

Evaluation et prévision de différentes sources de pollution issues de l'élevage et de l'utilisation du cheval

Par :

- W. Martin-Rosset¹, M. Vermorel¹, G. Fleurance^{1,2}, P. Doligez²
- ¹INRA, UMR1213 Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès-Champagnelle, France
- ²IFCE, Direction des Connaissances et de l'Innovation, 49411 Saumur, France

Résumé

Face à la montée des enjeux environnementaux en élevage, les rejets des équins ont été évalués par l'INRA à partir d'études de digestion et de métabolisme. Ainsi, l'émission journalière de méthane entérique a été calculée pour les différentes catégories d'équins, stades physiologiques et types d'alimentation. Globalement, la part des équins dans les émissions totales de méthane entérique des animaux de ferme en France est seulement de 1,5% (en moyenne 20,7kg/al/an), contre 97% pour les ruminants. Les modèles de prévision des rejets azotés dans les fèces et l'urine, établis chez le cheval de selle de 500kg à l'entretien, utilisent l'azote ingéré ou la matière sèche ingérée et la teneur en azote du régime comme variables prédictives ($R^2 > 0,80$). L'excrétion azotée totale est estimée à 38 unités d'N/al/an. Enfin, les restitutions minérales varient de 30 à 70% des quantités ingérées selon l'élément considéré, le type d'animal, son état physiologique et les équilibres entre minéraux de la ration. Elles ne peuvent être prédites actuellement avec une précision satisfaisante. Environ 600 000 équins en France produisent du fumier, avec une moyenne de 12t/an pour un cheval de 500kg. Les procédés de valorisation de ce fumier doivent être mis en place rapidement, notamment en zones périurbaines où le nombre d'équins augmente.

Mots clés : équins, méthane entérique, rejets azotés, rejets minéraux, fumier

Summary

Faced with the rise of environmental issues in livestock farming, equine emissions were evaluated by INRA from studies of digestion and metabolism. Emissions of enteric methane were calculated for the different categories of equines in respect of their physiological status and for the main types of diets. Overall, equines contribute only to 1.5% of total emission of enteric methane in France (on average 20.7kg/al/yr) while ruminants contribute to 97%. Models of prediction of N excretion in feces and urine, established for a 500kg BW adult horse at maintenance, used N intake or DM intake and N content of diets as predictors ($R^2 > 0.80$). Annual total N excretion would reach 38 N units/al. Mineral excretion varies from 30% to 70% of voluntary intake depending on the mineral considered, the type of animal, its physiological state and the balance between minerals in the diet. To date, excretion of the different types of minerals cannot be predicted accurately. About 600 000 horses produce manure in France, with an average of 12t/yr for a 500kg BW horse. Sustainable manure management needs to be implemented, especially in suburban areas where the number of horses is increasing.

Key-words: equine, enteric methane, nitrogen excretion, mineral excretion, manure

Introduction

Depuis le sommet de Rio en 1992, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation du monde politique et des responsables scientifiques. Celle-ci a été confirmée par les sommets suivants (Kyoto 1997, Copenhague 2009), en dépit des difficultés rencontrées pour parvenir à un consensus sur les mesures à prendre. L'élevage des herbivores est concerné du fait des rejets des animaux mais aussi de l'impact potentiellement bénéfique du pâturage sur la biodiversité prairiale et vis-à-vis de l'entretien des paysages. Dans ce contexte et du fait de l'accroissement de la population équine en France, cet article fait le point sur les différentes sources de pollution issues de l'élevage et de l'utilisation du cheval.

Parmi les produits issus de la digestion et du métabolisme des animaux d'élevage, le méthane entérique, qui représenterait environ 45% des émissions totales de méthane en France, serait responsable d'environ 5% du réchauffement global pour notre pays (Moss *et al.* 2000). Le méthane est une cible particulièrement intéressante dans le cadre de la lutte contre l'effet de serre car son Pouvoir de Réchauffement Global est plus de 20 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone et parce que sa durée de vie dans l'atmosphère est courte (12-20ans). Le méthane est donc un gaz très réactif et une réduction de ses émissions peut avoir des répercussions intéressantes sur l'effet de serre en quelques décennies. Il est donc important de quantifier le plus précisément possible les émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage, en tenant compte des effets des facteurs liés à l'animal et à l'alimentation. Dans cette communication, nous présentons l'évaluation des émissions de méthane par les équins en prenant en compte toutes les informations disponibles, sans envisager les conséquences plus globales sur les émissions de gaz à effet de serre dues aux modifications des pratiques d'élevage. D'autre part, dans un contexte où les émissions de rejets azotés par les herbivores sont de plus en plus étudiées dans l'objectif de les réduire, cet article propose des équations de prévision de l'excrétion d'azote par voies fécale et urinaire chez les équins. Des références originales sont également apportées concernant l'excrétion de minéraux. Enfin, la problématique des rejets liés aux processus digestifs et aux pratiques en milieu confiné, qui se retrouvent dans le fumier, est également importante du fait de l'accroissement du nombre de chevaux au travail en France, notamment en zone périurbaine. Cette communication présente différents modes de valorisation du fumier dans un intérêt technico-économique respectueux de l'environnement.

1. Produits issus de la digestion et du métabolisme

1.1. Emissions de méthane entérique

Le méthane qui est produit naturellement au cours des fermentations digestives anaérobies, joue un rôle essentiel dans l'efficacité des écosystèmes microbiens. En anaérobiose, les réactions d'oxydation qui génèrent l'ATP (adénosine triphosphate) nécessaire à la croissance des microorganismes conduisent à la production d'hydrogène métabolique (2H). Ce dernier doit être éliminé au fur et à mesure de sa production car une élévation de la pression partielle en hydrogène dans le milieu inhiberait l'action des déshydrogénases dans le processus d'oxydation et conduirait à un arrêt des fermentations. Chez les ruminants, l'utilisation continue de l'hydrogène est assurée principalement par les *archaea* méthanogènes dans le rumen, alors que d'autres microorganismes comme les bactéries acétogènes sont davantage impliquées dans le gros intestin. La méthanogénèse doit donc être considérée comme une voie métabolique essentielle dans la digestion et les fermentations microbiennes au sein du tractus digestif.

Compte tenu de son volume, de sa localisation dans le tube digestif et de sa contribution dans la digestion totale des aliments ingérés par les ruminants, le rumen est de loin le compartiment le plus impliqué dans la production de méthane. En effet, les fermentations dans le gros intestin ne concernent que les résidus qui ont échappé à la digestion stomacale et intestinale. Toutefois, celles-ci peuvent être significatives dans le cas des herbivores monogastriques de grande taille comme les équidés puisque le gros intestin est alors le lieu exclusif de la digestion des constituants pariétaux des fourrages.

Un inventaire des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en France a été effectué par l'INRA à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (Vermorel *et al.* 2008). Cet article rapporte les modes de calculs des émissions de méthane par les différentes catégories d'équins en France en 2007.

1.1.1. Méthode

Il existe très peu de données sur les émissions de méthane par les équins en dehors de celles obtenues avec 12 rations distribuées à des chevaux de selle (Vermorel *et al.* 1997), et avec quelques rations seulement chez des chevaux lourds en Allemagne (Fingerling 1931-1934 cité par Franke 1954), en Roumanie (Burlacu *et al.* 1993) et des poneys en France (Vermorel et Vernet 1991).

La démarche utilisée pour évaluer les émissions de méthane par les équins part des besoins (ou des apports énergétiques recommandés) exprimés en UFC (INRA 1990). Les apports en UFC sont convertis en énergie digestible selon une méthode factorielle (Martin-Rosset *et al.* 2012) en utilisant les équations de prédiction du système UFC (Vermorel et Martin-Rosset 1997). L'émission de méthane est ensuite calculée à partir de la quantité d'énergie digestible ingérée à l'aide d'une équation de prédiction de l'énergie du méthane en pourcent de l'énergie digestible ingérée (E_{CH_4} %ED) (Vermorel *et al.* 1997) :

$$E_{CH_4} (\%ED) = 7,57 - (0,12 \times 28,4CB\%) - (0,01 \times MAT\%) - (0,05GC\%)$$

Avec CB: cellulose brute, MAT: matières azotées totales, GC: glucides cytoplasmiques.

Pour chaque catégorie d'équins présentée dans le tableau 1 et pour chaque stade physiologique (entretien seul, gestation, lactation, stade de croissance...) et chaque type d'alimentation (à l'écurie ou au pâturage), l'émission journalière de méthane a été calculée à partir de l'apport recommandé en UFC et de la composition moyenne des rations utilisées en France.

Les besoins énergétiques des différentes catégories d'équins ont été déterminés comme suit :

- les besoins de tous les chevaux au pâturage ont été considérés égaux à 110% des besoins d'entretien. Les besoins énergétiques des étalons ont été considérés égaux à 115% de ceux des juments non fécondées ou des hongres ;
- pour les juments suitées, il a été tenu compte de l'évolution des besoins au cours des 4 derniers mois de gestation et des 6 mois de lactation ;
- les chevaux de course (adultes et poulains de 3 et 4 ans) entraînés pour la compétition ont été traités séparément en raison de leurs besoins énergétiques élevés et de leur rationnement particulier. En revanche, les juments et les poulains de 1 et 2 ans ont été traités comme les juments et les poulains de sport et de loisirs ;
- dans le cas des poulains il a été tenu compte de la consommation moyenne de lait au cours des 6 mois d'allaitement et de l'apport énergétique du lait (0,20 UFC par kg) et du gain de poids ;
- dans le cas des poneys et des ânes, faute d'informations précises sur leurs besoins énergétiques en 2007, les émissions de méthane ont été évaluées à partir des valeurs calculées pour les chevaux de races lourdes en fonction du poids métabolique.

Les évaluations des effectifs des diverses catégories d'équins faites en 2007 à partir des statistiques officielles des Haras Nationaux (Annuaire ECUS 2006) ont été utilisées.

Tableau 1 : Facteurs d'émission et émissions de méthane par les équins en France en 2007 (Vermorel *et al.* 2008)
Table 1: Emission factors and enteric methane emissions by equines in France in 2007 (Vermorel *et al.* 2008)

	Effectif annuel (×1000)	Facteur d'émission (kg/tête/an)	CH ₄ total (t/an)	% équins
Juments races lourdes nourrices	51	29,4	1489	7,4
Juments races lourdes non fécondées	38	19,4	734	3,6
Poulains races lourdes abattus à 8 mois	27	3,7	101	0,5
Poulains races lourdes abattus à 12 mois	7	13,5	92	0,5
Poulains+pouliches races lourdes, renouvellement (0-36 mois)	27	21,6	594	2,9
Etalons races lourdes	3	22,3	60	0,3
Juments de sport et loisir, nourrices	90	25,1	2273	11,2
Juments de sport et loisir, non fécondées	23	17,5	402	2,0
Chevaux de sport et loisir	381	20,4	7784	38,5
Poulains de sport et loisir (0-36 mois)	110	19,9	2187	10,8
Etalons de sport et loisir	9	23,5	211	1,0
Chevaux de course	16	30,2	488	2,4
Poulains de course (0-24 mois)	60	17,9	1071	5,3
Poulains de course (24-48 mois)	60	30,2	1812	9,0
Total chevaux	900	21,4	19298	95,5
Ponettes et ânesses, nourrices	13	14,6	188	0,9
Ponettes et ânesses, non fécondées	25	10,0	252	1,2
Etalons ânes et poneys	2	11,5	22	0,1
Poneys et ânon (0-3ans)	35	12,7	442	2,2
Total ânes et poneys	75	12,1	904	4,5
Total équins	975	20,7	20202	100

1.1.2. Bilan des émissions de méthane entérique par les équins

Les rejets annuels de méthane entérique par les équins ont été évalués à 20 202 tonnes pour un effectif global de 97 5000 animaux en 2007 (tableau 1). Le facteur d'émission est en moyenne de 20,7kg/animal/an. La valeur estimée pour la jument nourrice de race lourde (29,4kg) est égale à 34% de celle calculée pour une vache de race allaitante nourrice (Vermorel *et al.* 2008).

1.2. Evaluation de l'excrétion d'azote par les équins

1.2.1. Méthode

L'évaluation de l'excrétion d'azote par les équins a été réalisée à partir d'une compilation d'essais de digestibilité et de bilans azotés conduits à l'INRA sur le cheval de selle adulte à l'entretien de 500kg. Les chevaux ont été alimentés à hauteur de 1,2 fois leurs besoins d'entretien avec des régimes constitués exclusivement ou majoritairement de fourrages. Durant les essais de digestibilité, la collecte totale de fèces a été réalisée pendant 6j après 14j d'adaptation (e.g. Martin-Rosset & Dulphy 1987; Martin-Rosset *et al.* 1990). Durant les bilans énergétiques et azotés conduits en chambres respiratoires, l'urine totale a été collectée pendant 6j consécutifs selon la méthode décrite par Vermorel *et al.* (1997).

1.2.2 Excrétion fécale d'azote

Onze régimes (composés de 90 à 100% de fourrages) ont été étudiés sur 4 à 6 chevaux à chaque période. La teneur en matières azotées totales (MAT) de ces fourrages a varié de 69 à 214g/kgMS. La quantité de MAT excrétée dans les fèces (MATf, g/kgPV) est positivement corrélée à l'ingestion de MAT (MATi, g/kgPV) selon la relation suivante :

$$\text{MATf (g/kgPV)} = 0,256\text{MATi (g/kg PV)} + 0,331$$

$$R^2=0,866, \text{ écart-type résiduel}=0,11, \text{ coefficient de variation}=11,2\%, n=50$$

Ce modèle peut être utilisé pour des chevaux nourris à base de fourrages verts ou conservés. A titre indicatif, l'excrétion annuelle d'azote fécal par un cheval adulte de 500kg à l'entretien nourri sur un régime à base de foin (95% foin et 5% concentrés) est de l'ordre de 116kgMAT soit 18 unités d'azote.

1.2.2. Excrétion urinaire d'azote

Trente régimes (composés de 45 à 95% de fourrages) ont été étudiés sur 6 à 8 chevaux à chaque période. La teneur en matières azotées totales (MAT) de ces régimes a varié de 58 à 142g/kgMS. La quantité d'azote excrétée dans l'urine (Nu, mg/kgPV^{0,75}) peut être estimée à partir de l'azote ingéré (Ni, g/ kgPV^{0,75}) ou à partir de la matière sèche ingérée (MSI, g/ kgPV^{0,75}) et de la teneur en matières azotées totale (MAT, %MS) du régime :

$$\text{Nu (mg/kgPV}^{0,75}\text{)} = 548,13\text{Ni (g/ kgPV}^{0,75}\text{)} + 47,17$$

$$R^2=0,716, \text{ écart-type résiduel}=93,5, \text{ coefficient de variation}=13,7\%, n=74$$

$$\text{Nu (mg/kgPV}^{0,75}\text{)} = 6,04\text{MSI (g/ kgPV}^{0,75}\text{)} + 94,91\text{MAT(\%MS)} - 753,09$$

$$R^2=0,824, \text{ écart-type résiduel}=74,4, \text{ coefficient de variation}=10,9\%, n=74$$

L'excrétion urinaire d'azote est exprimée en fonction du poids métabolique car les pertes d'azote urinaire sont liées au métabolisme. L'excrétion journalière d'urine par un cheval adulte de 500kgPV à l'entretien, nourri avec une ration à base de fourrages (45 à 95%), est comprise entre 12 et 25ml/kgPV soit 6 à 13l (Vermorel *et al.* 1997). L'excrétion d'urine est bien entendu liée à la consommation d'eau. Toutefois, chez des chevaux nourris avec un même fourrage en vert ou sec, les quantités d'eau consommées (eau apportée par le fourrage+eau de boisson) sont voisines. Ainsi, le modèle proposé permet d'estimer l'excrétion urinaire d'azote chez des chevaux nourris à l'auge et au pâturage. A titre indicatif, l'excrétion annuelle d'azote urinaire par un cheval adulte de 500kg à l'entretien nourri avec un régime à base de foin (95% foin et 5% concentrés) est de l'ordre de 121kgMAT soit 19 unités d'azote.

1.2.3. Bilan d'excrétion d'azote des équins

Le bilan à l'échelle de la population équine est en cours d'élaboration. Il est établi à partir des besoins des différents types de chevaux exprimés en MADC (INRA 2012) convertis en MAT selon une démarche factorielle (Martin-Rosset et al 2012) qui utilise les équations de prédiction du système MADC (Martin-Rosset et Tisserand 2004). A titre d'information, l'excrétion totale d'un cheval de 500kg à l'entretien s'élève à 238kg de MAT soit 38 unités d'azote.

1.3. Evaluation des rejets de minéraux par les équins

1.3.1. Excrétion fécale des minéraux

Le cheval adulte à l'entretien de 500kg alimenté à volonté à l'auge avec des fourrages verts seuls émet quotidiennement en moyenne 8gMS/kgPV de fèces pour une quantité ingérée moyenne de 9,4kgMS d'après les mesures effectuées à l'INRA. La teneur moyenne en minéraux totaux des fèces des chevaux extraite de la même étude est de 175 ± 27 g/kgMS mais avec un coefficient de variation très élevé (28,6%). La teneur en minéraux varie en effet de façon importante avec le numéro de cycle mais également au cours de chaque cycle. L'excrétion journalière de minéraux totaux du cheval adulte de 500kgPV est donc de l'ordre de 701 ± 177 g/j/animal (Martin-Rosset et Fleurance, 2012). Les fèces des chevaux sont riches en calcium et phosphore surtout, et moins bien pourvus en magnésium, sodium et potassium (tableau 2).

Tableau 2 : Teneur en minéraux des fèces et de l'urine du cheval (mg/kgPV) (d'après Hintz et Schryver 1973, 1976 ; Schryver et al. 1970, 1971 ; Meyer 1980 ; Van Doorn 2003)
Table 2: Mineral contents of feces and urine in horses (mg/kgBW)

	Ca	P	Mg	Na	K
Fèces	90-100	75-85	15-20	8-30	15-25
Urine	40-50	20-25	5-15	10-30	125-150

Le cheval de 500kgPV excrète dans les fèces au cours d'une saison totale de pâturage environ 10kg de calcium, 8kg de phosphore, 2kg de magnésium et 2kg de potassium. Ces excrétions moyennes varient en fonction de la teneur en minéraux des fourrages pâturés car celle-ci est très variable (INRA 2012: tables des aliments), mais également selon les interactions digestives entre les minéraux eux-mêmes. Ainsi, l'excrétion fécale du calcium augmente avec la teneur de l'ingéré et, dans une certaine mesure, avec la teneur en phosphore. L'excrétion du phosphore augmente avec les teneurs en phosphore et en calcium de l'ingéré mais, dans ce dernier cas, seulement si le rapport Ca/P ne dépasse pas 2,5-3,0. L'excrétion du magnésium est accrue par les teneurs en magnésium, phosphore et calcium de l'ingéré. Enfin, l'excrétion fécale du sodium diminue lorsque l'ingestion de potassium augmente. Les quantités journalières des différents minéraux excrétés varient avec le type d'animal et l'état physiologique. Actuellement, les rejets des différents minéraux dans les fèces ne peuvent pas être prédits avec des modèles ayant une précision satisfaisante en raison des nombreuses interactions entre les différents éléments au sein d'une même ration dont l'impact quantitatif doit être mieux mesuré.

1.3.2. Excrétion urinaire des minéraux

L'urine du cheval est chargée en minéraux totaux. Elle est très riche en potassium et bien pourvue en calcium (tableau 2). Le cheval de 500kgPV excréterait donc au cours d'une saison totale de pâturage environ 5kg de calcium, 2,5kg de phosphore, 1kg de magnésium, 1,5kg de sodium et 14kg de potassium (Martin-Rosset et Fleurance 2012). Ces valeurs constituent des ordres de grandeur du fait des variations des teneurs en minéraux des fourrages et des interactions entre les minéraux. L'excrétion urinaire des différents minéraux augmente généralement avec leur teneur dans l'ingéré. En revanche, l'excrétion du calcium diminue quand la teneur en calcium de l'ingéré augmente. L'excrétion du magnésium augmente avec l'élévation de la teneur en calcium mais diminue avec l'accroissement de la teneur en phosphore. L'excrétion en sodium diminue quand la quantité ingérée de potassium augmente. Comme pour les fèces, les rejets des différents minéraux dans l'urine ne peuvent être prédits précisément à ce jour.

2. Produits issus des processus digestifs et des pratiques en milieu confiné : le cas du fumier

2.1. Quantité produite

Environ 60% du million d'équidés élevés et/ou utilisés en France produisent du fumier. Il s'agit essentiellement des chevaux de course, de sport, de loisirs et des poneys. Les juments et les jeunes chevaux sont généralement élevés en box ou en stabulation pendant l'hiver tandis que les chevaux au travail sont conduits tout au long de l'année majoritairement en box, à l'exception d'une fraction des chevaux de loisirs et des poneys. Une population croissante de chevaux au travail est concentrée en zone périurbaine : les centres d'entraînement qui regroupent plusieurs centaines de chevaux de course et une proportion très élevée des 7200 centres équestres. A titre indicatif, un cheval d'un PV moyen de 500kg produit annuellement entre 7 et 14 tonnes de fumier (fèces+urine+pailles), avec une moyenne de 12 tonnes/an. La quantité de fumier produite par la population équine est donc de l'ordre de plusieurs millions de tonnes. Cette estimation sommaire varie avec la nature des litières utilisées : pailles, lin, chanvre, copeaux ou semoulettes de bois et avec la technique d'entretien des boxes ou des stabulations (curage et paillage quotidien, hebdomadaire, ou mensuel).

2.2. Caractéristiques physicochimiques majeures du fumier

Le fumier a des caractéristiques qui varient avec la proportion de paille (ou d'autres litières) qu'il contient mais également selon la durée et la qualité du stockage (tableau 3). Les teneurs en matière sèche, en azote total et le rapport C/N sont particulièrement différents entre un fumier pailleux et un fumier « fait ». Le fumier est riche en matière organique, azote total et bien pourvu en phosphore et en potasse, mais la teneur en azote ammoniacal est faible.

Tableau 3 : Composition chimique du fumier et du compost (d'après IFCE 2007, FIVAL 2006)
Table 3: Chemical composition of manure and compost

	Fumier				Compost			
	Pailleux (par kg brut)	Fait ¹ (par kg brut)	Courant (par kg brut)	Courant (par kg sec)	Mini (par kg brut)	Maxi (par kg brut)	Moyenne (par kg brut)	Moyenne (par kg MS)
MS	66,4	42,1	54,0	-	38,0	45,0	41,0	-
MO	54,6	18,4	41,0	89,1	11,0	17,0	14,0	23,7
pH	7,6	8,0	-	-	7,7	8,0	7,7	-
N total	8,7	6,2	8,2	17,8	4,1	6,2	5,2	8,8
C/N	37,2	17,7	-	-	14,0	18,0	16,0	16,0
N ammoniacal	-	-	2,1	4,6	-	-	-	-
P ₂ O ₅	3,7	3,1	3,2	7,0	2,9	4,6	3,7	6,3
K ₂ O	17,0	12,2	9,0	19,6	5,4	10,3	7,9	13,4
MgO	-	-	2,0	4,3	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	7,7	16,4	12,1	20,5

¹ Stocké depuis 2 mois

2.3. Modes de valorisation

Trois possibilités majeures s'offrent aujourd'hui pour valoriser le fumier dans un intérêt technico-économique respectueux de l'environnement : la culture des champignons, le compostage, la production d'énergie.

2.3.1. Substrat pour les champignonnières

La culture du champignon de Paris a constitué jusqu'en 1996 le débouché majeur qui utilisait 1 260 000 tonnes de fumier. Aujourd'hui cette culture, qui est en forte restructuration, n'en utiliserait plus qu'approximativement 500 000 tonnes (FIVAL 2006).

2.3.2. Le compostage

Le fumier brut est peu utilisé pour épandage agricole direct car il est souvent trop pailleux et grossier. Sa transformation dans le sol par les micro-organismes mobilise beaucoup d'azote du fumier qui n'est plus disponible pour les cultures pratiquées. Par ailleurs, il peut contaminer les sols, d'une part en graines

adventices compte-tenu de la digestion chez le cheval, et d'autre part en pathogènes pour les animaux. Le compostage préalable doit être préféré. Le processus du compostage consiste à faire transformer le produit initial, mis en andain, par une fermentation aérobie générée par des microorganismes à une température de 50°C minimum pendant 10 à 12 semaines après 2 retournements espacés de 4 à 6 semaines (IFCE 2007). Le procédé a pour objectif majeur d'atteindre un rapport C/N \approx 15 et une composition favorable au plan agronomique (tableau 4).

Tableau 4 : Valeur agronomique du compost (d'après IFCE 2007)
Table 4: Agronomic value of compost (from IFCE 2007)

	N	P	K	Ca	Mg
Unité agronomique	5,2	3,7	7,9	12,1	1,6

Le coût de la réalisation et l'épandage d'un compost est plus faible que l'achat et l'épandage d'un engrais chimique correspondant en unité agronomique (62 vs. 89 euros/ha d'après IFCE 2007).

2.3.3. La production d'énergie

Le fumier peut être valorisé en produisant soit une énergie directement utilisable par combustion soit indirectement par méthanisation.

La combustion consiste à brûler, dans des installations adaptées, la biomasse pour produire de la chaleur. Cela concerne surtout les fumiers pailleux à base de paille ou de copeaux. Le résidu ne contient que des matières minérales qui représentent seulement 10-15% du volume initial. L'intérêt économique est discuté (FIVAL 2006). Cette technique est règlementée puisque il est interdit d'incinérer des déchets en dehors d'une installation classée agréée soumise à un contrôle par des capteurs d'émissions atmosphériques.

La cogénération est un procédé intermédiaire entre la combustion et la méthanisation car il consiste à brûler le fumier dans un incinérateur couplé à un dispositif de récupération de la chaleur pour produire de l'énergie transportable sous forme de vapeur ou comme électricité. Ce procédé pourrait être intéressant dans les zones à forte concentration de chevaux pour alimenter les unités de cogénération grâce à un service d'enlèvement de proximité (FIVAL 2006, Pôle Compétitivité Equin 2010). Il permet d'améliorer le bilan environnemental des incinérateurs.

La méthanisation a pour objet de produire une énergie renouvelable, le méthane, et un résidu valorisable. C'est un procédé biologique au cours duquel la biomasse est dégradée par les microorganismes en absence d'oxygène. Cette digestion anaérobie produit un biogaz composé de 60% de méthane et 40% de dioxyde de carbone et d'un digesta riche en N, P et K qui représente 80 à 90% du volume du produit initial. Le méthane est utilisé pour produire soit de la chaleur, soit de l'électricité tandis que le digesta est valorisé sous forme d'amendement organique. Le procédé est utilisé surtout pour des fumiers à base de paille car les fumiers à base de copeaux ont un pouvoir méthanogène moindre (FIVAL 2006, Pôle Compétitivité Equin 2010).

3. Discussion

L'émission annuelle totale de méthane entérique par les animaux d'élevage en France en 2007 s'élève à 1,41 million de tonnes. Les bovins contribuent pour plus de 90% aux émissions totales tandis que la part des autres espèces animales est mineure : ovins : 6,2%, équins : 1,5%, caprins : 1% et porcins : 0,8%. Les équins sont donc de faibles contributeurs au réchauffement climatique du fait de leur anatomie et physiologie digestive. Ils sont ainsi bien placés pour utiliser les surfaces fourragères dans le cadre d'un élevage durable. Le modèle de prévision et la production de méthane par la population équine française ont été retenus par le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA 2007). Ce bilan sera actualisé en utilisant les nouvelles recommandations alimentaires publiées par l'INRA en 2012 pour les chevaux mais également et spécifiquement pour les poneys et les ânes.

Les modèles d'excrétion fécale et urinaire d'azote proposés pour le cheval adulte à l'entretien (500kgPV) sont plus précis que ceux établis précédemment par Meyer et al. (1985) à partir d'une compilation de données bibliographiques obtenues essentiellement chez les poneys. En effet, le métabolisme azoté du cheval (Martin-Rosset et Vermorel, non publié), comme son métabolisme énergétique (Vermorel et al 1991), ne sont pas directement extrapolables à partir de ceux caractérisant le poney. Les modèles proposés ont été retenus par le CITEPA en 2011. L'évaluation des rejets azotés annuels de la population française d'équidés, en cours d'élaboration, permettra de comparer l'impact des équidés à celui des ruminants. Par ailleurs, ces modèles de prévision permettront aux utilisateurs de mieux évaluer l'intérêt d'appliquer les recommandations alimentaires INRA 2012 pour mieux maîtriser les rejets azotés et, par voie de conséquence, le coût des rations.

Les rejets en minéraux varient de 30 à 70% des quantités ingérées selon l'élément considéré, l'âge, l'état et le stade physiologique des animaux, et les équilibres entre minéraux de la ration. Les rejets ne peuvent actuellement être estimés qu'à partir des teneurs moyennes des fécès et de l'urine extraites des publications les plus sûres et des quantités de fécès et d'urine qui ont été mesurées. Les bilans qui peuvent être ainsi calculés constituent des ordres de grandeur cohérents et plausibles.

L'évaluation des rejets azotés et en minéraux réalisables avec les outils fournis, est également très importante pour établir des bilans agronomiques des surfaces fourragères pâturées par les chevaux, pour mieux ajuster les fumures à appliquer par hectare et mieux les répartir sur les surfaces afin de tenir compte du mode de restitution hétérogène par les chevaux et des interactions éventuelles avec des bovins (pour lesquels on dispose des mêmes outils de prévision) dans le cas d'un pâturage mixte (Martin-Rosset et Trillaud –Geyl 2011, Trillaud–Geyl et Martin-Rosset 2012). Les principales connaissances et les moyens correspondants nécessaires pour définir les stratégies de fumure économes et respectueuses de l'environnement qui découlent de ces bilans ont été définies (Leconte et Trillaud-Geyl 2012).

Enfin, l'utilisation croissante de substances pharmaceutiques à usage vétérinaire comme humain conduit à une contamination environnementale qui commence à interpeller le monde scientifique et politique. Les substances consommées et injectées sont éliminées par voie urinaire et/ou fécale sous forme de métabolites, voire sous forme encore active, qui contribuent à polluer les eaux de surface et souterraines. Cette forme de pollution fait maintenant partie des préoccupations de l'IFCE. Un programme de recherche est conduit à la Station expérimentale de Chamberet par l'Université de Limoges (Faculté de pharmacie, Groupe de recherche GRESE) depuis 2011.

Remerciements

Les auteurs remercient Florence Garcia pour sa contribution à l'élaboration des modèles de prévision des rejets azotés et minéraux.

Références

Annuaire ECUS. 2006. *Tableau économique, statistique et graphique du cheval en France*. Editeur : les Haras Nationaux, Arnac-Pompadour, France, 64p.

Burlacu, G.H., Voicu, D., Voicu, I., Nicolae, M., Petrache, E., Georgescu, G.H., Balan, S. 1993. Study on the energy and protein metabolism in horses. *Animal Nutrition* 45, 173-185.

FIVAL 2006. Pour mieux gérer son fumier de cheval. 104, rue Réaumur, 75002 Paris, p.40, [http : www.fival.info](http://www.fival.info)

CITEPA 2007. Emission dans l'air; données nationales sur le méthane, http://www.citepa.org/emissions/nationales/Ges/ges_ch4.htm

Franke, E.R. 1954. Die Verdanlichkeit verschiedener Futtermittel beim Pferde. In: *100 Jahre Möckern: die Bewertung der Futterstoffe und andere Problem der Tierernährung* 2, 441-472.

Hintz, H.F., Schryver, H.F. 1973. Magnesium, calcium and phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of magnesium. *Journal of Animal Science* 37, 927-930.

Hintz, H.F., Schryver, H.F. 1976. Potassium metabolism in ponies. *Journal of Animal Science* 42, 637-643.

IFCE 2007. Le compostage du fumier de cheval en élevage. Guide pratique, p. 11, <http://www.ifce.fr>

INRA 1990. *Alimentation des chevaux*. Editeur: Martin-Rosset, W. INRA Editions, Versailles, France, 232p.

INRA 2012. Nutrition et alimentation des chevaux . Editeur: Martin-Rosset, W. QUAE Editions, Versailles, France, 624p.

Leconte, D., Trillaud-Geyl, C., 2012. Conduite au pâturage : au plan agronomique In : Nutrition et alimentation des chevaux, Nouvelles recommandations alimentaires de l'INRA. Editeur : Martin-Rosset, W. QUAE Editions, Versailles, France, 398-402

Martin-Rosset, W., Dulphy, J.P. 1987. Digestibility. Interactions between forages and concentrates in horse: influence of feeding level. Comparison with sheep. *Livestock Production Science* 17, 263-276.

Martin-Rosset W., Doreau M., Boulot S. and Miraglia N., 1990. Influence of level of feeding and physiological state on diet digestibility in light and heavy breed horses. *Livest. Prod. Sci.*, 25, 257-264.

Martin-Rosset W., Vermorel M., Doreau M., Tisserand J.L. and Andrieu J., 1994. The French horse feed evaluation systems and recommended allowances for energy and protein. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 37-56.

Martin-Rosset W., Tisserand J.L., 2004. Evaluation and expression of protein allowances and protein

value of feeds in the MADC system for the performance horse. In : *Proceeding 1st European Workshop Equine Nutrition EAAP* Publications, n° 111, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 103-140.

Martin-Rosset, W., Trillaud -Geyl, C., 2011. Pâturage associé des chevaux et des bovins sur des prairies permanentes : premiers résultats expérimentaux. *Fourrages*, 207, 211-214.

Martin-Rosset, W., Fleurance, G. 2012. Impact environnemental des chevaux 2. Les rejets. In : *Nutrition et alimentation des chevaux, Nouvelles recommandations alimentaires de l'INRA*. Editeur : Martin-Rosset, W. QUAE Editions, Versailles, France, 523-539.

Martin-Rosset, W., Vermorel, M., Fleurance, G., 2012. Quantitative assessment of enteric methane emission and nitrogen excretion by equines. In 6th EWEN, Saastamoinen, M., Fradinho, M.J., Santos, A. S., And Miraglia, M., Eds. Wageningen Academic publishers, The Netherlands, 485-492.

Meyer, H. 1980. Na-stoffwechsel und Na-Bedarf des Pferdes. *Ubers Tierernährg* 8, 37-64.

Meyer, H., von Stein, S., Schmidt, M. 1985. Investigations to determine endogenous faecal and renal losses in horses. In : *Proceedings 9th ENPS*, Michigan, USA, 68-72.

Moss, A., Jouany, J.-P., Newbold, C.J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49, 231-253.

Pôle Compétitivité Equin. 2010. *Trouver la solution pour la gestion de votre fumier de cheval*, [http : //cheval-fumier.com](http://cheval-fumier.com) ou [http:// www.pole-filiere-equine.com](http://www.pole-filiere-equine.com).

Schryver, H.F., Craig, P.H., Hintz, H.F. 1970. Calcium metabolism in ponies fed varying levels of calcium. *Journal of Nutrition* 100, 955-964.

Schryver, H.F., Hintz, H.F., Craig, P.H. 1971a. Calcium metabolism in ponies fed high phosphorus diet. *Journal of Nutrition* 101, 259-264.

Schryver, H.F., Hintz, H.F., Craig, P.H. 1971b. Phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of phosphorus. *Journal of Nutrition* 101, 1257-1263.

Trillaud -Geyl, C., Martin-Rosset, W., 2012. Conduite au pâturage : au plan zootechnique, choix du système de pâturage. In : *Nutrition et alimentation des chevaux, Nouvelles recommandations alimentaires de l'INRA*. Editeur : Martin-Rosset, W. QUAE Editions, Versailles, France, 392-397.

Van Doorn, D. 2003. Equine phosphorus absorption and excretion. *PhD dissertation*, University of Utrecht, The Netherlands, 125p.

Vermorel, M., Vernet, J. 1991. Energy utilization of digestion end-products for maintenance in ponies. In: *Energy metabolism of farm animals*. Editors: Wenk, C., Boessinger, M. EAAP Publ. Institut für Nutztierwissenschaften, ETH Zentrum, Zürich, Switzerland 58, 433-136.

Vermorel, M., Martin-Rosset, W. 1997. Concepts, scientific bases, structure and validation of the French horse net energy system (UFC). *Livestock Production Science* 47, 261-275.

Vermorel, M., Martin-Rosset, W., Vernet, J. 1997. Energy utilization of twelve forages or mixed diets for maintenance by sport horses. *Livestock Production Science* 47, 157-167.

Vermorel, M., Jouany, J.-P., Eugène, M., Sauvant, D., Noblet, J., Durmad, J.-Y. 2008. Evaluation quantitative des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France. *INRA Productions Animales* 21, 403-418.