxicologie végétale admettent que le risque de contamination des ensilages par la morelle noire est réel mais aucun ne donne de précisions sur l'origine de cette idée, ni sur les données utilisées pour quantifier ce risque.

Partie 3 : Résultats

Etude pratique et estimation des seuils limites de contamination des champs de maïs

3.1. Objectifs- Nécessité d'une étude pratique

L'étude des cas d'intoxications décrits dans la littérature nous a permis de faire un « état des lieux » des connaissances actuelles sur l'amarante réfléchie, la mercuriale annuelle, le datura stramoine et la morelle noire. La toxicité de ces plantes a été étudiée de façon plus ou moins complète. Dans certains cas, on connaît les principes actifs toxiques et leurs concentrations moyennes dans la plante. Dans d'autres cas, ces principes actifs n'ont pas été identifiés, mais on connaît la quantité de plante à ingérer pour causer une intoxication.

L'objectif de cette thèse est d'essayer de relier les données du terrain (« j'ai ensilé du datura ») à un risque toxique pour les animaux (« est-ce dangereux ? »). On va essayer de définir pour chacune de ces plantes, un nombre de plantes toxiques par unité de surface susceptible d'avoir des répercussions sur la santé des animaux.

Cependant, pour établir un rapport entre le nombre de plantes dans un champ et la contamination de l'ensilage de maïs, il manque des données essentielles sur la relation entre la taille de ces plantes toxiques et leur masse. Notre contribution a consisté en un ramassage de pieds de plantes toxiques dans la région toulousaine. Ces pieds ont été identifiés, mesurés, pesés et déshydratés. L'objectif était d'établir une base de données avec la masse, la taille et la teneur en matière sèche des pieds des différentes plantes toxiques incriminées dans la contamination de l'ensilage de maïs.

3.2. Etude pratique

3.2.1. Protocole expérimental

3.2.1.1. Ramassage des plantes, premières observations

Ces plantes ont été cueillies dans des champs de la région Toulousaine, sélectionnés au hasard, jusqu'à une trentaine de kilomètres de Toulouse. Ces champs ont été précisément

annotés : ville la plus proche, route la plus proche, culture ou jachère, stade de récolte et un numéro leur a été attribué. La date de récolte et les conditions climatiques ont aussi été notées.

Les pieds récoltés ont été coupés à l'aide d'un sécateur à 10 cm du sol, hauteur à laquelle ils seraient coupés pour être ensilés. Ils ont été numérotés, étiquetés avec trois chiffres correspondants :

* au champ

* à l'espèce : **1** Datura, **2** Morelle noire, **3** Amarante, **4** Mercuriale.

* au numéro d'ordre, on s'est limité à neuf plantes de la même espèce par champ.

On a mesuré la hauteur du pied (« taille ») et son envergure à un centimètre près. L'envergure correspond au diamètre d'un cercle qui serait assez large pour contenir toute la plante. Dans le cas du Datura, on a compté le nombre de pommes épineuses de diamètre supérieur à 2 cm présentes sur le pied. Pour la morelle, on a noté le stade reproductif de la plante à savoir : présence de fleurs, de baies vertes, de baies noires (matures). Dans certains cas, la coupe à 10 cm du sol a fait que plusieurs branches d'un même pied ont été séparées, on les a alors rassemblées avec du sparadrap pour les étiqueter avec le même numéro.

Les plantes ont été récoltées entre le 7 et le 22 octobre 2003, date à laquelle les premières gelées sont arrivées. On a supposé que le gel était susceptible de faire tomber les fruits, de faire brûler les feuilles... La récolte a donc été arrêtée pour éviter de fausser les mesures.

3.2.1.2. Enregistrement et traitement des échantillons bruts

Cent sept échantillons ont été collectés. Les résultats de toutes les mesures effectuées sont consignés dans un tableau à dix colonnes. Le tableau complet figure en annexe 1.

Les différentes plantes ramenées au laboratoire ont été pesées une par une, au gramme près. On a donc obtenu une première valeur « x » du poids en matière brute de la plante entière coupée à 10 cm du sol. Cette mesure a été faite dans les deux heures suivant la coupe du pied pour éviter qu'il ne soit desséché.

Pour connaître le pourcentage de matière sèche de la plante, on a sélectionné une fraction de l'échantillon dont on a mesuré la masse « y » en matière brute, puis la masse « y' » en matière sèche après trois jours à l'étuve à 60° C.

Cette fraction correspond à :

- pour le datura : dix feuilles sélectionnées au hasard sur le pied, de taille moyenne, et 10 cm de tiges coupés à un endroit où la tige mesure environ 1 cm de diamètre.
- pour la morelle noire, l'amarante et la mercuriale : un rameau d'une quinzaine de centimètres comportant des feuilles, des fleurs et des fruits.

Les échantillons déshydratés ont été conservés et étiquetés, ainsi que la pomme non véreuse la plus haute de chaque pied de datura, pour pouvoir procéder éventuellement à d'autres études.

Indépendamment du ramassage des plantes, on a récolté des pommes de datura à maturité, non véreuses, dans plusieurs champs, pour compter le nombre de graines qu'elles contenaient.

3.2.2. Résultats

L'ensemble des résultats bruts et des mesures effectuées sont présentés en Annexe 1. Les cent sept échantillons sont répartis en vingt sept pieds d'amarante, quinze de mercuriale, trente cinq de datura et vingt sept de morelle noire (figure 3).

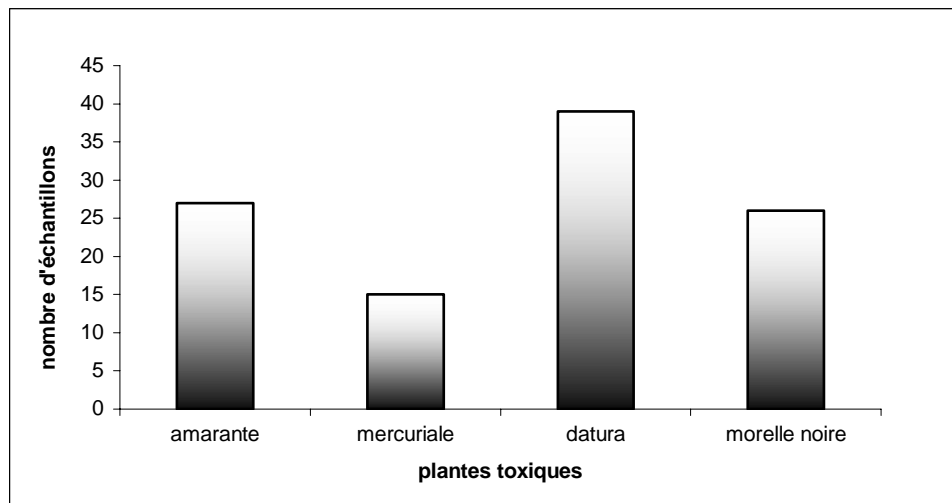


Figure 3 : Répartition par espèce des échantillons récoltés.

3.2.2.1. L'amarante

Les vingt sept pieds d'amarante récoltés mesurent entre 20 et 104 cm et 60 % d'entre eux mesurent entre 50 et 70 centimètres.

Les échantillons sont répartis selon l'histogramme présenté à la figure 4.

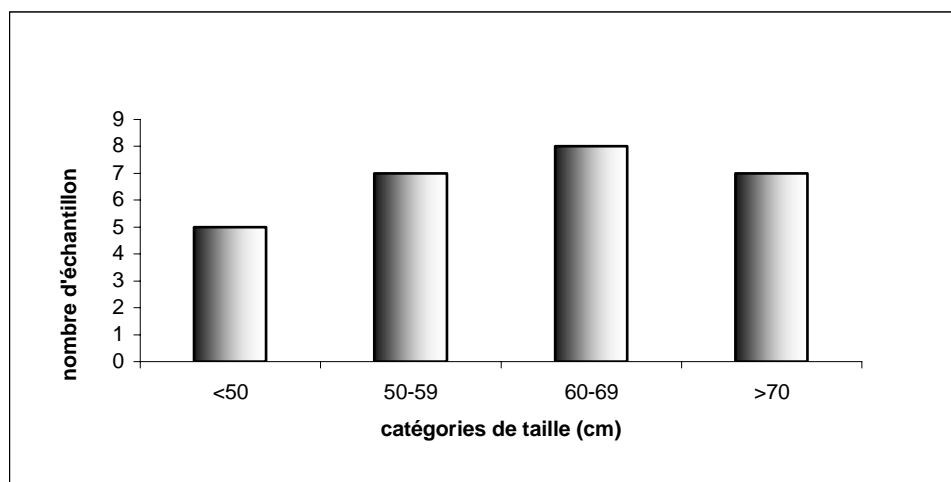


Figure 4 : Répartition des échantillons d'amarante en fonction de leur taille.

On peut tracer un graphique en répartissant les échantillons d'amarante en fonction de leur taille et de leur masse (figure 5). La corrélation entre la taille des pieds d'amarante et leur masse est faible, la courbe de régression linéaire de ce graphique a un coefficient de détermination R^2 égal à 0,4 ($p < 0,01$).

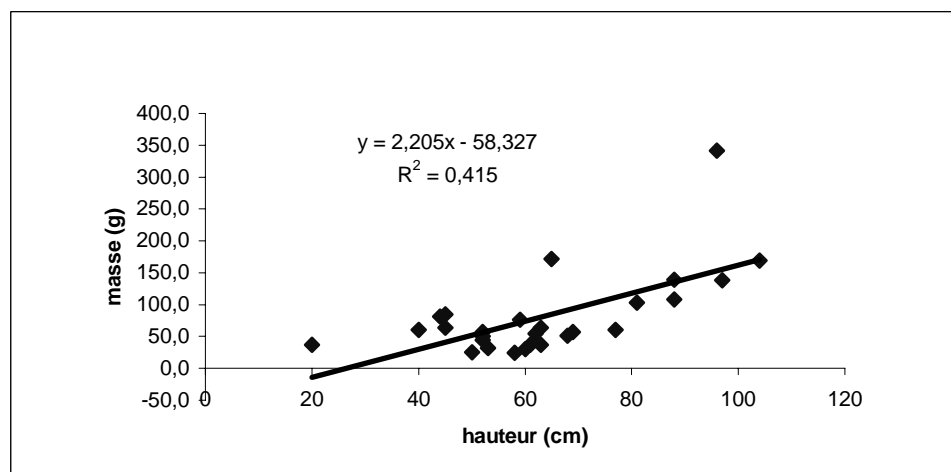


Figure 5 : Corrélation entre la taille (en cm) et la masse (en g) des échantillons d'amarante réfléchies.

La masse moyenne des pieds d'amarante est de 81g pour une taille moyenne de 63 cm. Le tableau 19 donne la masse moyenne des pieds d'amarante selon la catégorie de taille à laquelle ils appartiennent.

Catégorie (cm)	Effectif	Masse (g)		
		Maximum	Minimum	Moyenne
< 50	5	84,6	37,0	65,4 ± 19
50-59	7	76,2	24,7	44,3 ± 19
60-69	8	171,4	30,7	63,0 ± 45
> 70	7	341,6	40,6	151,4 ± 91

Tableau 19 : Masse des pieds d'amarante réfléchi de notre échantillon, selon leur taille.

Les teneurs en matière sèche mesurées vont de 18 à 50 %, ce qui représente une amplitude assez large. La moyenne calculée sur vingt cinq échantillons (on exclue les 2 extrêmes), est de $32,8 \pm 10$ %.

3.2.2.2. Mercuriale

Les quinze pieds de mercuriale ramassés mesurent entre 30 et 52 cm avec une moyenne de 38,9 cm (figure 6). Un tiers d'entre eux sont des pieds mâles, les autres sont des pieds femelles.

La masse moyenne est de 56,8 g, les masses sont réparties de 14 à 114 g.

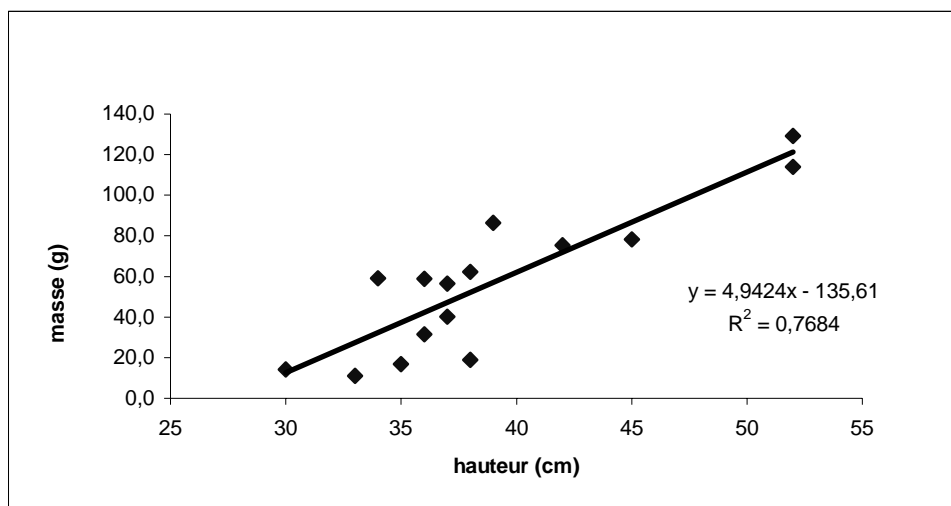


Figure 6 : Corrélation entre la taille (en cm) et la masse (en g) des échantillons de mercuriale.

La figure 6 montre qu'il existe une corrélation entre la taille et la hauteur des pieds de mercuriale, $R^2 = 0,76$ ($p < 0,01$). Cette corrélation signifie que l'on peut calculer la masse

d'un pied de mercuriale à partir de sa taille. Les résultats de ce calcul sont présentés dans le tableau 20, pour des pieds de mercuriales allant de 30 à 60 cm de haut.

Taille (cm)	30/40	40/50	50/60
Masse moyenne (g)	37	85	136

Tableau 20 : Masse moyenne calculée des pieds de mercuriale annuelle en fonction de leur taille.

La teneur moyenne en matière sèche des échantillons est de $17,90 \pm 2,67$ %.

3.2.2.3. Datura

Les pieds de datura récoltés sont de taille modérée, 65 % d'entre eux mesurent entre 40 et 70 cm de haut. Leur taille moyenne est de 60 cm. La figure 7 présente la répartition des pieds de datura selon leur hauteur, en neuf catégories.

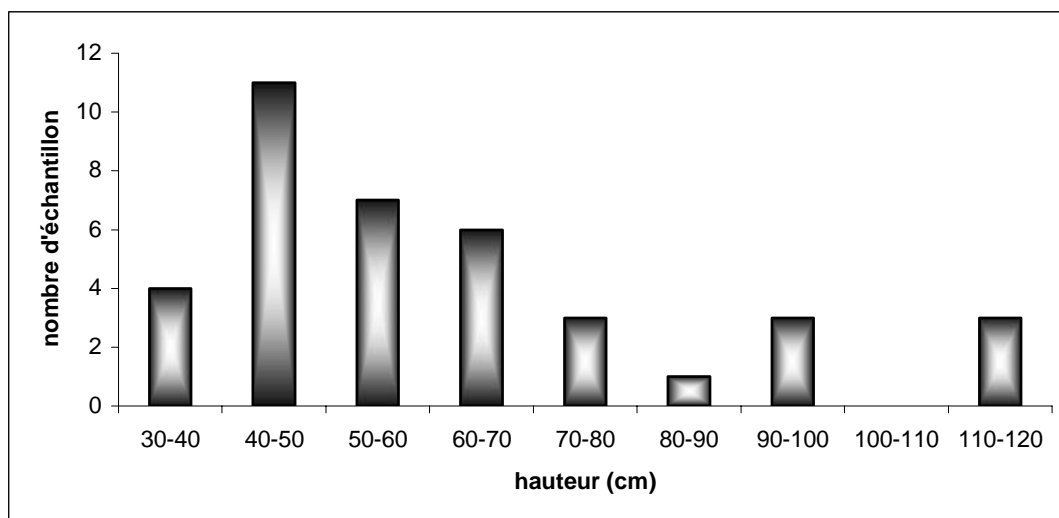


Figure 7 : Répartition des échantillons de datura en fonction de leur taille.

On a cherché à établir s'il existe une corrélation entre les paramètres hauteur, masse et envergure d'un pied de datura. La figure 8 représente la répartition des pieds de datura en fonction de leur taille et de leur masse ; et la figure 9 leur répartition en fonction de leur envergure et de leur masse.

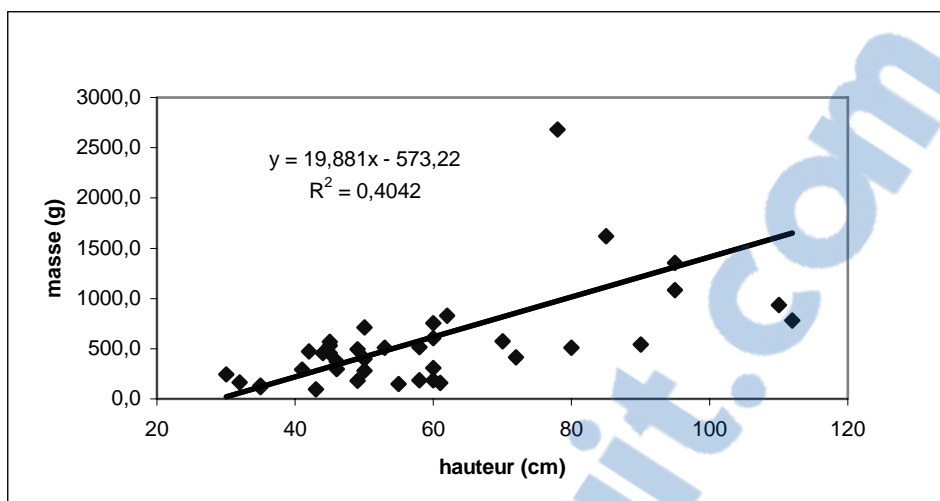


Figure 8: Corrélation entre la taille (en cm) et la masse (en g) des échantillons de datura.

La corrélation entre la taille et la masse est faible, $R^2 = 0,4$ ($p < 0,01$). La droite de régression peut cependant être utilisée pour établir un tableau qui donne la masse moyenne des pieds de datura en fonction de leur taille (Tableau 21).

Taille moyenne (cm)	< 45	45 à 60	60 à 80	> 80
Masse moyenne (g)	320	397	860	1420

Tableau 21 : Masse moyenne calculée des pieds de datura en fonction de leur taille.

Par contre, comme le montre la figure 9, il n'y a aucune corrélation entre l'envergure et la masse des pieds de datura.

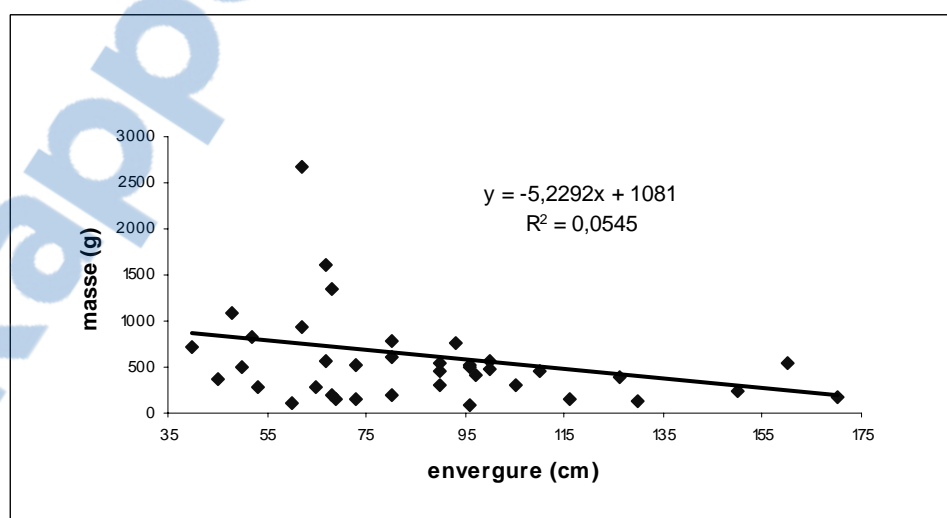


Figure 9 : Corrélation entre l'envergure (en cm) et la masse (en g) des échantillons de datura.

La teneur moyenne en matière sèche des échantillons de datura est de $21,5 \pm 3,8$ %.

3.2.2.4. Morelle noire

Sur les vingt six échantillons de morelle noire collectés, douze présentaient des baies à maturité (46%), mais tous étaient porteurs de fruits verts et de fleurs. La taille moyenne des pieds récoltés était de 40 cm pour une masse de 120 g. La figure 10 représente une description de l'échantillon, selon le stade de développement de l'appareil reproducteur des plantes et la figure 11 illustre la corrélation entre la taille et la masse des pieds de morelle noire.

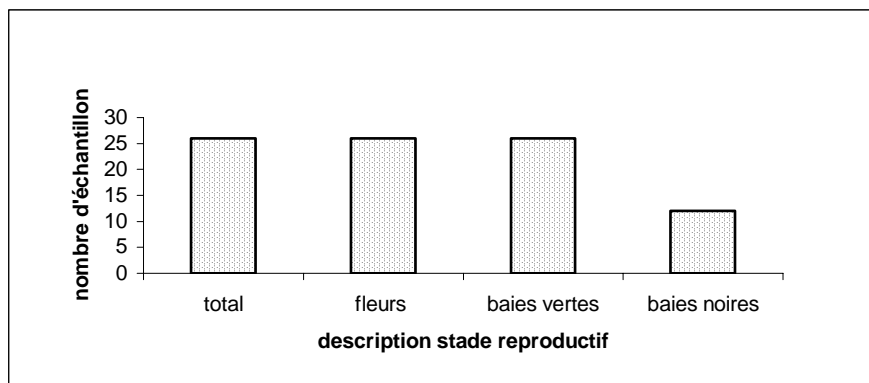


Figure 10 : Description des échantillons de morelle noire suivant le stade de développement de leur appareil reproducteur.

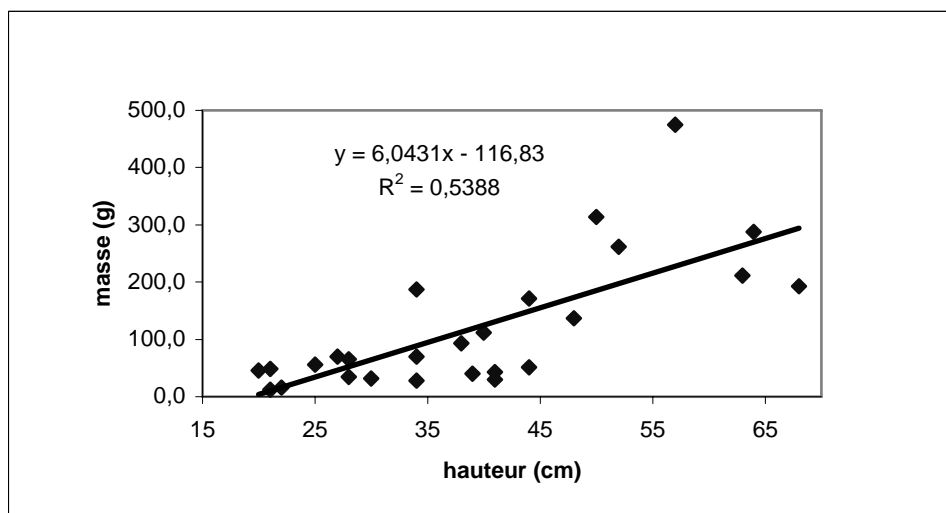


Figure 11 : Corrélation entre la taille (en cm) et la masse (en g) des échantillons de morelle noire.

La corrélation est moyenne, $R^2 = 0,54$ ($p < 0,01$). Le tableau 22 donne, à partir des valeurs mesurées sur les échantillons ramassés, les poids moyens des pieds de morelle noire en fonction de la catégorie de taille à laquelle ils appartiennent.

Catégorie de hauteur (cm)	effectif	poids Maximum (g)	poids Minimum (g)	poids Moyen (g)
20-29	8	70	12	44 ± 21
30-39	6	187	28	75 ± 60
40-49	6	171	30	91 ± 58
50-59	3	475	262	350 ± 111
60-69	3	288	192	230 ± 51

Tableau 22 : Masse moyenne des pieds de morelle noire de l'échantillon en fonction de leur taille.

Dans notre échantillon, les pieds les plus hauts ne sont pas les plus lourds. Cette particularité est vraisemblablement liée aux caractéristiques morphologiques de la morelle noire. Les tiges de cette plante sont très ramifiées. La hauteur ne permet donc pas d'apprécier correctement le volume et la masse des pieds, il faut tenir compte du nombre des tiges et de leur étalement en largeur.

Les échantillons de morelle noire ont une teneur en matière sèche moyenne de $16,9 \pm 2,2\%$.

3.3. Essais de calcul du nombre de plantes toxiques susceptibles de provoquer des troubles sur les bovins consommant l'ensilage de maïs

3.3.1. Amarante

3.3.1.1. Données toxicologiques

La toxicité de l'amarante est liée à la présence d'oxalates et de nitrates. Les oxalates représentent 4,6 % MS de la plante entière [ENVT, 1985] et les nitrates de 0,05 à 0,7 % MS selon les auteurs, cette amplitude est importante. Certains facteurs, comme la croissance sur un sol enrichi en nitrates modifient fortement ces paramètres. Dans le cas pratique qui nous intéresse, l'amarante colonise un champ de maïs fertilisé, nous nous trouvons donc exactement dans ce cas de figure. Hors la teneur en nitrate des pieds d'amarante évoluant dans ces conditions n'a jamais été mesurée. On sait juste qu'elle est vraisemblablement très supérieure aux teneurs habituellement rencontrées.

Les doses toxiques de nitrates et d'oxalates ne sont connues que lors d'intoxications aiguës, elles sont de 0,1 à 0,5 g/kg PV pour les oxalates [Bruneton, 2001] et de 1 g/kg PV pour les nitrates [Davison *et al.*, 1964]

Les doses toxiques nécessaires pour provoquer des intoxications chroniques sont très difficiles à évaluer. Elles dépendent de trop de paramètres comme la sensibilité individuelle des animaux, leurs conditions d'entretien, la teneur en énergie de leur ration... En effet, c'est la dégradation des glucides qui libère les protons nécessaires à la réduction des nitrates en nitrites et des nitrites en ammoniac. Il semblerait que des animaux en bonne santé et nourris avec un aliment riche en énergie (un complément pour vache laitière haute productrice, par exemple) peuvent supporter un aliment contenant jusqu'à 2 % MS de nitrates. A l'inverse, sur un animal un peu sous alimenté, l'ingestion d'un fourrage contenant 0,7 % MS de nitrates peut provoquer la mort [Case, 1957].

Enfin, dans l'amarante les oxalates et les nitrates sont présents mais on ignore les conséquences de cette « double intoxication ».

3.3.1.2. Seuils de contamination de l'ensilage de maïs

Miller et Egyed (1963) considèrent qu'un kg d'amarante (MB) contient 9,8 g de nitrates. Dans ces conditions, 50 kg d'amarante peuvent induire une intoxication aiguë chez les bovins. Ces données ne sont pas extrapolables à une intoxication chronique liée à la consommation d'amarante mélangée à de l'ensilage de maïs.

En ce qui concerne les oxalates, la dose toxique d'amarante varie entre 5 et 25 kg de MB selon les capacités de la flore ruminale à dégrader les oxalates. Cette capacité est très variable d'un individu à l'autre. On ignore dans quelle mesure les oxalates peuvent s'accumuler chez les bovins.

Dans ces conditions, il est difficile de fixer un seuil admissible de colonisation des champs de maïs par l'amarante. Trop d'interrogations persistent après l'étude des données bibliographiques disponibles sur l'amarante. En effet :

- quelle est la teneur en nitrates de l'amarante qui pousse dans un champ de maïs ?
- quels sont les seuils de toxicité chronique des nitrates et des oxalates chez les ruminants ?
- quels sont les effets toxiques de la présence simultanée de nitrates et d'oxalates dans la même plante ?

Enfin, la toxicité des nitrates est un problème complexe, indépendamment du rôle de l'amarante, car il existe d'autres sources de nitrates que les plantes toxiques dans

l'alimentation des bovins et les nitrates ne sont pas toujours stables dans l'ensilage. Ces problèmes méritent d'être détaillés, on y revient dans la discussion.

3.3.2. Mercuriale

3.3.2.1. Données toxicologiques

Les principes toxiques de la mercuriale ne sont pas tous identifiés et ils n'ont pas encore été dosés. La littérature rapporte que la consommation de 10 kg de mercuriale (MB) provoque une intoxication aiguë chez un bovin adulte ; la consommation de 2 kg de MB par jour pendant quatre à six jours provoque aussi une intoxication. Cette information tend à prouver que les principes toxiques de la mercuriale sont capables de s'accumuler dans l'organisme des ruminants [El Bahri, 1981a].

Pour la suite des calculs, on considérera que la consommation de 2 kg MB de mercuriale tous les jours peut provoquer une intoxication chronique. On utilise ce seuil de 2 kg parce que c'est le seul qui figure dans la littérature. Aucune information ne permet de dire si des quantités plus faibles mais répétées tous les jours sont suffisantes pour provoquer des intoxications.

3.3.2.2. Seuils de contamination de l'ensilage de maïs

Pour simplifier les calculs, on estime qu'une vache consomme 25 kg de MB d'ensilage de maïs tous les jours. Cette quantité est un minimum. En effet, comme on le montre dans la première partie, l'ensilage de maïs est souvent utilisé comme principal fourrage pour les vaches en lactation. Sa consommation dans ces conditions varie entre 25 et 45 kg MB par jour, selon la production de lait et la quantité de compléments distribuée à côté.

On considère qu'une vache doit consommer 2 kg de mercuriale par jour, parmi ses 25 kg MB d'ensilage de maïs pour être malade. L'ensilage de maïs doit donc contenir 8 % de mercuriale.

Si on connaît la hauteur des pieds de mercuriale (hauteur mesurée à 10 cm du sol) ; la masse moyenne peut être obtenue grâce au tableau 20. Ces données ne reposant que sur un échantillon de quinze pieds, il est possible aussi de mesurer la masse moyenne des pieds de mercuriale du champ contaminé, afin de s'affranchir des approximations dues à un échantillon trop petit pour être représentatif.

Un éleveur est capable d'estimer à la tonne près, avant la récolte, le rendement de son champ de maïs, en tonnes de matière sèche à l'hectare. Ce maïs une fois ensilé et stable aura une teneur en matière sèche comprise entre 33 et 35 % dans la plupart des cas. On utilise cette teneur en MS parce que les problèmes d'adventices toxiques colonisant les champs de maïs concernent essentiellement les années les plus sèches, ces années là, la teneur en MS de l'ensilage est de l'ordre de 35 % alors qu'elle peut descendre à 28 -30 % les autres années.

Le rendement de l'ensilage et sa teneur en matière sèche permettent de calculer un rendement en matière brute. On calcule alors la masse de mercuriale nécessaire, par hectare de maïs, pour obtenir un ensilage contenant 8 % de mercuriale. Cette masse globale est convertie en nombre de pieds de mercuriale, selon la masse moyenne des pieds. Le tableau 23 permet de convertir le seuil toxique de 2 kg/ j de MB de mercuriale mélangée à l'ensilage de maïs en un nombre de pieds de mercuriale au mètre carré.

Pour utiliser ce tableau il faut donc avoir une idée du rendement du champ de maïs, de la teneur en matière sèche de l'ensilage, et de la taille ou la masse moyenne des pieds de mercuriale.

		Rendement ensilage maïs (t MS/ha)							
		8		10		12		15	
	% MS	33	35	33	35	33	35	33	35
	rend t MB / ha	24,2	22,9	30,3	28,6	36,4	34,3	45,5	42,9
	kg mercuriale	1940	1830	2420	2290	2910	2740	3640	3430
Taille des plants de mercuriale	30/40cm	5,2	4,9	6,5	6,2	7,9	7,4	9,8	9,3
	40/50cm	2,3	2,2	2,8	2,7	3,4	3,2	4,3	4,0
	50/60cm	1,4	1,3	1,8	1,7	2,1	2,0	2,7	2,5
Masse moyenne des plants de mercuriale	50	3,9	3,7	4,8	4,6	5,8	5,5	7,3	6,9
	75	2,6	2,4	3,2	3,1	3,9	3,7	4,9	4,6
	100	1,9	1,8	2,4	2,3	2,9	2,7	3,6	3,4
	125	1,6	1,5	1,9	1,8	2,3	2,2	2,9	2,7
	150	1,3	1,2	1,6	1,5	1,9	1,8	2,4	2,3
	200	1,0	0,9	1,2	1,1	1,5	1,4	1,8	1,7
	300	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	0,9	1,2	1,1

Tableau 23 : Estimation du nombre de pieds de mercuriale au mètre carré susceptible de provoquer une intoxication chronique chez les bovins, selon le rendement de l'ensilage de maïs, son taux de MS, et la taille ou la masse des pieds de mercuriale.

Par exemple, le tableau montre que pour un ensilage à 12 t MS/ha et des pieds de mercuriale de 150 g en moyenne, il faut presque deux pieds de mercuriale au mètre carré pour atteindre la dose toxique de 2 kg MB/j/BV.

3.3.3. Datura

3.3.3.1. Données toxicologiques

La dose nécessaire de datura pour provoquer une intoxication aiguë chez les bovins est de l'ordre de 0,06 à 0,09 % PV ; ce qui correspond à une dose de 300 à 450 g MB pour un bovin de 500 kg [Oladosu et Case, 1979].

Les graines de datura ont beaucoup été étudiées isolément. La dose toxique est de 107 graines /kg PV [Nelson *et al.*, 1982] ; ce qui correspond à environ 50 000 graines pour un bovin de 500 kg, soient le contenu de plus de quatre vingt pommes épineuses par bovin.

Une expérience, menée sur des génisses, a montré que pour les graines de datura, le seuil toxique était de 0,07 % PV. En dessous de ce seuil, la consommation de graines n'a pas eu de conséquences sur la santé des animaux même après une consommation prolongée dans le temps [Nelson *et al.*, 1982]. Les principes toxiques étant les mêmes dans les graines que dans le reste de la plante et la dose toxique étant à peu près équivalente (\approx 0,06 à 0,09 % PV) ; on peut supposer qu'il n'y aurait pas de conséquences cliniques pour une consommation inférieure à 300 g MB de plante entière par jour, même si ce régime est appliqué sur une période prolongée.

A faible dose, les principes toxiques sont peut être éliminés sans conséquences et ils ne semblent pas être capables de s'accumuler.

3.3.3.2. Seuils de contamination de l'ensilage de maïs

Si on suppose qu'un bovin consomme 25 kg MB d'ensilage de maïs par jour, le bovin doit consommer de l'ensilage contenant en moyenne 1,2 % de datura pour atteindre le seuil de toxicité de 300 g MB de datura par jour.

A partir de ce seuil de contamination de 1,2 %, grâce à des calculs identiques à ceux qui sont décrits pour la mercuriale, on peut définir un nombre de pieds de datura par mètre carré

en fonction du rendement en matière sèche du maïs, de son taux de matière sèche et de la taille des pieds de datura (tableau 24).

		Rendement de l'ensilage (t MS/ha)							
		8		10		12		15	
	% MS	33	35	33	35	33	35	33	35
	Rend. t MB / ha	24,2	22,9	30,3	28,6	36,4	34,3	45,5	42,9
	kg datura / ha	290,4	274,8	363,6	343,2	436,8	411,6	546	514,8
Taille des plants de datura (cm)	<45	0,09	0,09	0,11	0,11	0,14	0,13	0,17	0,16
	45-60	0,07	0,07	0,09	0,09	0,11	0,10	0,14	0,13
	60-80	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
	>80	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Masse moyenne des plants de datura (kg)	0,4	0,07	0,07	0,09	0,09	0,11	0,10	0,14	0,13
	0,6	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09	0,09
	0,8	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06
	1	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
	1,2	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04
	1,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03
	1,7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
	2	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03

Tableau 24 : Estimation du nombre de pieds de datura au mètre carré susceptible de provoquer une intoxication chronique chez les bovins, selon le rendement de l'ensilage de maïs, son taux de MS, et la taille ou la masse des pieds de datura.

Par exemple, pour un ensilage ayant un rendement de 12 t MS/ha, avec des plants de datura pesant 1 kg en moyenne ; il faut un pied de datura par 25 m² de champ pour risquer d'intoxiquer un bovin.

3.3.4. Morelle noire

3.3.4.1. Données toxicologiques

Les informations dont on dispose sur la dose minimale de morelle noire nécessaire pour provoquer une intoxication sont incomplètes. D'après Jean Blain, 2 kg de morelle noire par jour et par bovin ne provoquerait pas de troubles [Jean Blain, 1979b]. Cependant on ne sait

pas sur quelles bases repose cette affirmation. Etant donné qu'on ne dispose pas d'autres informations, on a utilisé cette dose pour établir les seuils de contamination de l'ensilage.

3.3.4.2. Seuils de contamination de l'ensilage de maïs

Les calculs sont réalisés selon la même méthode que pour la mercuriale et le datura. On suppose qu'un bovin consomme 25 kg MB/j d'ensilage de maïs. Pour atteindre la dose toxique de 2 kg MB de morelle noire, cet ensilage doit être contaminé à 8 % par la morelle noire. A partir de ce seuil, on peut établir un tableau estimant le nombre nécessaire de pieds de morelle noire par mètre carré, en fonction du rendement de l'ensilage de maïs et de la masse des pieds de morelle noire pour provoquer une intoxication (tableau 25).

		Rendement de l'ensilage (t MS/ha)							
		8		10		12		15	
% MS		33	35	33	35	33	35	33	35
Rend. t MB / ha		24,2	22,9	30,3	28,6	36,4	34,3	45,5	42,9
t morelle / ha		1,94	1,83	2,42	2,29	2,91	2,74	3,64	3,43
Taille des plants de morelle noire (cm)	20-29	4,4	4,2	5,6	5,3	6,7	6,3	8,4	7,9
	30-39	2,6	2,4	3,2	3,1	3,9	3,7	4,9	4,6
	40-49	2,1	2,0	2,7	2,5	3,2	3,0	4,0	3,8
	50-59	0,6	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0
	60-69	0,8	0,8	1,1	1,0	1,3	1,2	1,6	1,5
Masse moyenne des plants de morelle noire (g)	100	1,9	1,8	2,4	2,3	2,9	2,7	3,6	3,4
	200	1,0	0,9	1,2	1,1	1,5	1,4	1,8	1,7
	300	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	0,9	1,2	1,1
	400	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9	0,9
	500	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7

Tableau 25 : Estimation du nombre de pieds de morelle noire au mètre carré susceptible de provoquer une intoxication chronique chez les bovins, selon le rendement de l'ensilage de maïs, son taux de MS, et la taille ou la masse des pieds de morelle noire.

Pour un ensilage aux alentours de 10-12 t MS/ha et des pieds de morelle noire d'une masse moyenne de 250g ; le seuil limite est d'environ un pied de morelle par mètre carré.

Partie 4 : Discussion

La discussion s'articule en trois temps. Dans un premier temps, il s'agit d'évaluer le risque qu'un champ de maïs soit contaminé par des adventices toxiques ; puis on s'intéresse à toutes les données, bibliographiques et expérimentales, qui ont été utilisées pour proposer des conclusions, et la dernière partie décrit l'interprétation des résultats et leurs limites.

Ce travail montre qu'un certain nombre de plantes toxiques, dont les quatre plantes choisies dans notre étude expérimentale, sont susceptibles de coloniser un champ de maïs. Bien-sûr, toutes les cultures de maïs ne sont pas concernées, mais les dangers liés à la présence de ces plantes toxiques sont réels et les facteurs de risques tendent à s'accumuler.

Tout d'abord, les caractéristiques intrinsèques de la culture du maïs sont responsables de l'augmentation de ces facteurs de risques. Le choix de la variété de maïs à cultiver est le premier facteur de risque de contamination par des adventices. En effet, la tendance actuelle est plutôt à la culture de variétés à port dressé : les feuilles poussent très proches de la tige et vers le haut, ce qui améliore l'ensoleillement des adventices du maïs poussant en dessous.

De plus, l'époque de récolte du maïs pour la réalisation d'ensilage correspond aussi à un stade toxique, et parfois même au stade le plus toxique, des adventices. L'ensilage de maïs est récolté généralement au mois de septembre, et l'amarante, la mercuriale, le datura et la morelle noire sont au maximum de leur développement végétatif et portent des fruits, d'après l'étude réalisée dans la région Toulousaine, à cette période.

Ensuite, l'obligation pour les agriculteurs de laisser un minimum de 10 % de leur surface agricole en jachère (depuis la réforme de la Politique Agricole Commune, en 2000) permet le développement de nombreuses graines d'adventices, qui ensuite sont véhiculées vers les cultures de maïs par le vent, les insectes, les petits mammifères ou les roues des engins agricoles...

L'utilisation de traitements herbicides pour lutter contre les plantes toxiques et d'engrais azotés dans les cultures de maïs accroît paradoxalement le danger lié aux adventices. Il a été montré que l'emploi répété d'un même principe actif plusieurs années consécutives conduit à

la sélection de plantes toxiques résistantes notamment l'amarante et la morelle noire. Par exemple, dans l'Ontario, on recense des problèmes de résistance aux triazines depuis 1974, aux inhibiteurs de l'acétolactate synthétase depuis 1997 pour l'amarante réfléchie et depuis 2000 pour la morelle noire. A ce jour, plus de deux cent quarante neuf espèces de plantes ont montré une résistance à une famille d'herbicide dans quarante sept pays différents [Ontario, 2006c]. Le développement de ces résistances est en train de devenir un souci majeur. Pour limiter les échecs des traitements et freiner l'apparition de résistances, il faudrait modifier le comportement des agriculteurs, et développer des mesures préventives telles que la rotation des cultures et le changement régulier de famille d'herbicides.

De plus, l'apport massif d'engrais azotés dans les cultures de maïs entraîne une augmentation de la teneur en nitrate de certaines plantes adventices du maïs. L'amarante présente des teneurs en nitrates variant entre 0,21 et 1,48 % MS [Marshall *et al.*, 1967] ou 0,06 à 0,43 % MS [ENVT, 1985], et ces teneurs augmentent si l'amarante pousse sur un terrain enrichi en azote. L'application d'azote à la dose de 80 kg/ha a augmenté d'un facteur 10 la teneur en nitrates d'amarante [Jean-Blain, 1979a]. Aussi, on ne peut pas prédire la teneur moyenne en nitrates de pieds d'amarante poussant dans un champ de maïs. Néanmoins, la teneur en nitrates augmente en période de sécheresse car les nitrates continuent d'être absorbés mais ne sont plus utilisés pour le développement de la plante, qui est freiné par le manque d'eau. Dans ces conditions, même les plantes non réputées toxiques par accumulation de nitrates (comme le maïs) présentent des teneurs augmentées. Ce facteur climatique augmente non seulement la toxicité intrinsèque des plantes toxiques, mais aussi le risque de développement de ces dernières. On remarque d'ailleurs, en étudiant les cas d'intoxications alimentaires décrits dans la littérature, que les intoxications végétales sont particulièrement observées les années de sécheresse.

Pour des raisons inconnues, on note que les quatre plantes toxiques impliquées dans cette étude se développent beaucoup mieux que les plantes fourragères en général, en période de sécheresse. Cette particularité biologique leur confère un avantage certain sur le maïs en matière de rendement : leur taille et leur masse relative après réalisation de l'ensilage de maïs sont plus élevés en période de sécheresse qu'en période normale pour un même nombre de pieds. Les périodes de sécheresse estivales, au moins dans le sud de la France, semblent devenir systématiques et de plus en plus précoces.

Les pratiques culturales et l'évolution climatique observée dans le sud de la France favorisent le développement et l'expansion des plantes adventices toxiques, telles que

l'amarante réfléchie, le datura stramoine, la mercuriale annuelle et la morelle noire. La quantité nécessaire de ces plantes pour provoquer des intoxications chez les animaux consommant de l'ensilage de maïs contaminé était, à ce jour, inconnue. Nous avons donc réalisé un travail de terrain et une synthèse bibliographique pour essayer de prévoir ce risque.

L'étude expérimentale se justifiait par l'absence d'informations pratiques sur les caractéristiques pondérales de ces plantes toxiques dans la littérature.

Les données bibliographiques sont très limitées. Bien que ces plantes poussent partout, facilement, et soient réellement toxiques pour les ruminants qui les consomment, les problèmes d'intoxication sont rarement décrits et on peut s'interroger sur les raisons qui justifient l'absence de publications. Il est peut être dû au fait que les vétérinaires praticiens ne publient pas beaucoup d'articles sur des cas cliniques d'intoxications ou que ces intoxications alimentaires soient sous diagnostiquées, leur évolution étant le plus souvent chronique, les plantes mal connues et le diagnostic difficile.

De plus, non seulement les articles sont peu nombreux mais les cas d'intoxications sont souvent décrits de façon « incomplète » : si les symptômes, les traitements mis en place et parfois les lésions observées post-mortem sont présentées, peu d'informations sur l'importance de l'intoxication dans le troupeau (morbidité et mortalité), sur les caractéristiques des animaux atteints et sur la source de l'intoxication sont disponibles. L'âge des animaux, leur état corporel ou encore le stade physiologique des femelles sont en effet des indications intéressantes mais rarement mentionnées. La teneur du fourrage en plante toxique est parfois connue approximativement, mais en général aucune analyse toxicologique n'a été mise en place pour doser les principes toxiques. Or, dans le cas particulier de l'amarante, on sait que, d'un pied à l'autre, les teneurs en nitrates, en oxalates et même en matière sèche sont extrêmement variables. Les moyennes présentées dans la littérature sont tellement différentes d'un article à l'autre et leurs écart-types tellement élevés que ces données sont peu extrapolables.

Malgré ces limites, l'étude bibliographique a permis de déterminer les quantités de mercuriale, de morelle noire et de datura nécessaires pour provoquer une intoxication clinique, chez des bovins.

A l'inverse, pour l'amarante, le problème est plus compliqué, notamment parce que sa toxicité est liée en partie à sa teneur en nitrates et que de nombreux paramètres environnementaux jouent sur la teneur en nitrates de la plante. De plus, il existe d'autres sources de nitrates dans

la nature (et donc dans le régime des animaux) et le devenir des nitrates dans l'ensilage de maïs est variable. La dose toxique (DT) de nitrates ingérés par voie orale chez les bovins serait de l'ordre de 0,1 % du poids vif [Davison *et al.*, 1964], soit 600 g de nitrates pour une vache de 600 kg. Ces nitrates sont amenés en partie par l'eau (dont on peut estimer la consommation aux alentours de 80 L/j pour une vache laitière en production), les fourrages et les éventuelles plantes toxiques qu'ils contiennent. L'eau potable en France a une teneur maximale en nitrates de 50 mg/L, ce qui correspond à un apport maximum de 4 g/j pour une vache laitière. Si la vache consomme de l'eau non potable (la réglementation ne concerne que les humains), la teneur en nitrate peut atteindre 100 mg/L, ce qui correspond à un apport en nitrates de 8 g/j. La consommation de 80 litres d'eau contaminée correspond donc à environ 1,5 % de la dose toxique. Ces calculs démontrent que l'eau, même riche en nitrates, ne peut jouer un rôle capital dans l'intoxication aiguë des bovins. Le rôle joué par le fourrage lui-même, est plus difficile à évaluer, parce qu'il peut contenir des quantités très variables de nitrates. En effet, la teneur en nitrates de l'ensilage de maïs pourrait varier entre 41 et 6507 mg/kg MS (mesure effectuée sur 148 échantillons d'ensilage stable) avec une moyenne de 380 mg/kg MS [Kammerer *et al.*, 1992]. Seuls 5 % des échantillons présentent une teneur supérieure à 1 g/kg MS, ces teneurs exceptionnelles sont liées à des conditions particulières de croissance, telles que la sécheresse. La consommation d'ensilage de maïs pour une vache laitière se situe le plus souvent entre 9 et 15 kg de MS. Dans le cas extrême d'un ensilage à 6,5 g de nitrates par kg MS cela correspond à un apport 58 à 98 g de nitrates, soit 10 à 17 % de la dose toxique. Cet apport n'est pas négligeable.

De plus, si les nitrates présents dans l'ensilage de maïs peuvent avoir différentes sources, les quantités mesurées au moment de la réalisation du silo sont différentes de celles que l'on mesurera sur le même silo après les processus de fermentation, à la base du procédé de conservation de l'ensilage. En effet, les nitrates sont au moins en partie dégradés par les fermentations anaérobies qui s'opèrent à la fermeture du silo. En moyenne, 40 % des nitrates sont réduits et deviennent inoffensifs si le silo reste fermé trois semaines. Dans des conditions optimales et au-delà de trois semaines, ce taux de réduction peut atteindre 65 %. Par contre si l'ensilage est trop humide ou trop sec (taux d'humidité supérieur à 70 % ou inférieur 65 %) ou s'il est distribué aux bovins moins de 3 semaines après la réalisation du silo, moins d'un quart des nitrates ont été réduits [Ontario, 2007].

Il existe une autre difficulté dans l'évaluation de la toxicité des nitrates chez les bovins, celle de la détermination de la dose nécessaire pour provoquer des intoxications chroniques. Or, cette dose est importante pour notre travail, puisque l'ensilage est consommé de façon

régulière et prolongée dans le temps. En effet, la dose de nitrates nécessaire pour provoquer une intoxication chronique chez les ruminants est très difficile à évaluer, car les nitrates sont dégradés par la flore ruminale en nitrites, eux-mêmes réduits en ammoniac grâce à des donneurs de protons dans le rumen. Aussi, les nitrates d'origine alimentaire puis les nitrites formés dans le rumen ne sont absorbés que lorsque les capacités de réduction du rumen sont dépassées. Aussi, la quantité de nitrates nécessaire pour provoquer une intoxication chronique est élevée chez les ruminants. La flore microbienne se développe avec la quantité de nitrates de la ration mais, si la teneur en nitrates varie brutalement, la flore ruminale n'a pas le temps de s'adapter aux changements de régime et les bovins s'intoxiquent. Cette capacité d'adaptation, propre à la flore de chaque bovin, rend impossible la détermination des quantités de nitrates nécessaires pour déclencher une intoxication chronique, chez les bovins. Néanmoins, un excès chronique de nitrates dans la ration a des répercussions sur les bovins, tant en terme de croissance qu'en terme de performances de reproduction.

Pour les autres plantes étudiées, il était impossible de fixer des seuils dangereux de contamination des champs de maïs en plantes toxiques par mètre carré sans connaître la masse de ces plantes. Les données bibliographiques disponibles se sont révélées insuffisantes donc une étude expérimentale a été menée pour connaître la relation entre la masse des pieds des quatre plantes toxiques étudiées et leur taille.

Les plantes toxiques ont été récoltées dans la région toulousaine, puis déshydratées et stockées en octobre 2003. L'interprétation des résultats a été faite en 2006. Il semble aujourd'hui que la taille des échantillons était insuffisante pour que les résultats statistiques soient concluants. De plus, il existe un certain nombre de biais dans la récolte, en effet, tous les prélèvements ont été réalisés dans la région toulousaine, le nombre de champs prélevé était modeste et enfin, donc les plantes ramassées n'étaient pas forcément représentatives de l'ensemble des plantes de la même espèce. Cependant, les prélèvements ont été réalisés en 2003, ce qui est un point positif dans le sens où les années de sécheresse sont les plus « à risques », en matière de contamination de l'ensilage de maïs par des adventices toxiques. Les résultats seraient plus complets si on avait aussi prélevés des échantillons plusieurs années consécutives. Ce travail mériterait donc d'être poursuivi.

Les tableaux de résultats, qui fixent les seuils de plantes toxiques en fonction de leur gabarit, peuvent être utilisés de 2 manières. Soit on mesure la taille des plantes toxiques ramassées dans le champ contaminé, les données fournies par notre étude pratique permettent d'approximer le poids de ces plantes à partir de leur taille. Soit on pèse directement quelques

plantes toxiques ramassées dans le champ, pour avoir une idée de leur masse moyenne. Dans ce deuxième cas, on s'affranchi des résultats de notre étude pratique.

Les résultats de nos mesures, même partiellement incomplets et/ou biaisés permettent de disposer de données sur le format et la masse de la mercuriale, du datura et de la morelle noire qui ont permis de calculer les seuils théoriques de contamination de l'ensilage, susceptibles d'avoir des répercussions cliniques sur la santé des bovins.

Les résultats présentés dans la troisième partie, fixant les seuils de contaminations des champs de maïs en fonction de leur rendement et de la taille des adventices, sont fondés sur quelques hypothèses et en réalisant différentes approximations.

L'hypothèse la plus importante était que, hormis pour les nitrates, la toxicité des quatre plantes n'a pas été modifiée dans l'ensilage. En effet, il n'existe aucune donnée illustrée par une expérience à ce sujet dans la littérature. De façon assez surprenante, aucune publication sur les risques de contamination de l'ensilage par des adventices toxiques ne relate de cas réel [Fromageot, 1978 ; Jean Blain, 1979b et 1981 ; Senger et Baroux, 1980a].

De plus, tous les calculs ont été faits en supposant qu'une vache consomme 25 kg MB d'ensilage de maïs par jour. Même si la majorité des vaches en lactation consomment plus de 25 kg MB d'ensilage de maïs par jour, lorsque ce dernier est le principal fourrage de la ration, cette quantité estimée comme « moyenne » a été choisie pour que les tableaux soient utilisables dans un maximum d'élevages. Cette approximation a servi à calculer la proportion nécessaire d'adventices (en matière brute) dans l'ensilage pour atteindre la dose toxique. Par exemple, si on considère qu'une vache doit consommer 2 kg de mercuriale par jour pendant plusieurs jours pour présenter une intoxication, pour atteindre cette quantité de mercuriale dans la ration quotidienne via 25 kg d'ensilage, cet ensilage devra contenir 8 % (= 2/25) de mercuriale. On aurait pu réaliser les mêmes calculs avec d'autres quantités d'ensilage.

Pour les calculs, on a aussi considéré que la répartition des plantes toxiques dans le maïs était homogène, ce qui est peu probable (une partie d'un champ de maïs peut être envahie d'adventices alors que le reste est à peu près indemne). Les différents cas possibles devraient être étudiés un par un et nos résultats ne s'appliquent donc pas comme une règle stricte, valable dans tous les cas de figures. Ils permettent seulement de proposer des seuils d'alerte, utilisables en pratique, et qui permettent de s'interroger sur l'impact que pourrait avoir un ensilage contaminé sur la santé des vaches.

En pratique, il faut évaluer la contamination globale du champ – *si, par exemple monsieur Robert compte en moyenne huit pieds de mercuriale au mètre carré, sur le quart d'un champ qui présente une superficie globale d'un hectare, on obtient une contamination moyenne de deux pieds de mercuriale par mètre carré* –. La question qui se pose ensuite est de savoir dans quelle mesure la répartition de la plante toxique dans le silo sera homogène. Il n'y a pas de réponse simple. On peut imaginer que si le taux moyen de contamination de l'ensilage est élevé, un certain nombre de vaches seront malades et d'autres non, à cause de la répartition aléatoire de la plante toxique dans le maïs. Par exemple, le tableau 23 montre que pour un champ de maïs contaminé par des pieds de mercuriales pesant environ 150 g chacun, avec un rendement en maïs à 12 t MS/ha, deux pieds de mercuriale par mètre carré sont suffisants pour provoquer une intoxication. *Donc, dans le champ de Monsieur Robert, dont le rendement est supposé proche de 12 t MS/ha, la présence de mercuriale est problématique car même si le champ est ensilé de manière à répartir la mercuriale de façon homogène, on aura un taux de contamination moyen de deux pieds par mètre carré.* A fortiori, si la contamination du silo est hétérogène, certaines portions de l'ensilage vont atteindre un seuil de toxicité bien supérieur au seuil minimal utilisé dans les calculs. Toutes les vaches ne vont pas manger la même quantité de mercuriale, mais on peut supposer qu'au moins une partie d'entre elles vont être malades. Si le taux de contamination moyen, c'est-à-dire rapporté à la taille du champ, est plus faible que les seuils des tableaux, il est évident que le risque de toxicité est plus faible. Il serait minimal si l'ensilage était réalisé de manière à avoir un silo homogène en plantes toxiques, ce qui ne sera jamais le cas. Ces tableaux constituent donc une aide à la décision et doivent être confrontés aux faits. Ils permettent de soulever les problèmes et à réfléchir à différentes solutions, comme jeter l'ensilage contaminé, ou seulement les parties contaminées, ou utiliser un ensilage faiblement contaminé en mélange avec un silo indemne. Dans ce dernier cas, le cheptel de l'exploitation doit être grand, car l'ensilage se dégrade assez rapidement après l'ouverture du silo.

Si l'ensilage de maïs était toujours produit en quantité largement suffisante, ces questions ne se poseraient pas, ou peu. Les portions de champ contaminées seraient jetées tout simplement, mais, dans le contexte actuel d'étés de plus en plus secs, les rendements en ensilage diminuent et les ressources fourragères se raréfient. De surcroît, les adventices toxiques du maïs se généralisent partout en France et deviennent plus abondantes. Dans ce contexte, développer la prévention, s'intéresser aux conséquences éventuelles des adventices avant la réalisation du silo, devient essentiel pour garder la possibilité d'arracher les plantes toxiques avant d'ensiler.

CONCLUSION

Ce travail, d'une part, de synthèse des données bibliographiques disponibles et, d'autre part, de recueil de plantes afin de caractériser leur format, permet de confirmer que l'amarante réfléchie, le datura stramoine, la mercuriale annuelle et la morelle noire ont un réel potentiel toxique pour les ruminants qui les consomment via leur ration d'ensilage de maïs.

Le calcul de la quantité de plantes ensilées dans le maïs capables de provoquer des intoxications chez les bovins peut attirer l'attention des vétérinaires et des éleveurs sur les risques toxiques de ces plantes. La synthèse des informations disponibles et nos mesures permettent de dire qu'il suffit d'un pied de datura par 25 mètres carrés et de deux pieds de mercuriale ou de morelle noire par mètre carré pour provoquer des intoxications aiguës et mortelles. A l'inverse, les données bibliographiques et expérimentales ne permettent pas de déterminer ces seuils d'alerte pour l'amarante. On manque de données sur la toxicité des nitrates et des oxalates pour les bovins et de données sur les variations de toxicité de l'amarante selon ces conditions de croissance.

Ce travail montre que le vétérinaire doit absolument attirer l'attention des éleveurs afin de faire arracher les plantes toxiques avant la réalisation de l'ensilage. Une fois l'ensilage réalisé, comme le mélange de maïs et de plantes toxiques ne peut pas être homogène, l'ensilage de maïs contaminé représentera toujours un risque pour les bovins qui le consomment.

AGREMENT ADMINISTRATIF

Je soussigné, A. MILON Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que
Mlle MASUREL Emilie, Cécile, Thérèse
a été admis(e) sur concours en : 2001
a obtenu son certificat de fin de scolarité le : **21 MAI 2007**
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

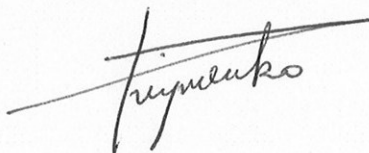
AGREMENT SCIENTIFIQUE

Je soussignée, Nathalie PRIYMENKO, Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
autorise la soutenance de la thèse de :
Mlle MASUREL Emilie, Cécile, Thérèse


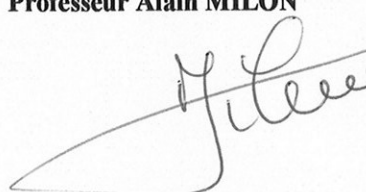
intitulée :

« Contribution à l'étude de la contamination de l'ensilage de maïs par des adventices toxiques : Conséquences pratiques chez les bovins »

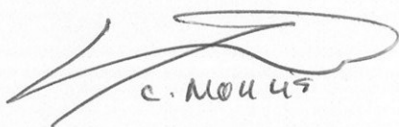
**Le Professeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Docteur Nathalie PRIYMENKO**



**Vu :
Le Directeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Professeur Alain MILON**



**Vu :
Le Président de la thèse :
Professeur Claude MOULIS**



**Vu le : 25 MAI 2007
Le Président
de l'Université Paul Sabatier
Professeur Jean-François SAUTÉREAU**



Annexe 1 : Données brutes

Champ	Espèce	Plante	Appareil reproducteur	Taille (cm)	Diamètre (cm)	Pds MB (g) X	Pds MB (g) Y	Pds MS (g) Y'	% MS
1	1	1	16	80	82	511,0	19,4	4,5	23,20
1	1	2	5	60	50	187,0	15,3	3,3	21,57
1	1	3	11	90	90	543,0	26,3	5,3	20,15
1	1	4	7	35	45	115,0	19,7	4,1	20,81
1	2	1	F BV BN	30	22	31,3	31,3	7,3	23,32
1	2	2	F BV	20	34	45,6	45,6	9,3	20,39
2	1	1	12	60	100	607,0	47,6	7,9	16,60
2	1	2	12	42	80	471,0	20,1	7,8	38,81
2	1	3	13	50	100	712,0	30,2	5,2	17,22
2	1	4	3	58	90	514,0	43,9	7,4	16,86
3	1	1	4	58	65	187,0	23,6	3,9	16,53
3	1	2	0	61	60	160,0	28,6	3,9	13,64
4	1	1	32	85	150	1617,0	19,6	2,4	12,24
4	1	2	25	95	130	1354,0	14,9	2,4	16,11
4	1	3	22	110	110	936,0	22,2	4,0	18,02
4	1	4	18	112	96	778,0	27,5	4,6	16,73
4	1	5	12	95	116	1081,0	23,5	3,0	12,77
4	2	1	F BV	63	67	211,0	17,6	2,5	14,20
4	2	2	F BV	57	82	475,0	17,0	2,3	13,53
4	2	3	F BV BN	48	50	136,6	11,0	1,7	15,45
4	2	4	F BV	44	70	171,0	15,5	2,2	14,19
4	2	5	F BV BN	34	23	28,0	18,6	3,0	16,13
5	3	1	-	52	26	44,1	44,1	10,5	23,81
5	3	2	-	20	49	37,0	37,0	8,2	22,16
5	3	3	-	52	23	56,9	56,9	14,9	26,19
6	2	1	F BV	21	16	12,3	12,3	2,4	19,51
7	1	1	24	60	126	756,0	19,3	4,1	21,24
7	1	2	24	45	93	567,0	17,2	4,0	23,26
7	1	3	9	53	96	509,0	19,5	4,1	21,03
7	2	1	F BV	50	70	314,0	22,4	4,1	18,30
7	2	2	F BV BN	40	43	112,0	18,3	3,1	16,94
7	2	3	F BV BN	64	68	288,0	18,7	3,4	18,18
8	1	1	6	32	67	163,0	13,9	3,3	23,74
8	1	2	13	50	62	280,0	20,6	5,0	24,27
8	1	3	9	46	68	297,0	14,7	3,3	22,45
8	1	4	20	45	73	458,0	20,1	4,7	23,38
8	1	5	31	70	90	576,0	16,0	4,1	25,63
8	1	6	21	49	69	495,0	19,7	4,3	21,83

Champ	Espèce	Plante	Appareil reproducteur	Taille (cm)	Diamètre (cm)	Pds MB (g) X	Pds MB (g) Y	Pds MS (g) Y'	% MS
8	1	7	23	45	96	533,0	18,8	4,2	22,34
8	2	1	F BV BN	21	39	48,0	23,3	3,8	16,31
8	2	2	F BV	22	27	16,2	11,5	1,8	15,65
8	2	3	F BV BN	27	35	69,7	23,3	4,5	19,31
8	2	4	F BV	28	31	65,6	21,8	4,0	18,35
8	2	5	F BV	41	22	42,8	10,1	2,0	19,80
10	4	1	F	42	32	75,3	7,1	1,4	19,72
10	4	2	F	36	25	58,8	6,7	1,5	22,39
10	4	3	M	37	23	56,4	5,6	1,0	17,86
10	4	4	F	39	26	86,4	7,8	1,6	20,51
10	4	5	F	52	34	129,1	8,7	1,8	20,69
10	4	6	F	34	30	59,0	6,0	1,1	18,33
11	1	1	10	49	62	178,0	18,0	4,9	27,22
11	1	2	11	60	68	306,0	21,9	5,7	26,03
11	1	3	5	30	40	242,0	23,1	4,9	21,21
11	1	4	4	43	52	93,0	15,7	3,7	23,57
12	1	1	98	110	170	3630,0	23,6	5,0	21,19
12	1	2	60	78	160	2680,0	27,0	5,3	19,63
12	1	3	35	62	105	830,0	21,0	4,9	23,33
12	2	1	F BV BN	38	40	93,0	13,5	2,8	20,74
12	4	1	F	38	22	62,3	7,4	1,6	21,62
12	4	2	M	52	37	114,1	9,2	1,8	19,57
13	1	1	8	55	48	151,0	12,9	3,5	27,13
13	1	2	17	44	73	457,4	20,4	5,0	24,51
13	1	3	5	35	53	135,0	14,6	3,1	21,23
13	1	4	18	72	97	413,0	16,1	3,9	24,22
13	1	5	21	46	80	373,0	19,3	4,4	22,80
13	1	6	15	41	67	291,0	15,4	3,9	25,32
13	1	7	20	50	84	397,0	17,1	4,8	28,07
13	2	1	F BV	41	26	30,1	8,7	1,1	12,64
13	2	2	F BV BN	39	42	40,4	12,1	1,8	14,88
13	2	3	F BV BN	44	30	50,9	12,7	2,2	17,32
13	3	1	-	68	25	51,5	22,4	5,5	24,55
13	3	2	-	63	32	64,1	21,8	4,8	22,02
13	3	3	-	69	18	56,7	19,4	7,8	40,21
13	3	4	-	44	65	81,5	9,5	3,3	34,74
13	3	5	-	88	34	138,9	19,7	5,8	29,44
13	3	6	-	65	38	171,4	20,8	5,5	26,44
13	3	7	-	63	21	37,2	12,7	4,9	38,58
13	3	8	-	45	29	63,7	9,5	4,4	46,32
13	3	9	-	53	12	32,1	11,9	4,4	36,97

Champ	Espèce	Plante	Appareil reproducteur	Taille (cm)	Diamètre (cm)	Pds MB (g) X	Pds MB (g) Y	Pds MS (g) Y'	% MS
13	4	1	M	38	21	18,9	8,3	1,3	15,66
13	4	2	F	45	52	78,2	10,2	1,5	14,71
13	4	3	F	30	21	14,2	6,6	1,1	16,67
13	4	4	F	35	15	16,8	8,3	1,2	14,46
13	4	5	M	36	22	31,4	5,4	0,8	14,81
13	4	6	F	37	28	40,2	10,4	1,6	15,38
13	4	7	M	33	14	11,1	7,6	1,3	17,11
14	3	1	-	40	40	60,1	20,6	3,9	18,93
14	3	2	-	50	26	25,5	13,4	4,0	29,85
14	3	3	-	45	72	84,6	10,7	2,0	18,69
14	3	4	-	52	28	50,5	19,5	4,4	22,56
14	3	5	-	62	65	54,7	11,4	2,1	18,42
14	3	6	-	58	26	24,7	8,2	2,3	28,05
14	3	7	-	59	75	76,2	9,3	1,9	20,43
15	3	1	-	96	85	341,6	22,8	8,5	37,28
15	3	2	-	77	22	60,6	23,3	10,4	44,64
15	3	3	-	61	14	37,4	18,5	8,1	43,78
15	3	4	-	97	37	138,3	12,0	6,0	50,00
15	3	5	-	81	26	102,9	14,1	6,4	45,39
15	3	6	-	60	10	30,7	14,0	6,3	45,00
15	3	7	-	104	48	169,5	8,5	4,2	49,41
15	3	8	-	88	25	107,8	9,1	4,1	45,05
16	2	1	F BV	25	45	56,3	13,0	2,2	16,92
16	2	2	F BV	68	60	192,3	13,3	1,9	14,29
16	2	3	F BV BN	34	57	187,4	11,5	1,7	14,78
16	2	4	F BV	52	59	261,8	18,6	2,9	15,59
16	2	5	F BV	28	36	34,8	9,4	1,8	19,15
16	2	6	F BV BN	34	45	69,9	13,2	2,1	15,91

Légende Appareil reproducteur :

- pour le datura il s'agit du nombre de pommes épineuses de plus de 2 centimètres,
- pour la morelle noire on distingue la présence de fleurs (F), de baies vertes (BV) et de baies noires, mures (BN)
- pour la mercuriale on a distingué les pieds males (M) des pieds femelles (F)
- les pieds d'amarante étaient tous porteurs d'inflorescence.

Exemple : Informations fournies par la ligne en gras :

- **4** : champ n° 4 : Castelginest, entre la D59 et le chemin de Belbosc, le 9 octobre 2003, par temps de pluie, champ de légumineuses.

- **2** : Morelle noire

- **3** : Echantillon n°3

- **F BV** : présence de fleurs et de baies immatures
- **63** cm de haut (mesuré à 10 cm du sol)
- **67** cm d'envergure
- **211** g : masse totale récoltée
- **17,6** g : masse y de l'échantillon placé à l'étuve
- **2,5** g : masse y' de l'échantillon déshydraté
- **14,2** : Pourcentage de matière sèche, y/y'

Informations sur les différents champs :

- 1- St Lys, D37, 07/10/03, champ de tournesol coupé, temps sec
- 2- St Lys, D37, 07/10/03, champ maïs coupé, temps sec
- 3- Castelginest, chemin Belbosc, D59, 09/10/03, fossé, pluie
- 4- Castelginest, chemin Belbosc, D59, 09/10/03, champ haricots, pluie
- 5- Pibrac, chemin Gayne, 10/10/03, champ de blé, beau temps
- 6- Pibrac, chemin du collège, 10/10/03, champ de tournesols, beau temps
- 7- Colomiers, 10/10/03, terrain en friche, beau temps
- 8- Pyroutet (Leguevin), D37, 13/10/03, prairie, temps humide
- 9- Echantillons trop desséchés pour être inclus
- 10- Beaupuy, D59a, 15/10/03, champ de céréales, beau temps
- 11- Montrabé, D112, 16/10/03, champ de céréales, temps sec - vent
- 12- Beaupuy, D112, sortie du village, terrain vague, 16/10/03, temps sec – vent
- 13- Toulouse, la Ramée, terrain vague 20/10/03, temps sec
- 14- Plaisance, D28, 22/10/03, talus près d'un champ labouré, temps sec
- 15- Plaisance, D50, 22/10/03, champ en friche, temps très sec et froid
- 16- Plaisance, D50, 22/10/03, champ de légumineuses récolté, envahi de morelle, temps très sec et froid

Annexe 2 : Liste des documents insérés

Tableaux

<u>Tableau 1</u> : Les différents stades du début du développement du maïs fourrage.....	15
<u>Tableau 2</u> : Caractéristiques des grains de maïs à maturité physiologique (appareil végétatif à maturité).....	16
<u>Tableau 3</u> : Valeur alimentaire du maïs ensilé (production de lait permise) en fonction de la maturité des grains.....	19
<u>Tableau 4</u> : Valeur nutritive de l'ensilage de maïs d'après les tables de l'INRA et les analyses du LVD de Mayenne.....	20
<u>Tableau 5</u> : Teneurs en minéraux du maïs ensilage, évolution de 1992 à 2002.....	21
<u>Tableau 6</u> : Conséquences sur le rendement des cultures de maïs de la colonisation par des adventices.....	22
<u>Tableau 7</u> : Concentration en oxalates et nitrates (en %MS) de 10 échantillons d' <i>Amarantus retroflexus</i> L.....	27
<u>Tableau 8</u> : Concentration en oxalates et en nitrates d'échantillons d'amarante collectés dans le jardin botanique de l'ENVT (en pourcentage de MS).....	28
<u>Tableau 9</u> : Evolution de la teneur en nitrate dans les tiges et les feuilles de l'amarante après la coupe (en % MB).....	29
<u>Tableau 10</u> : Résumé des données bibliographiques sur les intoxications par l'amarante réfléchie.....	39
<u>Tableau 11</u> : Modification de la formule sanguine des bovins suite à une intoxication par la mercuriale annuelle.....	44
<u>Tableau 12</u> : Résumé des données bibliographiques sur les intoxications par la mercuriale annuelle.....	50
<u>Tableau 13</u> : Teneurs en alcaloïdes ($\mu\text{g}/\text{mg}$ MB), dans des plants jeunes (< 30 cm) et des plants adultes (>30 cm) de <i>Datura stramonium</i> L.	55
<u>Tableau 14</u> : Résumé des teneurs en alcaloïdes des graines de datura selon quelques auteurs (liste non exhaustive).....	56
<u>Tableau 15</u> : Résumé des résultats d'expériences mesurant la toxicité des graines de datura chez le porc.....	58
<u>Tableau 16</u> : Effets cliniques du <i>Datura stramonium</i> L. sur les chèvres et les moutons.....	59

<u>Tableau 17</u> : Résumé des données bibliographiques sur les intoxications par le datura stramoine.....	63
<u>Tableau 18</u> : Quantité de sapogénines et d'hétérosides contenus dans les baies vertes et les feuilles de morelle noire (en % MS).....	66
<u>Tableau 19</u> : Masse des pieds d'amarante réfléchie de notre échantillon, selon leur taille.....	73
<u>Tableau 20</u> : Masse moyenne calculée des pieds de mercuriale annuelle en fonction de leur taille.....	74
<u>Tableau 21</u> : Masse moyenne calculée d'un pied de datura en fonction de sa taille.	75
<u>Tableau 22</u> : Masse moyenne des pieds de morelle noire de l'échantillon en fonction de leur taille.....	77
<u>Tableau 23</u> : Estimation du nombre de pieds de mercuriale au mètre carré susceptible de provoquer une intoxication chronique chez les bovins, selon le rendement de l'ensilage de maïs, son taux de MS, et la taille ou la masse des pieds de mercuriale.....	80
<u>Tableau 24</u> : Estimation du nombre de pieds de datura au mètre carré susceptible de provoquer une intoxication chronique chez les bovins, selon le rendement de l'ensilage de maïs, son taux de MS, et la taille ou la masse des pieds de datura.....	82
<u>Tableau 25</u> : Estimation du nombre de pieds de morelle noire au mètre carré susceptible de provoquer une intoxication chronique chez les bovins, selon le rendement de l'ensilage de maïs, son taux de MS, et la taille ou la masse des pieds de morelle noire.....	83

Figures

<u>Figure 1</u> : Evolution de la surface de maïs fourrage en millier d'hectare, en France, de 1970 à 2001.....	16
<u>Figure 2</u> : Le Maïs fourrage et la SAU en France.....	16
<u>Figure 3</u> : Répartition par espèce des échantillons récoltés.....	71
<u>Figure 4</u> : Répartition des échantillons d'amarante en fonction de leur taille	72
<u>Figure 5</u> : Corrélacion entre la taille (en cm) et la masse (en g) des échantillons d'amarante réfléchie.....	72
<u>Figure 6</u> : Corrélacion entre la taille (en cm) et la masse (en g) des échantillons de mercuriale.....	73
<u>Figure 7</u> : Répartition des échantillons de datura en fonction de leur taille.....	74
<u>Figure 8</u> : Corrélacion entre la taille (en cm) et la masse (en g) des échantillons de datura.....	75

<u>Figure 9</u> : Corrélation entre l'envergure (en cm) et la masse (en g) des échantillons de datura.....	75
<u>Figure 10</u> : Description des échantillons de morelle noire suivant le stade de développement de leur appareil reproducteur.....	76
<u>Figure 11</u> : Corrélation entre la taille (en cm) et leur masse (en g) des échantillons de morelle noire.....	76

Annexe 3 : Table des abréviations

Par ordre alphabétique :

BV : bovin - CP : caprin - OV : ovin - CV : équin

Ca : Calcium

CB : teneur en Cellulose Brute de Weende

LVD : Laboratoire Vétérinaire Départemental

MAD : Matière Azotée Digestible

MAT : Matière Azotée Totale

MB : Matière Brute

Mm: cendres ou Matières minérales

MS : Matière Sèche, donnée en g / kg de Matière Brute

NS : Non signalé dans l'article

P : Phosphore

PDIE : Protéines Digérées dans l'intestin, l'énergie étant le facteur limitant

PDIN : Protéines Digérées dans l'intestin, l'azote dégradable étant le facteur limitant

PV : Poids vif

SAU : Surface Agricole Utile

UFL : valeur énergétique nette exprimée en « Unité Fourragère Lait »

UFV : valeur énergétique nette exprimée en « Unité Fourragère Viande »

UTC : Unité Thermique de Croissance

BIBLIOGRAPHIE

- ALZIEU JP, ALZIEU C, DORCHIES P: L'intoxication par la mercuriale chez les bovins – Intérêts des études hématologiques dans le diagnostic différentiel de la babésiose bovine. *Bulletin des GTV*, 1993 ; **3 – BV – 445**: 29-36.
- ANGER JP, CURTES JP, MAHE M, TREMINTIN JP: Intoxication collective animale par la mercuriale annuelle. *Annales Médicales de Nancy*, 1976: 349-353.
- ANON: Annual report of the Department of Agriculture and Stock, 1952 – 3. Queensland, Australia, p 76.
- ANONYME: Intoxication par la mercuriale annuelle. *Bull. Soc. Vét., Communications des journées nationales des GTV*, 1973: 74-75.
- ANONYME: Observation n°9 du rapport de commission. *Bull. Soc. Cent. Méd.*, 1902.
- ANONYME: Intoxication de bovins par la mercuriale. *CNITV*, 1978, **5**: 296.
- CASE AA: Some aspects of nitrate intoxication in livestock. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1957, **130**: 323-328.
- ARVALIS: Le maïs fourrage gagne à être connu. *Institut du végétal* – dossier de presse du 30 septembre 2003 ; page consultée le 17 octobre 2006 ; adresse URL: www.arvalisinstitutduvegetal.fr
- BARNEY GH, WILSON BJ: A rare toxicity syndrome in ponies. *Vet. Med.*, 1963, **58**: 419-421.
- BARRON NS: Poisoning of cattle by dog's mercury. *Vet. Rec.*, 1944, **52**: 513.
- BEGUIN JM, DAGORNE RP: Ensilage de maïs: baisse de la teneur en minéraux. *Communication aux 3R*, 2003.
- BEN SAID MAIS, REKHIS J, AMARA A, BOUTOURIA M, MALEK A, ZMERLI K: Un cas d'intoxication des bovines par la mercuriale annuelle. *Rev. Med. Vét.*, 1995, **146**: 89-91.
- BJORNSON CB, MC ILWAIN P, EVELETH DF, BOLIN FM: Sources of nitrate intoxication. *Vet. Med.*, 1961, 198-200.
- BLAMEY M, GREY-WILSON C: La flore d'Europe occidentale – plus de 2400 plantes décrites et illustrées en couleurs. Editions Arthaud, 1991, 544 pp.
- BROWN C: Chronic amaranthus toxicity in cattle. *Vet. Med. Small Anim. Clin.*, 1974, **69**: 1551-1553.

- BRUNETON J: Plantes toxiques, Végétaux dangereux pour l'Homme et les animaux. Deuxième édition, Editions Tec & Doc, 2001, 526 pp.
- CURSACK HA, ROMANO LA: Possible intoxication sub-aguda con nitratos y nitritos. *Gaceta Veterinaria*, 1966, **29**: 68-74.
- DAVISON KL, HANSEL W, GROOK L, Mc ENTEE K, WRIGHT MJ: Nitrate toxicity in dairy heifers: effects on reproduction, growth, lactation and vitamin A nutrition. *J. Dairy Sci.*, 1964, **47**: 1065-1073.
- DELATOUR P, JEAN BLAIN C: Intoxication des bovins par la mercuriale. *CNITV*, 1977, **2**: 65-68.
- DUCKWORTH RH: Poisoning of cattle by amaranthus. *New Z. Vet. J.*, 1975, **23**: 154-155.
- DUNGAN GM, GUMBMAN MR, FRIEDMAN M: Toxicological evaluation of jimson weed seed. *Food Chem. Tox.*, 1989, **27**: 501-510.
- EATON GA: Series of cases of poisoning in cattle: poisoning of cows by dog's mercury. *Vet. Rec.*, 1941, **10**.
- EL BAHRI L: La mercuriale annuelle. *CNITV*, 1981a, **4**: 53-56.
- EL BAHRI L: La morelle noire. *CNITV*, 1981b, **4**: 49-52.
- EL DIRDIRI NI, WASFI IA, ADAM SEI: Toxicity of datura stramonium to sheep and goats. *Vet. Hum. Tox.*, 1981, **23**: 241-246.
- ENJALBERT F: EPU Nutrition et alimentation de la vache laitière. ENVV, 1999.
- ENVV, Concentration en oxalates et en nitrates d'échantillons d'amarante collectés dans le jardin botanique de l'ENVV, Service de Toxicologie végétale, 1985.
- ESPINASSE J, SAVEY M: Le courrier du praticien – Intoxication à la mercuriale. *Rev. Med. Vet.*, 1976, **127**: 1611-1612.
- FAMA PG: Datura poisoning. *New Z. Med. J.*, 1979, **14**, p 399.
- FRIEDMAN M: Analysis of biologically active compounds in potatoes, tomatoes and jimson weed seeds. *J. of Chromatography A*, 2004, **1054**: 143-155.
- FRIEDMAN M, LEVIN CE: Composition of jimsonweed seeds. *J. Agric. Food Chem.*, 1989, **37**: p 998.
- FROMAGEOT D: Les accidents d'origine alimentaire dus aux ensilages. *Rec. Med. Vet.*, 1978, **154**: 165-175.
- GAY I: Les nitrates dans l'environnement et leur toxicité pour les ruminants. Thèse de doctorat vétérinaire, ENVA, 1978, 110 pp.

- GONZALES C: Nefrosis tubular toxica en ovinos y caprinos asociada a la ingestion de plantas del genero *Amaranthus ssp.* *Veterinaria Mexico*, 1983, **14**: 247-251.
- GUNNING OV: Poisoning in goats by black nightshade. *Brit. Vet. J.*, 1949, **105**: 473-474.
- HANSEN A: Empoisonnement par les plantes de la famille des solanacées. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1927, 221-230.
- HOLLBERG W, WINKELMANN J: Enzootische hämoglobinurie in einer melchviehherde infolge bingelkraut vergiftung. *Tierartzl. Umschau.*, 1989, **44**: 162-164.
- INRA: Tables de l'alimentation des bovins ovins et caprins, édition 1988 ; Inra éditions, Versailles, 192 pp.
- JACOB: Intoxication de bovins par la mercuriale. *CNITV*, 1979, **6**: 348-349.
- JEAN BLAIN C: L'amarante. *CNITV*, 1979a, **6**: 329-330.
- JEAN BLAIN C: Pollution des ensilages par la morelle noire. *CNITV*, 1979b, **6**: p 344.
- JEAN BLAIN C: Les intoxications d'origine végétale. *Bulletin des GTV*, 1981, **82-3-TE-018**, 77-82.
- JEPPESEN QE: Bovine perirenal disease associated with pigweed. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1966, **149**: 22.
- KAMMERER M, POULIQUEN H, PINAULT L: Teneur en nitrates de l'ensilage de maïs. *Ann. Zootech.*, 1992, **41**: 231-235.
- KERR L, KELCH W: Pigweed toxicosis in cattle. *Vet. Hum. Tox.*, 1998, **40**: 216-218.
- LANDAU M, EGYED MN, FLESH D: Mercurialis annua poisoning in housed sheep. *Refuah Veterinarith*, 1973, **30**: 131-135.
- LEIPOLD HW, OEHME FW, COOK JE: Congenital arthrogryposis associated with ingestion of jimsonweed by pregnant sows. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1973, **162**: 1059-1060.
- LVD 53: Campagne d'analyse des ensilages 2004, Laboratoire Vétérinaire Départemental Mayennais, 2004.
- MARSHALL L, BUCK B, BELL L: Pigweed: an oxalate containing plant. *Am. J. of Vet. Res.*, 1967, **28**: 888-889.
- MESSONIER E: Intoxication par les nitrates chez les ruminants. *Le Point Vétérinaire*, 1977, **6**: 73-78.
- MILLER A, EGYED M: Nitrate poisoning in cattle due to feeding on *Amaranthus retroflexus*. *Refuah Veterinarith*, 1963, **20**: 167-169.

- MILRADI E, MASTI A, FERRI S, BARNI COMPARINI I: Distribution of hyoscyamine and scopolamine in *Datura stramonium*. *Filotherapia*, 2001, **72**: 644-648.
- NELSON P, MERCER D, ESSIG W, MINYARD J: Jimson weed seed toxicity in cattle. *Vet. Hum. Tox.*, 1982, **24**: 321-325.
- OFUKANY L, FRANTOVA E, TURON J: Mass poisoning of cattle with *Datura stramonium*. *Veterinarstvi*, 1983, **33**: 316-317.
- OLADOSU L, CASE A: Large animal hepatotoxic and nephrotoxic plants. *Vet. Hum. Tox.*, 1979, **21**: 363-365.
- ONTARIO: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales de l'Ontario. Maïs et fiches techniques, page consultée le 22 octobre 2006 (2006a) ; adresse URL: www.omafra.gov.on.ca/french/crops/field/corn.html
- ONTARIO: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales de l'Ontario. Maïs: lutte contre les mauvaises herbes; extrait du Guide Agronomique des grandes cultures (mars 2002), page consultée le 22 octobre 2006 (2006b) ; adresse URL: www.omafra.gov.on.ca/french/crops/insects/weeds.html
- ONTARIO: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales de l'Ontario. Fiche technique 01-024: La résistance des mauvaises herbes aux herbicides; publiée en avril 2001, page consultée le 22 octobre 2006 (2006c) ; adresse URL: www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/01-024.html
- ONTARIO: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales de l'Ontario. Ensilage de maïs endommagé par la sécheresse; publiée en août 2001, page consultée le 20 avril 2007 (2007); adresse URL: www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/drought.html
- PIVA G, PIVA A: Antinutritional factors of *datura* in feedstuffs. *Natural Toxins*, 1995, **3**: 238-241.
- POLIGANT M : Empoisonnement par le *datura ferox*. *Rev. Vet.*1901.
- PUYT JD, FALIU L, GODFRAIN JC: Le diagnostic des intoxications d'origine végétale, première partie: diagnostic épidémiologique. *Le point Vétérinaire*, 1981, **12**: 11-17.
- RAE C, BINNINGTON B : *Amaranthus retroflexus* poisoning in lambs. *Can. Vet. J.*, 1995, **36** : p 446.
- REINHOLD C: Investigations on the content of steroidal alkaloids and sapogenins within *Solanum* sect. *Solanum* (*Morella*). *Pl. Syst. Evol.*, 1981, **138**: 61-71.

- RENNER JE: Un caso de intoxicacion en bovinos por ingestion espontanea de follaje de chamico (*Datura ferox* L.). *Vet. Argentina*, 1991, **8**: 233-235.
- RIVERA M, AGUILO R, LORENZO M, FERRO M, VILLALON J: Reporte de intoxicacion en bovinos jovenes por el *Amaranthus viridis*. *Rvta. Cub. Cienc. Vet.*, 1984, **15**: 335-338.
- ROBLOT F, MONTAZ L, DELCOUSTAL M, GABORIAU E, CHAVAGNAT JJ, MORICHAUD G, POURRAT O, SCEPI M, PATTE D: Intoxication par le datura stramonium: le diagnostic est clinique, le traitement est symptomatique. *Rev. Med. Interne*, 1995, **16**: 187-190.
- SENGER E, BAROUX D: Intoxications consécutives à l'ingestion de maïs. *Notes de Toxicologie Vétérinaire*, 1980a, **8**: 468-474.
- SENGER E, BAROUX D: Herbicides et résistance - importance toxicologique. *Notes de Toxicologie Vétérinaire*, 1980b, **8**: 444-445.
- SINGH RCP, SINGH RP: A suspected case of datura poisoning in a cow. *Indian Vet. J.*, 1971, **48**: 194-196.
- SIZELOVE W, HAYS T, JOHNSON BJ, BURROWS GE: Perirenal edema in a calf. *Vet. Hum. Tox.*, 1988, **30**: 265-266.
- SPEARMAN G, JOHNSON K: Redroot pigweed toxicosis in cattle. *Can. Vet. J.*, 1989, **30**: 255-256.
- STEYN DG: The toxicology of plants in South Africa, Central News Agency, South Africa, 1934, 358-364.
- STUART BP, NICHOLSON SS, SMITH JB: Perirenal edema and toxic nephrosis in cattle associated with ingestion of pigweed. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1975, **167**: 949-950.
- SULLIVAN VD: Deux cas d'empoisonnement du cheval par le datura. *Vet. J.*, 1905, 182.
- TORRES M, KOMMERS G, DANTAS A, LOMBARDO DE BARROS C: Redroot pigweed poisoning of cattle in Southern Brazil. *Vet. Hum. Tox.*, 1997, **39**: 94-96.
- TROCHERIE P: Intoxications par la mercuriale chez les bovinos. Thèse de doctorat vétérinaire, ENVA, 1948, 56 pp.
- WELLER RF, PHIPPS RH: A review of blacknightshade. *Prot. Ecol.*, 1979, **1**, 121-139.
- WILLIAM S, SCOTT P: The toxicity of *Datura stramonium* to horses. *New Z. Vet. J.*, 1984, **32**: 47.

- WORTHINGTON TR, NELSON EP, BRYANT MJ: Toxicity of tornapple seeds to the pig. *Vet. Rec.*, 1981, **108**: 208-211.

TOULOUSE 2007

NOM : MASUREL

PRENOM : Emilie

TITRE :

Contribution à l'étude de la contamination de l'ensilage de maïs par des adventices toxiques : conséquences pratiques chez les bovins.

RESUME :

Un certain nombre de plantes réputées toxiques pour les ruminants sont susceptibles de coloniser les champs de maïs et ainsi de contaminer l'ensilage. Quatre de ces plantes sont plus importantes qualitativement et quantitativement : le datura stramoine (*Datura stramonium* L.), la mercuriale annuelle (*Mercurialis annua* L.), l'amarante réfléchie (*Amarantus retroflexus* L.) et la morelle noire (*Solanum nigrum* L.). A partir de l'étude bibliographique de la toxicité de ces plantes et d'une étude pratique sur leurs caractéristiques physiques (masse, hauteur, envergure), ce travail donne des indications en matière de seuil de contamination des champs de maïs, susceptible d'avoir des répercussions sur la santé des bovins.

MOTS CLES :

Ensilage – maïs – plantes toxiques – bovins

ENGLISH TITLE:

Contribution to study of corn silage contamination by toxic plants : practical consequences for the bovines.

ABSTRACT:

Some plants, supposed to be toxic for ruminants, are able to grow in field of maize and than to contaminate corn silage. Four of them are qualitatively and quantitatively more important : jimsonweed (*Datura stramonium* L.), dog's mercury (*Mercurialis annua* L.), pigweed (*Amarantus retroflexus* L.) and black nightshade (*Solanum nigrum* L.). From the bibliographic study of their toxicity and from an experiment on their physical characteristics (mass, height, size), this study suggests some indications about the thresholds of contamination of field of maize, likely to have consequences on bovines' health.

KEY WORDS:

Corn silage – cattle – toxic plants