

PRÉSENTÉ



179
MEMO167
Consultation sur le développement durable
de la production porcine au Québec

6211-12-007

Mémoire sur l'environnement porcin au Québec

Présentés par Florent Coulombe

UN MOT DE PRÉSENTATION

Mesdames, Messieurs les commissaires,

Il nous fait plaisir de vous présenter comme citoyens notre mémoire sur l'élevage agricole.

De plus en plus les fermes d'aujourd'hui se dirigent vers une production animale ou végétale industrielle.

Aujourd'hui une exploitation agricole d'une valeur 500 000\$ à un 1 000 000\$ est une PME. Ces PME agricoles font parties d'intérêts financiers puissants et de coopératives industrielles puissantes. Leurs intérêts sont en jeux. En plus, ils non pas à supporter directement les structures d'exploitations en passant par des intermédiaires. Soyez assuré, ils ont les moyens de réaliser leurs projets. Ils passent par un producteur pour réaliser, pour ne pas à avoir de restriction à leur projet de production à venir.

Certains se servent de la loi, car la loi les défend au départ, en tant que producteurs, ils ont le droit de produire. De cette manière, le projet va se réaliser. Certains prometteurs vont devant les tribunaux pour réaliser leurs projets même si le milieu n'en veut pas dans leur environnement. Regardez, ils ont monté une association "Les Éleveurs de porc du Québec". Cette association fait tout à son possible actuellement pour casser le moratoire au Québec qui limite leur développement. Le cochon c'est payant en cochon. J'ose dire ici, certains, écrase tout. Le projet, on va le bâtir qu'ils le veulent ou pas. Il est regrettable que des entreprises, des PME agricoles de productions industrielles se foutent des lois, de la population qui leurs à permis d'être ce qu'il sont aujourd'hui.

Aujourd'hui, le Ministère de l'agriculture et de l'environnement se doivent d'avoir du mordant envers tous les producteurs qui exploitent un domaine agricole au Québec. Pour qu'ils se rendent compte que s'est sérieux aujourd'hui l'environnement et le respect du monde animal. D'ailleurs, il faut le dire, oui osez le dire, se sont des machines à tuer en voie de le devenir dans 6 ou 8 mois de productions.

Mesdames, Messieurs les commissaires,

Dans la nature, l'animal est compatible avec la nature et avec l'homme. Mais l'homme n'est pas compatible avec la nature et le monde animal. Avec l'homme, les industries, les PME, c'est la coupe à blanc de la forêt qui ont détruis l'habitat animal. La preuve, on fait des millions en vendant des permis de chasse, on prend plaisir à tuer l'animal dans son milieu naturel. On ose le dire, on est une civilisation évoluée. Dans mon mémoire, ici, je peux le dire après 30 ans dans l'industrie comme technicien en automatisme et contrôle, j'en ai vu des choses c'est pas possible. J'ai pas 66 ans pour rien. Je connais très bien les façons d'agir des industries. des PME et des cultivateurs. Une grande partie de ces producteurs se foutent éperdument de l'environnement. Ils ne veulent rien savoir sur le sujet. L' UPA, leur syndicat, que font-ils dans leur milieu pour l'environnement? Ils n'osent pas critiquer la main qui les paye pour conserver son existence. Oui, je sais, ici je suis sévère mais eux, sont sans pardon.

Mesdames, Messieurs les commissaires,

Nous savons, vous allez porter une attention spéciale sur certaines recommandations qui suit le mémoire. Sur notre rapport, qui se veut une critique, oui, mais constructif aussi, aujourd'hui, c'est fini de faire payer le Gouvernement et la population pour des personnes qui non pas le respect d'eux-mêmes pas plus pour l'environnement.

2003

Sélection d'un site d'exploitation divers ou d'élevage de bétails et la construction d'un bassin de retenu d'un polluant, de purin de porc et la litière de vache ou toutes autres productions au Québec

Mesdames, Messieurs les commissaires,

Tout à été écrit sur l'environnement animal, sur les fermes agricoles partout dans le monde. Dans certains dossiers, vous trouverez des notes suggestives qui font partie de notre mémoire.

Prenez note ici:

Vous trouverez attacher au mémoire des études faites à l'extérieure du Québec, en Ontario et en Europe.

Tous les textes dans le dossier, en noir foncé, font parti des suggestions du mémoire, soit de l'étude ici:

Dossier [1-Le fumier.html](#)

Dossier [2-Phosphore.htm](#)

Dossier [3-Épandage.html](#)

Dossier [4-Surplus et permis.htm](#)

Dossier [5-Traitement.htm](#)

Dossier [6-Chaleur produite.html](#)

Dossier [7-Le cuivre.html](#)

Dossier [8-Cours de formation.html](#)

Ici, un vidéo à voir sur la pollution phosphore. Un clic ici:

[Phosphore pollution vidéo 2003.avi](#)

Introduction

Il est très important de bien choisir l'endroit où implanter une exploitation agricole et d'élevage aujourd'hui au Québec. C'est au stade de la planification qu'il convient de s'occuper des détails concernant l'emplacement, de voir les espaces pour les senteurs, la conception et la configuration des bâtiments et de l'aire d'entreposage du fumier pour prévoir une gestion appropriée des nuisances publiques (odeurs, pollution de l'eau et l'environnement du site et du regard).

Pourquoi installer une ferme ici?

Décider de choisir un site, c'est sélectionner un emplacement où le sol est compatible pour un niveau assimilable sans danger de pollution des eaux, des surfaces ou souterraines. Pour l'exploitation agricole animal que l'on veut en faire, sous l'égide d'experts conseils, dans le domaine avenir. Par rapport avec le développement d'une activité rurale en tenant compte des ressources locales et des effets prévisibles de cette activité sur les autres activités de la région.

Les personnes qui subiront les nuisances inhérentes à l'implantation d'une activité d'élevage (odeurs, bruit, poussière) voudraient faire repousser de telles exploitations dans des zones éloignées, mais cela n'est pas toujours pratique car la viabilité de ces entreprises dépend de la proximité de bonnes routes d'accès, d'installations électriques et des terres fertiles pour l'épandage du fumier. Il s'agit donc de trouver un équilibre entre la qualité de la vie des résidents et une utilisation productive des ressources et des infrastructures locales mais cela, tout en préservant en premier lieu, l'eau de surface et l'eau souterraine du lieu de la nouvelle exploitation, avant tout, même le domaine monétaire du prometteur de projet.

Principes d'aménagement du territoire

L'aménagement du territoire est un élément dont il faut toujours tenir compte. Les autorités (les MRC, les villes et les villages), ont la compétence et décident du meilleur usage des terres particulières dans une zone donnée en fonction du niveau de rentabilité et d'efficacité escompté à long terme : Vaut-il mieux laisser les terres en état, y autoriser des activités agricoles ou industrielles en protéger l'usage résidentiel ou de loisirs, l'eau de surface, étant naturelle, marécage, etc.? Le Canada a beau être un grand pays, les terrains agricoles à fort rendement s'y font de plus en plus rares. Les zones agricoles désignées doivent être réservées aux projets agricoles car les bonnes récoltes ne peuvent se produire que dans des régions où le climat, les ressources en eau et la fertilité des sols sont propices.

Exemple de processus d'examen technique

Au Québec les gouvernements municipaux sont l'instance de décision et de responsabilité suprême en matière de réglementation de l'aménagement du territoire. Certaines municipalités ne réussissent pas à contrôler le développement des activités en exigeant le respect de certains critères relevant des schémas d'aménagement des terres et des règlements administratifs de zonage. (Les MRC se doivent d'être au dessus des municipalités, jouer leur rôle de sous Gouvernement au Québec, de faire appliquer les lois qui régie l'agriculture et l'environnement). Les MRC, les municipalités où de tels règlements sont en vigueur peuvent autoriser la création d'exploitation d'élevage intensif dans des zones agricoles désignées au schéma de production régionale, si les exploitants respectent, entre autre, les règlements de zonage et ont en tout temps une assurance de responsabilités contre tous dommages, contre tous biens publics.. Toute personne, firme, associé ou société qui se propose de créer une exploitation d'élevage ou autre, doit se soumettre à un processus d'examen de la MRC, de la municipalité, du Ministère de l'agriculture et de l'environnement et soumettre son projet aux comités publics avant d'obtenir tous les permis conditionnels d'exploitation ou d'utilisation des terres.

Au cours de l'examen technique par différents experts, d'une demande de projet d'utilisation conditionnelle des terres, les Conseils municipaux doivent consulter obligatoirement la MRC et elle, doit consulter les spécialistes des comités pour l'examen technique régional qui ont pour mandat, de fournir toutes les données utiles à la prise de décision concernant les exploitations diverses ou d'élevage de bétails ou autres en agriculture . Des représentants de plusieurs Ministères du Québec (agriculture, alimentation, conservation et affaires intergouvernementales), membres de ces comités, analysent les projets soumis du point de vue du respect des principes directeurs, des réglementations et des règlements administratifs en vigueur et à la région. Ils remettent un rapport écrit rappelant les règles et lois diverses à respecter pour l'usage des terres, la qualité de l'eau et la sélection d'un site à l'initiateur du projet et au Conseil municipal qui, après en avoir pris connaissance, le met à la disposition du public pour la consultation par la population concernée dans leur région. Avant le montage du site, avant prise en main, le ou les prometteurs ou propriétaires devront avoir une assurance responsabilité contre tous les bris contre autrui obligatoirement et renouvelable à tous les ans durant l'exploitation de leur site.

Élément à considérer pour la sélection d'un site

Pour toutes les municipalités, l'utilisation des terres est régie par des règlements administratifs et de la MRC, du Ministère de l'agriculture et de l'environnement. Il importe de vérifier auprès de la MRC et de la municipalité concernée les règlements qui s'appliquent aux installations diverses de productions et d'élevage dans le secteur.

Une triple analyse par la MRC, la municipalité, les experts ou comités et la population, serviront à

vérifier la compatibilité du site en environnement avec test d'absorption du sol avec l'usage recherché.

Sélection d'un site pour la construction des bâtiments

Le bétail vivra pratiquement toute sa vie dans le bâtiment qui leur est destiné. Plusieurs vérifications importantes sont à effectuer au stade de la planification de la construction par des experts conseils spécifique aux techniques et donc bien avant le choix définitif du lieu d'implantation pour prévoir la gestion et les mesures d'atténuation des nuisances prévisibles tel que les odeurs ou la pollution du sol par le fumier, une analyse d'absorption du sol par des experts est obligatoire. Il y a lieu de vérifier :

- Le niveau des risques d'inondation du site
- La quantité et la qualité des ressources en eau
- La possibilité d'isoler le bâtiment par un écran d'arbres et de le construire à 250 mètres au minimum des limites de la propriété pour minimiser les nuisances aux alentours (bruit, poussière, odeurs)
- Les précautions contre la propagation des maladies animales par le purin;
- Les recommandations du Code des pratiques agricoles de la MRC, de la municipalité et du Gouvernement du Québec pour les producteurs de boeufs / laitiers / de porcs / de volailles du Québec pour confirmer les critères d'éloignement des bâtiments en fonction de la taille de l'exploitation, du nombre de résidences dans un rayon de 1,6 km (1 mille) et de la présence de zones désignées comme résidentielles ou de loisirs dans les environ

Sélection d'un site pour l'entreposage du fumier

Le fumier s'accumule dans des structures de béton qui sous notre climat de moins 20 à 30 et parfois 40 degrés Celsius ne répond pas à l'entreposage jusqu'au moment de son épandage sur les terres agricoles. Il est temps au Québec, de montrer son savoir-faire dans le domaine. Tous bassins de retenu, fumier ou agents divers contaminables que se soit, doit avoir sous ses structures, un bassin qui peut contenir le polluant dans sa quantité totale au sol. Pour qu'il n'y ai pas de fuite possible par le sous-sol ou en surface par des bris de structure.

C'est simple à faire et personne n'y a pensé. Plus d'installation de broche à foin au Québec en environnement, c'est fini, il faut oser de faire, oui osez.

Recommandations au mémoire :

1. Première opération:

Creuser une excavation (un trou soit ronde ou carrée dans le sol)

2. Deuxième opération:

Cette excavation doit être assez grande en calcul mathématique pour contenir le contenu du réservoir qui contiendra la matière polluante

3. Troisième opération :

Une couverture géodésique (couverture faite de résidus de bouteilles ici) devra couvrir tout le fond et les côtés du bassin et s'étendre 2 mètres autour du bassin à la surface du sol

4. Quatrième opération :

Étendre une membrane de plastique qui a 0.5 centimètre d'épaisseur. Au dessus de la couverture géodésique qui recouvre déjà le bassin et la surface du sol autour du bassin de 2 mètres (Cette membrane de plastique est faite en Beauce au Québec en passant ici). Tous les joints de la membrane devront être soudés ou collés avec le produit vendu par le fabricant. Ici , un inspecteur en environnement inspectera l'étanchéité du bassin et bien entendu, cela est au frais du ou des propriétaires du bassin.

5. Cinquième opération :

Au dessus de la membrane, une autre couverture géodésique recouvre les parois, le fond du bassin et le sol de surface sur 2 mètres de large autour. Cette couverture géodésique faite de résidus de verre, protège la membrane de toutes perforations par le sol ou par de la structure qui sera construite à l'intérieure.

6. Sixième opération :

15 centimètres de sable recouvre tout le bassin pour le protéger des bris divers et de la structure montée à l'intérieur.

7. Septième opération :

Montage maintenant du réservoir pour recevoir définitivement le fumier ou la matière polluante.

Nous avons une structure ici peu onéreuse, qui sera capable de résister aux contraintes du sol et du froid Sibérien du Québec pendant 75 ans. De semblables bassins ont été construits partout au Pôle Nord du Canada pour retenir la matière polluante. En Californie, de grands bassins retiennent l'eau de la California-Hydro, d'autres endroits du monde les hydrocarbures, la preuve est faite et d'une efficacité à tout épreuve. Tous les sites d'enfouissements au Québec devraient avoir en dessous, cette structure simple qui sauverait des millions et conserverait l'environnement pour plus de cent ans.

Le Ministère de l'environnement et de agriculture doivent être qu'un seul Ministère au Québec. Faire joint-venture avec les MRC et les municipalités autorisant la construction, l'agrandissement ou la modification des installations d'entreposage du fumier sous réserve de l'octroi d'un permis. L'exploitant devra obligatoirement soumettre un plan de gestion du fumier et les résultats des analyses des experts du sol et ce, avant d'obtenir un permis. Il devra démontrer à ses frais et dépend, avoir une assurance obligatoire en responsabilités que les travaux envisagés répondront à des exigences techniques précises et qu'ils seront endossés par un ingénieur qualifié. Il devra aussi démontrer que les installations d'entreposage de fumier seront protégées contre tous risques de contamination des eaux souterraines et de débordement par un sous bassin de retenus aux exigences expliquées plus haut dans ce mémoire.

L'évaluation du site devra confirmer que le site envisagé est compatible à l'étendage du fumier par des experts en évaluation des sols et avoir un sous bassin obligatoire pour l'entreposage du fumier. Le processus d'obtention des permis est très strict dans les zones vulnérables. Aucun sous bassin en terre forte (glaise, argileuse devra être permis au Québec). Ces bassins de pauvres sont pleins de fuites et on ose pas le dire, mais c'est la preuve du froid qui donne des contraintes au sol. Il est suggéré ici, qu'au Québec, il ne soit plus permis de délivrer un permis de construction de structures d'entreposage en terre et terre glaise, ne puisse être délivré pour une municipalité ou toutes sociétés, privées ou publiques pour un site reposant sur un aquifère proche de la surface terrestre, revêtement géodésique sera placé sous la structure d'entreposage comme partout au Québec. La construction de structures d'entreposage en acier ou en béton au-dessus du sol peut aussi y être autorisée mais devra avoir une sous structure géodésique qui peut contenir tous les polluants. Vérifiez la composition du sous-sol ou la présence d'aquifères dans une zone donnée en consultant les cartes des sols, les cartes hydro-géologiques et le registre des puits d'eau du Québec. Dans certains cas, l'assistance d'un hydrologue ou d'ingénieur sera nécessaire pour effectuer des tests peu habituels ou des forages exploratoires d'un certain ouvrage.

RECOMMANDATIONS

Éléments à considérer pour la sélection d'un emplacement pour l'entreposage du fumier :

-

Site résistant à un cycle d'inondations de 100 ans

-

Site en retrait de 200 mètres par rapport aux limites de la propriété, aux cours d'eau de surface, aux gouffres, aux sources et aux puits avec un bassin de retenu en géotextile

-

Emplacement et construction de l'installation respectant les critères du Ministère de

L'agriculture et de l'environnement du Québec

-

Prise en compte de la direction dominante des vents d'été et d'hiver, les vents dominants pour minimiser les nuisances des odeurs dans les environs

-

Atténuation des odeurs par l'utilisation de coupe-vent de mur terre plein non clôturé qui au bout de 10 ans paraît comme un dépotoir et laisse passer les odeurs

-

L'aménagement de ceintures isolantes ou de zones tampon de végétation, d'haies et d'arbres conifères serrés entre eux

-

Une lisière de 60 mètres de largeur qui sera construite, sera une plantation, soit de pins gris ou de conifères très serrés entre eux pour entourer le site de la vue et empêcher les odeurs de s'étendre

-

Consultation des lois pratiquées en agriculture et environnement pour les producteurs de boeufs / laitiers / de porcs / de volailles au Québec pour vérifier les critères de distance de retrait recommandés pour les installations d'entreposage de fumier en fonction de la taille de l'installation, du type d'entreposage de fumier, du nombre de résidences dans un rayon de 3 km (2 milles) et de la présence de zones résidentielles ou de loisirs dans les environs

-

Tous les ans ou 2 ans pas plus, une analyse du sol devra être fait et vérifié par l'État pour un contrôle efficace contre la pollution par le purin

Sélection des terres d'épandage

C'est à l'étape initial de la planification qu'il convient d'analyser les propriétés du sol des terres sur lesquelles on prévoit d'effectuer l'épandage et de réfléchir sur les méthodes de gestion à envisager. Cette étude doit être faite par des experts en environnement et en agriculture Québec et non par l'exploitant, jamais lui, il regarde que ses sous et se fout du voisin.

Il convient aussi d'analyser tous les champs concernés du point de vue des effets de l'épandage sur l'eau de surface et sur l'eau souterraine en tenant compte du type de sol. L'imperméabilité est important ici, plus que toutes autres choses, voir les propriétés du relief des champs et des cours

d'eau. Il pourrait être contre indiqué de répandre du fumier dans des zones composées de sable ou de gravier ou quand des aquifères se trouvent près de la surface terrestre. Il convient de respecter les distances d'éloignement par rapport aux plans d'eau de surface ou aux reliefs propices à l'infiltration de l'eau à cause des risques d'écoulements polluants qui vont dans les cours d'eau. Les normes d'éloignement diffèrent selon les méthodes d'épandage qui présentent des risques d'écoulements divers. Au Québec, ne jamais étendre le purin quand le sol est gelé ou quand le sol est plein d'eau.

RECOMMANDATIONS

Éléments à prendre en compte avant la sélection des champs d'épandage :

- **Confirmer si l'épandage peut avoir lieu d'après l'analyse des experts, de la composition des sols et des eaux de puits. Avoir des permis annuels d'épandage**
- **Cela, au frais de éleveur ou du producteur, c'est lui qui fait de l'argent donc c'est lui qu'il doit payer**
- **Il n'y aura plus de problème d'épandage difficile à évaluer dans un secteur précis au Québec. Toutes les terres auront été examinées et testées et un permis annuel d'exploitation sera émis à chaque exploitant et ce, à ses frais**
- **Établir des plans de gestion du fumier pour veiller à ce que la quantité minimale de fumier fertilisant soit répandue sur les terres agricoles pour une récolte donnée partout au Québec**
- **Vérifier, selon la méthode des experts, l'épandage choisie que les distances d'éloignement recommandées sont observées pour réduire les problèmes d'odeur et les risques de pollution de l'environnement par les exploitants de leurs site**

Résumé

- L'application de techniques de réduction des nuisances (odeurs, bruits, poussières, etc...) dans les environs permettra d'augmenter la productivité et l'efficacité à long terme des activités rurales
- Le choix d'un emplacement adapté et une bonne gestion du fumier permettront d'abaisser le nombre de plaintes concernant les mauvaises odeurs
- L'application des principes d'une bonne planification d'utilisation des terres est essentielle afin de permettre d'améliorer les résultats de l'exploitation des ressources tout en respectant la qualité de la vie des résidents ruraux
- Les Comités d'examen techniques devront toujours être à la disposition des Conseils municipaux pour analyser les projets d'exploitation d'élevage de bétails

Vous trouverez des documents attachés, qui nous rappelle que le purin y faut y voir et voir au confort des animaux vue le grand nombre soit de 2 à 5 000 porcs aux mêmes endroits dans un bâtiment.

Florent Coulombe, Alma, (Delisle), Québec, Canada

Dossier no: 1

Titre: Les caractéristiques du fumier ou purin animal

Recherche et étude faite ici par: Mr. H. Fraizer Ing..

Rédacteur: Florent Coulombe Alma. Delisle. Québec Ca.

Note: FC.

Ici vue de la grande concentration animal en un lieu donner le purin ou tous litier animal est un danger de pollution de l'eau de surface et de l'eau souterraine. Depuis, nous avons inventé l'agriculture, l'homme est la cause de la pollution de sont environnement. L'animal n'est pas en cause dans tous cela. L'animal par sa manière de vivre, ne peut polué sont environnement, même en grand troupeaux libble, vue il se déplace continuellement, il ne subit pas la contrainte de la captivité qui lui est imposé par l'homme.

Table des matières

1. Valeur fertilisante
2. Disponibilité des éléments nutritifs
3. Teneur en eau et type de fumier
4. Production du fumier et sa composition
5. Autres caractéristiques

Valeur fertilisante

La valeur principale du fumier réside dans sa teneur en substances nutritives pour les plantes ainsi que la quantité de matière organique qu'il contient. Les éléments fertilisants du fumier proviennent essentiellement des aliments consommés par les animaux. Ces derniers n'utilisent qu'environ 25 % des éléments nutritifs contenus dans les aliments; 75 % du contenu initial d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K) étant excrété dans les fèces et l'urine. Voir le **tableau 1 ci-dessous.**

Tableau 1. Pourcentage approximatif des éléments nutritifs absorbés et excrétés dans les fèces

Animal	N	P	K
Bovins de boucherie	80	61	93
Bovins laitiers	71	73	90
Porcs à l'engrais	65	69	86
Poulets à griller	61	69	80
Poules pondeuses	70	68	87

Environ la moitié de l'azote et les deux-tiers du potassium contenus dans le fumier se retrouvent sous forme liquide. Presque tout le phosphore est contenu dans la portion solide. Donc, il est avantageux de conserver la portion liquide puisqu'elle participe fortement à la valeur fertilisante du fumier. Les éléments fertilisants que contient la portion liquide sont solubles dans l'eau et sont rapidement disponibles aux cultures. La valeur fertilisante du fumier varie du bétail à la volaille. Voir le tableau 2.

Tableau 2. Quantité d'azote, de phosphore et de potassium excrétée au cours d'une période de 365 jours

Catégorie animale	(kg de N)	(kg de P ₂ O ₅)	(kg de K ₂ O)
1 bovin laitier (545 kg)	64	30	80
1 bovin de boucherie (182-500 kg)	32	15	40
1 porc à l'engrais (14-90 kg)	11	6	4,5
1 truie et sa portée jusqu'au sevrage	16	9	5,5
1 poule pondeuse en cage (2.3 kg)	0,53	0,42	0,23
1 poulet à griller (0-1.8 kg)	0,35	0,16	0,14
1 mouton (brebis)	7,3	2,6	6,2
1 cheval	45	18	33

Disponibilité des éléments nutritifs

1. Azote (N)

L'azote contenu dans le fumier fraîchement excrété se présente sous forme organique. Pendant l'entreposage ou après son application, il est converti en ammonium. Puisque l'ammonium est retenu fermement à la surface des particules de sol (adsorbé), il ne se lessive pas facilement mais, sous certaines conditions, il peut être converti en ammoniac volatil. Ce processus se déroule lorsque le fumier est étendu sur la surface du sol, particulièrement durant des conditions climatiques sèches, chaudes et venteuses.

Certains micro-organismes du sol transforment l'azote sous forme d'ammonium en nitrates, lesquels ne peuvent être adsorbés par les particules de sol et peuvent être lessivés de la zone racinaire en suivant le mouvement de l'eau dans le sol. Lorsque l'oxygène se retrouve en quantité limitée dans le sol, les nitrates peuvent aussi se perdre si d'autres micro-organismes les transforment en azote libre (dénitrification). Donc, dans des sols humides, les nitrates peuvent être lessivés avec l'eau du sol en excès ou devenir volatiles suite à la dénitrification.

Les cultures nécessitent généralement plus d'azote que les autres éléments majeurs. L'ammonium et le nitrate sont tous deux absorbés par les plantes.

2. Phosphore (P)

Le phosphore est assimilé par les plantes sous forme de phosphates inorganiques provenant de la dégradation atmosphérique du matériau d'origine, de l'application d'engrais contenant du

phosphore ou de la minéralisation du phosphore organique. Le phosphore contenu dans le fumier se présente sous forme organique ou inorganique; la composante organique se minéralise lentement dans le sol, ce qui fait qu'une partie seulement est immédiatement assimilée par les plantes.

Les phosphates, contrairement aux nitrates, sont pratiquement immobiles dans le sol car s'ils ne sont pas utilisés par les plantes, ils forment des composés insolubles combinés avec le calcium, le fer ou l'aluminium. Une petite proportion du phosphore dans le sol est assimilée par les plantes.

3. Potassium (K)

Les sols contiennent généralement des réserves importantes de K, jusqu'à 10 fois celles de N ou de P. La plus grande partie n'est pas disponible mais une certaine quantité se libère et se retrouve en solution dans le sol d'où le potassium peut être lessivé ou être utilisé par les plantes. Le potassium que contient le fumier est facilement assimilable et, au cours de la première saison, il est soit utilisé par les cultures, soit adsorbé par les particules de sol pour être assimilé plus tard. Le potassium n'est pas sujet aux conversions et aux pertes comme l'azote, ou fixé aussi fermement à des composés insolubles comme le phosphore.

Teneur en eau et type de fumier

La teneur en eau du fumier influence beaucoup sa consistance et le choix du type d'entreposage et d'équipement. Le pourcentage d'eau dépend de la catégorie d'élevage, de l'alimentation, du type et de l'épaisseur de la litière et de la quantité d'eau de dilution ajoutée. S'il y a très peu de litière, on peut obtenir un fumier à consistance plus liquide en ajoutant de l'eau intentionnellement ou en laissant une fuite dans les abreuvoirs. La liquéfaction peut aussi se produire lorsque le fumier liquide est entreposé dans des conditions anaérobies. A des teneurs en eau de 87 % ou plus, le lisier s'écoulera par gravité le long de caniveaux horizontaux profonds; à environ 90 %, il peut être pompé sans difficulté; et autour de 96 %, on peut facilement le disperser par irrigation. Le graphique de la Figure 1 illustre quelle quantité d'eau il faut ajouter ou enlever pour modifier la teneur en eau.

Lorsque la teneur en eau se situe entre 84 et 90 %, la consistance correspond alors à du fumier semi-solide. En général, cette consistance s'obtient quand la litière ou le séchage naturel à l'air est limité. Ce fumier ne s'empile pas et ne peut être pompé sans l'addition d'eau; il nécessite donc des parois de rétention pour le stockage. L'ajout de 8 % ou moins de litière à du fumier de vache peut produire du fumier semi-solide.

Le fumier solide peut s'empiler, il renferme environ moins de 84 % d'humidité et contient normalement 8 % ou plus de litière.

Production du fumier et sa composition

La dimension des installations de stockage du fumier dépend du type et du nombre d'animaux, de la période de temps pendant laquelle on désire l'entreposer et, en ce qui a trait au fumier liquide, à la quantité d'eau ajoutée. Le tableau 3 indique la quantité de déjections produites quotidiennement par différents types d'animaux.

Tableau 3. Caractéristiques du fumier (les valeurs indiquées pour l'urine et les fèces sont telles qu'excrétées.)

Espèce animale	Quantité de fumier/animal* (L/jour)	Quantité de fumier et de litière (L/jour)	Teneur en eau initiale (%)	Urine dans le fumier (%)	DBO/animal (g/jour)
Bovins	-	-	-	-	-
Veaux (0-3 mois)	5,4	-	-	-	-
Veaux (3-6 mois)	7,1	-	-	-	-
Bouvillons ou génisses laitières (6-15 mois)	14,2	17,0	-	35	-
Bouvillons ou génisses laitières (15-24 mois)	21,2	22,6	-	-	-
Vaches de boucherie (545 kg)	28,3	34,0	-	-	-
Vaches laitières (545 kg)	45,3	-	87	30	900
Stabulation libre avec enclos	-	56,6	-	-	-
Stabulation libre	-	48,1	-	-	-
Stabulation entravée	-	50,9	-	-	-
Porcs	-	-	-	-	-
5-10 kg (3-6 semaines)	1,1	-	-	-	-
11-20 kg (6-9 semaines)	2,3	-	-	-	-
20-90 kg (8-22 semaines)	5,1	-	91	45	135
21-35 kg (9-12 semaines)	3,4	-	-	-	-
36-55 kg (12-16 semaines)	5,1	-	-	-	-
56-80 kg (16-20 semaines)	7,4	-	-	-	-
81-90 kg (20-22 semaines)	9,1	-	-	-	-
Truie	11,3	13,6	-	-	-
Volaille	-	-	-	-	-
Poulets à griller (0-1,8 kg)	0,08	0,14	litière-25	-	-
Poules pondeuses (1,8 kg)	0,14	-	77	-	9
Dindes à rôtir (0-14 semaines)	0,13	-	-	-	-
Dindes de remplacement (0-22 semaines)	0,18	-	-	-	-
Dindon de remplacement (0-24 semaines)	0,28	-	-	-	-
Dinde reproductrice adulte	0,34	-	-	-	-
Lapin (lapin et portée)	0,71	-	-	-	-
Brebis	2,8	4,2	75	50	40
Chevaux	26,0	56,6	80	20	-
Visions (femelle et portée)	0,20	-	-	-	-

* Adapté du Code canadien de construction du bâtiment agricole, Comité associé sur le Code national du bâtiment, Conseil national de la recherche du Canada, Ottawa.

La teneur en eau et en éléments fertilisants du fumier varie beaucoup d'une ferme à l'autre. Le

tableau 4 expose les résultats obtenus de quelques analyses de fumier.

Tableau 4. Teneur en éléments nutritifs et en eau d'échantillons de fumier*

Type de fumier	Nombre d'échantillons		%N	%P	%K	% d'humidité
Bovins laitiers (solide)	80	moyenne	0,55	0,13	0,44	81,7
		minimum	0,27	0,05	0,15	66,0
		maximum	0,80	0,34	1,44	86,9
Bovins laitiers (liquide)	124	moyenne	0,28	0,06	0,21	92,7
		minimum	0,04	0,01	0,02	88,1
		maximum	0,61	0,11	0,58	99,9
Bovins de boucherie (solide)	48	moyenne	0,58	0,13	0,51	76,6
		minimum	0,21	0,02	0,14	65,0
		maximum	1,00	0,28	1,22	87,7
Bovins de boucherie (liquide)	29	moyenne	0,24	0,06	0,17	95,1
		minimum	0,07	0,01	0,05	89,9
		maximum	0,45	0,15	0,30	99,9
Porcs (solide)	20	moyenne	0,68	0,33	0,29	71,8
		minimum	0,13	0,01	0,10	48,7
		maximum	1,35	0,62	0,75	85,3
Porcs (liquide)	141	moyenne	0,37	0,09	0,15	96,7
		minimum	0,01	0,01	0,01	88,5
		maximum	0,78	0,33	0,49	99,9
Volailles (solide)	68	moyenne	2,2	0,96	1,06	48,1
		minimum	0,19	0,02	0,09	9,9
		maximum	5,55	2,1	2,3	87,0
Volailles (liquide)	4	moyenne	0,72	0,28	0,28	92,2
		minimum	0,42	0,07	0,13	89,4
		maximum	0,90	0,48	0,39	97,3

* Adapté de l'étude de T.H. Lane et de T.E. Gates, Université de Guelph.

Autres caractéristiques

Le fumier épandu peut affecter la qualité de l'eau de différentes manières. La contamination la plus directe est causée lorsque le fumier est étendu sur un sol gelé et qu'il ruisselle directement vers un cours d'eau lors du dégel au printemps. Occasionnellement, la même chose peut se produire dans le cas d'applications sur un sol non gelé, suivies de fortes précipitations. Le fumier présent dans l'eau favorise la croissance des algues ou des plantes submergées à cause de la quantité accrue des éléments fertilisants. La décomposition de la matière organique crée une demande pour l'oxygène dissous et introduit des bactéries à potentiel pathogène dans l'eau.

Des épandages successifs pendant plusieurs années peuvent causer une accumulation de substances fertilisantes bien au-dessus des besoins des plantes. Les sédiments provenant de l'érosion des sols à forte teneur en phosphore provoquent la pollution la plus importante car P et

un élément fertilisant critique dans les systèmes aquatiques. La contamination de la nappe phréatique et des eaux de surface par les nitrates est potentiellement toxique pour les animaux et les enfants s'il s'agit de la réserve d'eau potable. Des concentrations élevées de nitrates dans les plantes fourragères et le maïs peuvent apparaître si le niveau dépasse largement les besoins des plantes. Des fourrages ayant de fortes teneurs en nitrates ont déjà été reliés à la maladie ou à la mort du bétail. En ce qui a trait à l'ensilage de maïs, cela peut favoriser une dangereuse accumulation de gaz dans les silos récemment remplis à cause du processus de réduction des nitrates en oxydes d'azote.

La décomposition anaérobie du fumier peut produire des quantités importantes de gaz potentiellement dangereux, particulièrement l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène. La plainte la plus souvent entendue concernant les installations pour le bétail est la mauvaise odeur qu'elles dégagent.

Le fumier est un milieu idéal pour la multiplication des insectes, incluant les mouches, et attire les oiseaux et les rongeurs. Tous ces animaux peuvent être vecteurs de maladies.

La poussière peut être un problème, surtout en ce qui regarde l'élevage intensif des porcs à l'engrais ou des volailles sur litière accumulée.

Il faut insister sur le caractère unique de chaque catégorie d'élevage car il n'y a pas deux exploitations identiques, et du fait même, pas de fumier aux caractéristiques identiques. Bien que toutes les exploitations se ressemblent quelque peu, la meilleure façon d'utiliser le fumier comme ressource, tout en minimisant les risques pour l'environnement, est d'examiner attentivement, pour chaque cas, les choix disponibles pour l'utilisation rationnelle du fumier.

Cette fiche a été rédigée à l'origine par: H. Fraser, Service de génie agricole, MAAARO.

Pour plus d'information... communiquer avec Hugh Fraser ing.

Les renseignements sont fournis à titre de service au public.

Imprimeur de la Reine pour
l'Ontario.

Dernières modifications : 10 février 2003

Dossier No 2.

Roger Rivest, agronome
Bureau de renseignements agricoles de Saint-Hyacinthe. Québec.

Comment le phosphore est passé du rôle d'élément essentiel à élément contraignant

Dossier 2- suite du fumier, purin de porc

A l'état naturel, les sols sont généralement pauvres en phosphore. Les sols encore sous couvert forestier contiennent des faibles niveaux de phosphore. En sol cultivé, on trouve en général entre 19 et 35 kg/ha de phosphore sous le labour. Ces teneurs correspondent probablement aux teneurs qu'avaient les sols lors de leur mise en culture.

L'augmentation des teneurs en phosphore dans les sols s'est traduite par des augmentations de rendements.

Comment un élément aussi essentiel se retrouve-t-il soumis à tant de contraintes?

D'abord, au niveau agronomique, c'est un élément dont l'utilisation abusive n'entraîne pas de conséquence visuelle négative sauf quelques carences de zinc. Ce n'est pas un élément toxique pour la semence et son absence dans des sols qui en ont besoin peut causer des retards très remarquables. La crainte du maïs mauve au printemps et l'espoir de soustraire quelques points d'humidité à la récolte ont souvent conduit à une utilisation pas toujours raisonnable de cet élément.

Quelques mythes...

Le mythe qu'on a entendu au fur et à mesure que les analyses de sol augmentaient :
" L'analyse est haute mais le phosphore n'est pas assimilable "

L'autre mythe, c'est que le fumier " c'était pour augmenter la réserve du sol ", il ne fallait pas en tenir compte.

Si on regarde la composition des divers fumiers on peut voir certains fumiers font des dépôts plus importants que d'autres dans le sol.

	Azote (kg/ton)	P ₂ O ₅ (kg/ton)	K ₂ O (kg/ton)	% m.s.
Porc	4,2	2,1	3,0	4
Fumier vache	6,2	4,1	5,7	22
Lisier vache	3,2	1,9	3,8	7
Fumier poulet	24,6	21,5	14,0	50

La réserve du sol a fini par augmenter, si bien qu'il a été facile d'en faire la principale responsable de la teneur en phosphore dans la rivière Yamaska. Et cette fameuse réserve a versé un dividende, soit " Le règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole ".

Le phosphore est alors soumis à certaines règles et il est régi comme un contaminant . On réglemente son niveau d'utilisation sans tenir compte des contraintes agronomiques. Ces contraintes affectent davantage les utilisateurs de fumier en les restreignant à des doses difficilement réalisables.

Quantité de fumier permise si les calculs deviennent basés sur les recommandation en P₂O₅ du maïs-grain pour les sols plus grands que 250 kg/ha et pour des pertes minimales à l'épandage.

Si la dose permise est de 20 kg/ha de P₂O₅, on obtient les doses suivantes :

Type de fumier	Quantité permise	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Lisier porc riche	12 m ³ /ha 1 000 gal/acre	30	20	36
Vache solide	10 m ³ /ha 3 t/acre	18	20	43
Vache liquide	16 m ³ /ha 1 500 gal/acre	20	20	59
Fumier de poulet	2,5 m ³ /ha 1,25 t/acre	13	20	20

Ces doses sont pratiquement impossibles à appliquer.

Si les calculs pour les quantités de fumier permises devenaient basés sur les prélèvements de la culture du maïs-grain, soit environ 50 kg de P₂O₅ /ha, on obtiendrait les doses suivantes.

Type de fumier	Qté permise	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Lisier porc riche	30 m ³ /ha 2 700 gal/acre	75	49	91
Vache solide	25 m ³ /ha 8 t/acre	45	50	107
Vache liquide	40 m ³ /ha 3 500 gal/acre	46	51	147
Fumier de poulet	6 m ³ /ha 3 t/acre	31	48	48

Alors le fumier, jadis considéré comme un atout pour les producteurs, est devenu un source de contraintes. L'enrichissement de la " RÉSERVE DU SOL " si longtemps encouragée est en train de devenir un mauvais placement qui risque de coûter cher à certaines entreprises.

Dossier no: 3

Épandage du Fumier de Porc Agronomie et Environnement Perspective Canadienne

Loraine Bailey et Katherine Buckley
AAC - Centre de recherches de Brandon, C.P. 1000A,
R.R. 3, Brandon (Manitoba) R7A 5Y3

Mémoire.

Nous avons ajouté 5 notes de plus, les
paradrapes son en noir foncé à cette étude,
pour le Québec.

Les auteures tiennent à souligner la contribution de leurs collègues qui leur ont fourni l'information nécessaire pour rédiger le présent document et qui en ont fait une critique constructive, nous ajoutons la nôtre de même.

Introduction

Loin d'être un déchet, le fumier de porc est une précieuse source de substances nutritives, c'est-à-dire d'éléments fertilisants, pour les plantes, qui permet en outre d'améliorer la qualité du sol. Cependant, en raison de sa complexité, cette matière peut avoir des effets négatifs sur l'environnement lorsqu'elle est mal utilisée. En 1996, on élevait quelque 12,2 millions de porcs au Canada et le cheptel augmentait dans toutes les provinces. On s'attend à une augmentation non seulement du cheptel porcin au pays, mais aussi de la grandeur des porcheries. Ainsi, entre 1991 et 1996, le nombre de fermes où on élevait des porcs a diminué de 29 600 à 21 100, tandis que le pourcentage des fermes où il y avait plus de 4 700 porcs est passé de 10,9 % à 23,3 %. Cette croissance rapide est liée à trois facteurs : une augmentation de la demande de porcs et de produits du porc sur les marchés internationaux et plus particulièrement en Asie; les problèmes auxquels font face les concurrents traditionnels des éleveurs de porcs canadiens (dégradation de l'environnement et manque de terres pour l'épandage du fumier); et la diminution du prix des céréales depuis que la *Loi sur le transport du grain de l'Ouest* ne s'applique plus.

Ainsi, en 1995, avec les subventions prévues dans la Loi pour les frais transport, il en coûtait à un agriculteur du Manitoba 15 \$ pour expédier une tonne de céréales jusqu'à la côte ouest; en 1997, ce coût est passé à 47 \$ la tonne. Dans ces conditions, plutôt que de payer le fort prix pour expédier leurs céréales à l'étranger, les agriculteurs préfèrent les vendre aux éleveurs de bétail de l'ouest du pays. En 1997, on a observé une augmentation dans l'élevage du porc dans toutes les régions du Canada, des Maritimes jusqu'en Colombie-Britannique. Il semble qu'il soit assez facile d'obtenir des fournisseurs de moulée ainsi que des investisseurs urbains et étrangers tant les capitaux que l'aide organisationnelle nécessaires pour les projets d'agrandissement, alors que les problèmes liés à l'environnement (odeur, pollution de l'air, qualité du sol et de l'eau) constituent apparemment le frein le plus important à la croissance de l'industrie du porc. Dans le présent document, nous aborderons uniquement les questions liées à la gestion des opérations d'épandage de fumier en vue d'augmenter la valeur agronomique des terres et de réduire les risques de pollution.

Le fumier de porc peut être un bien précieux tant pour les éleveurs que pour les agriculteurs, à condition d'être utilisé comme il se doit dans le cadre d'un système de production alimentaire intégré. L'augmentation de la production porcine au Canada est bénéfique pour les économies locales, étant donné qu'elle se traduit par la création de nouveaux emplois et qu'elle ouvre de nouveaux marchés pour les aliments pour bestiaux (Larson, 1991).

Cependant, étant donné les grandes quantités de déchets animaux qui résultent des activités liées à la production porcine, il est devenu impératif de se préoccuper du stockage et de l'utilisation du fumier, en raison des risques de pollution de l'environnement (Sutton et coll., 1984a). Un porc produit en moyenne deux tonnes de fumier par année (Larson, 1991).

Comme le cheptel porcin canadien atteignait 12,2 millions de têtes en 1996, c'est donc quelque 24,4 millions de tonnes de fumier de porc qui sont produits au pays chaque année. Dans le passé, l'évacuation du fumier était considéré comme une charge dans la mesure où les coûts d'évacuation dépassaient la valeur des éléments fertilisants du fumier (McEachron et coll., 1969; McKenna et Clark, 1970). En raison de l'augmentation du prix de l'engrais chimique, la valeur du fumier de porc en tant qu'engrais s'est accrue, mais il n'est pas toujours économiquement rentable de transporter ce mélange de substances nutritives diluées sur une distance de plus que quelques kilomètres. On a estimé que la valeur des éléments fertilisants du fumier de porc lorsque l'épandage se fait à proximité des lieux d'élevage était égale au coût d'épandage sur les terres (Saskatchewan Pork Industry Manure Management Recommendations, 1991).

Dans les Maritimes et en Colombie-Britannique, la rareté relative de terres pour procéder à l'épandage ou à l'évacuation du fumier de porc de même que les risques de contamination des terres agricoles ainsi que des eaux de surface et souterraines limitent la croissance de l'industrie porcine.

MÉMOIRE ICI.

Note: 1

De même, au Québec, la croissance de cette industrie est limitée par l'accumulation dans le sol de très grandes quantités de phosphates ainsi que par les risques de pollution de l'eau résultant d'une accumulation excessive dans le sol de fumier de porc durant les années antérieures

L'Ontario et les Prairies offrent les meilleures possibilités de croissance parce qu'on peut s'y procurer de grandes quantités de moulée à un prix relativement bas et aussi parce qu'on a l'impression d'y disposer d'un territoire « illimité » pour l'épandage ou l'évacuation du fumier.

Cependant, même dans ces provinces, une mauvaise gestion du fumier pourrait faire augmenter les risques de pollution du sol et de l'eau. Comme les plus petits élevages de porcs produisent une quantité importante de fumier, le risque de pollution du sol et de l'eau existe pour toutes les exploitations

porcines, et ce, dans toutes les régions du Canada. C'est pourquoi il est impératif d'établir des régimes de meilleures pratiques de gestion conçus pour réduire au minimum les effets négatifs de la croissance de l'industrie porcine dans chaque région écologique du pays.

On trouvera dans le présent document une information sommaire (provenant du Canada et de l'étranger), qui pourra servir à établir un plan de gestion du fumier de porc approprié. Il y est aussi question des lacunes en matière de recherche et de développement qu'il faut combler, pour qu'on puisse mettre au point dans les meilleurs délais les façons de faire qui permettront d'assurer la viabilité économique et environnementale de l'industrie du porc au Canada.

Composition du fumier de porc

Le fumier de porc est une source précieuse d'éléments fertilisants pour les plantes. Il ne constitue une menace pour l'environnement que lorsqu'il est mal utilisé. D'une manière générale, la meilleure façon d'utiliser ce fumier, tant sur le plan économique qu'environnemental, est l'épandage sur le sol. Cependant, si on en épand de trop grandes quantités, certains de ses composants tels que l'azote, le phosphore, les sels solubles et les oligo-éléments risquent de polluer l'environnement. On sait que le fumier de porc contient des éléments fertilisants essentiels aux plantes, qui bénéficient tant aux récoltes qu'aux terres, dont ils améliorent les propriétés (Sutton et coll., 1984a).

Les éléments fertilisants qu'utilisent les plantes sont enlevés du sol au moment de la récolte de ces plantes qui servent à nourrir les bêtes, puis ils sont rendus au sol sous forme de fumier. La composition du fumier varie largement selon l'espèce animale dont il provient et elle peut même varier à l'intérieur d'une même espèce, selon les élevages. Azevedo et Stout (1974) ont observé que les fonctions de digestion et les préférences alimentaires propres aux différentes espèces d'animaux expliquent certaines différences quant à la teneur des fumiers en éléments fertilisants. À titre d'exemple, le fumier des ruminants présente normalement une teneur plus faible en phosphore que celui des volailles ou des porcs, ce qui s'explique par la capacité des ruminants d'extraire le phosphore organique des plantes dont ils se nourrissent.

En règle générale, le fumier de porc a une teneur plus élevée en azote total et une teneur moindre en matières sèches que le fumier de bovin (tableau 1) (Evans et coll., 1977). Des valeurs analogues et les mêmes différences importantes dans la composition du fumier de porc (tableau 1) s'observent dans toutes les régions du Canada (Campbell et coll., 1997; Goss et coll., 1994; Bailey et coll., 1997). Les facteurs qui ont un effet sur la composition du fumier sont le logement des animaux ainsi que les méthodes de ramassage, de stockage et de manutention du fumier (Azevedo et Stout, 1974; Menzies et Chaney, 1974; Powers et coll., 1975; Vanderholm, 1975; Gilberston et coll., 1979). D'ordinaire, l'azote qui se trouve dans le lisier de porc se présente en proportion égale sous forme de nitrate d'ammoniaque et d'azote organique (Sutton et coll., 1978; Sutton et coll., 1982; Sutton et coll., 1984a; Sutton et coll., 1984b; Burns et coll., 1987). Kachanoski et coll. (1997) ont toutefois observé des proportions de nitrate d'ammoniaque se situant entre 65 % et 90 %, suivant l'eau utilisée dans la porcherie. L'azote organique est composé d'azote microbien, d'azote organique labile et d'azote organique stable (Burton et coll., 1994). Beauchamp (1983) a établi qu'au cours d'un cycle végétatif,

environ 20 % de l'azote organique se minéralise et peut être assimilé et que 25 % du nitrate d'ammoniaque se volatilise, ce qui laisse environ la moitié de l'azote contenu dans le fumier épandu qui peut servir à la croissance des plantes (figure 1).

Vanderholm (1975) a présenté un résumé de recherche qui montre que le fumier peut perdre entre 10 % et 99 % du $\text{NH}_4\text{-N}$ qu'il contient selon la façon dont il est stocké et traité. La perte est réduite au minimum lorsque le fumier est stocké dans un endroit aéré et elle atteint son maximum lorsque le fumier est placé sur la surface de parcs d'engraissement ou dans des lagunes anaérobies. Al-Kanani et coll. (1992) ont montré qu'on peut réduire des trois quarts les pertes en NH_3 en recouvrant les fosses à fumier de mousse de sphaigne. D'une manière générale, les pertes en phosphore et en potassium sont peu importantes (entre 5 % et 15 %), sauf avec la méthode de stockage à ciel ouvert ou le système à lagune, où de 40 % à 50 % du phosphore peut se perdre par ruissellement et lessivage (Sutton et coll., 1984a). L'ajout de quantités de plus en plus grandes de sels alimentaires (chlorure de sodium) et/ou d'autres minéraux (cuivre, arsenic, etc.) dans la nourriture des porcs a un effet direct sur la concentration des éléments en question dans le fumier (Sutton et coll., 1976; Sutton et coll., 1984a; Brumm et Sutton, 1979). Aussi l'épandage de grandes quantités de fumier provenant de bêtes alimentées de la sorte peut-il avoir une incidence sur la croissance des plantes et la productivité du sol.

MÉMOIRE ICI.

Note:2

Épandage - Méthodes, moment et quantité

La méthode et le moment d'épandage ainsi que la quantité de fumier à utiliser dépendent de différents facteurs dont les conditions climatiques, les propriétés du sol, le type de culture et la vitesse de minéralisation des éléments fertilisants. Le fumier doit être épandu uniformément, afin d'éviter que les sels ne se concentrent à certains endroits, notamment le sodium qui peut nuire à la germination et réduire la récolte.

Méthodes - Il existe deux méthodes principales d'épandage du fumier de porc

sur la terre arable. La première consiste à répandre le fumier sur la surface du sol (épandage à la volée) au moyen de canons d'irrigation, d'un système d'aspersion oscillant ou d'une tonne à purin munie d'un bec disperseur. La seconde consiste à incorporer le fumier directement dans le sol. Avec cette dernière méthode, le fumier est mélangé au sol au moyen d'une dent creuse devant laquelle est installé un coutre qui découpe la bande de terre. La quantité d'éléments fertilisants utilisable, notamment celle de l'azote assimilable, varie selon la méthode utilisée, principalement parce que les pertes gazeuses possibles ne sont pas les mêmes dans les deux cas (tableau 2). L'incorporation du fumier dans le sol non seulement assure une meilleure utilisation des éléments fertilisants par les plantes, mais cette méthode est aussi recommandée lorsqu'il y a d'importants problèmes d'odeur. Cette méthode ne permet toutefois pas l'utilisation d'une aussi grande quantité de fumier que l'épandage à la volée.

MÉMOIRE ICI.

Note:3

Vanderholm (1975) signale les pertes en $\text{NH}_3\text{-N}$ suivantes, selon la façon dont le fumier est intégré au sol : labourage : 5 %; pulvérisage : 15 %; épandage en surface : de 30 % à 90 %. Hoeff et coll. (1981) ont observé des pertes variant entre 0 % et 2,5 % en $\text{NH}_3\text{-N}$ avec la méthode de l'incorporation de fumier de porc liquide dans le sol par rapport à des pertes de 10 % à 16 % avec la méthode de l'épandage à la volée. La perte d'azote sous forme gazeuse après l'incorporation du fumier est principalement attribuable au phénomène de la dénitrification (Thompson et coll., 1987) (tableau 3), tandis que la perte de l'ammoniaque, qui est un produit volatil, se produit au moment de l'épandage en surface (Beauchamp et coll., 1982). Paul (1991) a observé que la quantité totale d'azote pouvant être utilisée par les plantes est habituellement plus importante après l'incorporation du fumier dans le sol qu'après son épandage en surface. Ainsi, dans un régime de MPG bien pensé pour les récoltes annuelles, il conviendrait de privilégier la méthode de l'incorporation du fumier dans le sol et, lorsque la méthode de l'épandage à la volée est utilisée,

d'incorporer le fumier dans le sol dans les 24 heures, afin de tirer le meilleur profit de ses principes fertilisants (Sutton et coll., 1984a; Alberta Agriculture, 1984; Vanderholm, 1975; Hoeff et coll., 1981).

La méthode de l'incorporation de fumier dans le sol est toutefois lente et peu efficace sur le plan de l'énergie pour les cultures fourragères et les pâturages permanents. Elle exige en effet une grande quantité d'électricité et d'essence. D'ordinaire, dans de tels cas, on utilise plutôt la méthode de l'épandage à la volée, qui exige relativement peu d'énergie. Bailey et coll. (1997) et Bittman (1998, communication personnelle) ont observé que l'assimilation des éléments fertilisants du fumier par les plantes fourragères était satisfaisante. Le dégagement d'odeur était réduit lorsque les plantes avaient entre 15 cm et 20 cm de hauteur environ et lorsque le fumier était épandu au moyen d'un tuyau installé sous la tête des plantes.

MÉMOIRE ICI

Note: 4

Moment. Le choix du moment pour procéder à l'épandage du fumier est de la plus haute importance tant pour ce qui est de la quantité d'azote assimilable par les plantes que des effets sur l'environnement. Dans la plupart des provinces, l'épandage de fumier de porc se fait uniquement au printemps et en automne. En Ontario et en Colombie-Britannique, où les hivers sont moins froids, l'épandage peut aussi se faire en hiver. En Colombie-Britannique, toutefois, on recommande, dans le cas de prairies et des cultures pour lesquelles l'ensemencement se fait l'automne, de ne pas épandre plus de 40 % de la quantité annuelle de fumier assimilable entre septembre et décembre. Au Québec, dans le cadre d'une recherche portant sur les plantes fourragères et le maïs-grain cultivés dans un sol limono-argileux, Pesant et coll. (1993) ont observé des pertes annuelles (durant l'hiver) de 160,8 kg de NO₃-N

lorsque le fumier de porc était épandu en automne dans le cas du mois-grain, par rapport à des pertes de 94,5 kg lorsque l'épandage avait été fait au printemps. On a aussi observé que les pertes en $\text{NH}^+\text{-N}$ étaient plus importantes lorsque l'épandage se faisait en automne plutôt qu'au printemps (Gangbazo et coll., 1995).

Les auteurs ont observé que les pertes en phosphore étaient également plus importantes dans le cas de l'épandage en automne en raison du ruissellement et de l'écoulement hivernaux. L'information recueillie montre en outre que les pertes en phosphore étaient plus importantes, dans le cas du fumier épandu en automne, pour les plantes fourragères que pour le maïs, même si les quantités de phosphore épandues étaient moindres. Dans le cas des récoltes annuelles, l'épandage de printemps peut se faire avant les semis ou par apport ultérieur entre les rangs ou en surface. Simard et coll. (1998, communication personnelle) ont observé qu'au Québec, dans un sol argileux, le fumier de porc était supérieur au purin d'étable et au purin d'étable de compost au chapitre de l'apport en azote pour la culture du maïs, mais le moment de l'épandage n'avait aucun effet sur l'assimilation de l'azote .

Dans le cadre d'essais menés dans la vallée de la rivière Rouge, au Manitoba, Schulte et coll. (1979) ont observé que la quantité totale d'azote dosé par la méthode Kjeldahl et d'orthophosphate transportée par les eaux de ruissellement des terres où l'épandage de fumier s'était fait en hiver équivalait à 12 % et à 7,9 %, respectivement, de l'azote et du phosphore contenu dans le fumier épandu. L'épandage du fumier à proximité des plantes facilite l'utilisation des matières nutritives par ces dernières, surtout aux endroits où il y a de fortes pluies et où le sol est très perméable (Sutton et coll., 1984a; Alberta Agriculture, 1984). Cependant, l'épandage d'une quantité importante de fumier juste avant les semences peut nuire à la germination et à la croissance des semis en raison des accumulations de sels.

Ainsi, même si avec l'épandage effectué en automne et en hiver, entre 25 % et 30 % de l'azote contenu dans le fumier peut être perdu, la plus longue période durant laquelle le fumier reste dans les champs permet aux micro-organismes du sol de le décomposer et de faire en sorte que les éléments fertilisants qu'il contient soient plus facilement assimilables par les plantes semées au printemps. En climat tempéré, il n'est pas toujours possible de procéder à l'épandage tôt au printemps, étant donné que le fumier peut être gelé dans la fosse, surtout s'il est stocké dans des fosses à ciel ouvert (Bailey et coll., 1997). Par ailleurs, on peut réduire la perte d'azote qui se produit lorsque l'épandage s'effectue en hiver, soit en incorporant le fumier dans le sol, soit en y ajoutant un inhibiteur de nitrification (Thompson et coll., 1987) (tableau 3). Pour faire du fumier la meilleure utilisation possible, il faut en épandre une quantité telle que les éléments fertilisants assimilables correspondent aux besoins des plantes qui les utiliseront. Cet équilibre est toutefois difficile à obtenir dans la mesure où la concentration des éléments fertilisants dans le fumier n'est pas « pondérée » en fonction du besoin des plantes. Ainsi, le rapport azote-phosphore moyen du fumier de porc est de 4 : 1, alors que les principales céréales et prairies artificielles utilisent ces deux substances nutritives dans un rapport de 7 : 1.

Le même problème d'équilibre entre la composition du fumier et les besoins des plantes se pose pour ce qui est du rapport azote-soufre. De plus, l'azote que contient le fumier de porc est présent sous forme organique et ammoniacale et, durant la première année d'épandage, seulement 45 % de l'azote du fumier se minéralise. Larson (1991) a observé que cela prend environ cinq ans pour que 80 % de l'azote du fumier se minéralise. En revanche, la quasi-totalité du phosphore et du potassium que contient le fumier est utilisable dès après l'épandage. Bailey (1997), dans le cadre d'une recherche portant sur un pâturage permanent, a observé que lorsque les éléments fertilisants contenus dans le fumier de porc (azote, phosphore, potassium et soufre) correspondaient aux besoins des plantes en engrais inorganique, il en résultait une récolte plus abondante de plantes fourragères de grande qualité (figure 4).

Quantité - On a coutume de calculer la quantité de fumier à utiliser en tenant compte des besoins en azote des cultures. Au Québec, en Colombie-Britannique et en Ontario, à cause de cette façon de faire, la teneur des sols en phosphore assimilable est élevée dans les zones où se pratique l'élevage intensif du porc, ce qui constitue un problème pour l'environnement. En effet, lorsqu'un sol a une forte teneur en phosphore, le risque de migration du phosphore et, par conséquent, le risque de contamination de l'eau de surface et souterraine est accru (Sims et coll., 1997). Une forte teneur du sol en phosphore nuit aussi à la nutrition des plantes en empêchant une assimilation normale des oligo-éléments, notamment le zinc (Grant et Bailey, 1993a, 1993b).

Simard et coll. (1996) ont observé que la migration du phosphore du fumier variait suivant les cultures : elle était plus importante dans le cas des plantes fourragères que dans celui du maïs, l'absence de travail du sol favorisant la migration du phosphore à travers les biopores du sol. Au Québec et en Colombie-Britannique, le problème de l'accumulation et de la migration du phosphore est aggravé en raison de la superficie limitée des terres dont on dispose pour épandre du fumier. Dans les Prairies, cette superficie est

suffisante pour qu'on puisse évacuer la totalité du fumier actuellement produit d'une façon acceptable du point de vue de l'environnement.

De plus, dans ces provinces, où les sols sont considérés comme pauvres en azote et en phosphore (et souvent aussi en potassium et en soufre), les plantes ont besoin d'un apport annuel en éléments fertilisants pour donner un rendement optimal. Comme la nature calcaire des sols des Prairies limite la migration du phosphore inorganique, ce phosphore inorganique minéralisé du fumier se combine rapidement avec le calcium et le magnésium pour former des substances relativement insolubles et immobiles. Cependant, si on utilise mal le fumier de porc, par exemple si on en utilise de trop grandes quantités ou si on calcule les quantités à utiliser en fonction des besoins en azote des cultures visées, il existe des risques de contamination des eaux de surface par ruissellement et par érosion ainsi qu'un risque de contamination des formations aquifères peu profondes par infiltration de phosphore organique. Les sols à granulométrie fine sont peu perméables et peu propices à la décomposition; il convient donc d'y épandre moins de fumier que pour les sols à granulométrie grossière, très perméables et beaucoup plus propices à une décomposition rapide du fumier (Xie et MacKenzie, 1986).

Cependant, l'épandage de grandes quantités de fumier sur des sols à granulométrie grossière, surtout pour des cultures annuelles, peut contaminer l'eau souterraine par lessivage des éléments fertilisants (notamment les nitrates, phosphates et autres sels solubles), alors que l'épandage de fumier en aussi grandes quantités sur des sols à granulométrie fine peut être indiqué en raison de la forte capacité de rétention des substances nutritives qui caractérisent ces sols. Dans le cadre d'une recherche portant sur un sol à granulométrie grossière, au Manitoba, Bailey et coll. (1997) n'ont observé aucune migration descendante des éléments fertilisants présents dans la biomasse occupée par les racines des plantes dans le cas de l'épandage, dans un pâturage permanent, de jusqu'à 132 000 litres de fumier à l'hectare. Afin de réduire la migration en surface des éléments fertilisants, il convient d'éviter d'épandre le fumier sur le sol gelé ou recouvert de neige, surtout lorsque le terrain est exposé à un fort écoulement printanier (Larson, 1991). De plus, il faut éviter de mettre en jachère d'été des champs dans lesquels ont été épandus de grandes quantités de fumier, afin d'éviter le lessivage de l'azote et en raison des risques de contamination des eaux souterraines.

Rendement et qualité des cultures

De nombreuses études ont été menées dans le but de cerner les effets de l'épandage de bouse de vache et de fientes de volailles sur des terres cultivables (Powers et coll., 1975). Cependant, peu de recherches ont été exécutées en vue de déterminer les effets de l'épandage de fumier de porc sur les cultures, sur la composition chimique des sols ainsi que sur la qualité de l'eau souterraine (Sutton et coll., 1978).

Rendement des cultures : Le fumier est plus fréquemment utilisé pour les productions végétales annuelles parce qu'on peut l'épandre avant les semailles ou après la récolte. Au Canada, on l'utilise pour une grande variété de productions annuelles et vivaces. Cependant, les graminées et les céréales, en raison de leur système racinaire étendu et de leurs besoins relativement importants en éléments fertilisants, sont les productions qui se prêtent le mieux à une utilisation de grandes quantités de fumier (Bailey et coll., 1997). En

outre, plus que les légumineuses, les graminées peuvent tirer profit du fumier en raison de leurs besoins plus importants en azote, tandis que les légumineuses, en raison de leurs racines plus profondes, sont mieux en mesure d'absorber du sol les éléments fertilisants lessivés. Campbell et MacLeod (1997, communication personnelle) ont observé un plus important lessivage du NO_3 du fumier épandu dans le cas de l'orge que dans celui du soja.

L'utilisation de fumier de porc pour les cultures et les pâturages permet d'obtenir des rendements égaux ou supérieurs aux rendements obtenus avec les engrais inorganiques (figure 4) (Evans et coll., 1977; Sutton et coll., 1978; Sutton et coll., 1982; Sutton et coll., 1984b; Xie et MacKenzie, 1986; Burns et coll., 1987; Chase et coll., 1991; Bailey et coll., 1997). Cependant, en raison de la faible quantité d'azote du fumier assimilable au moment de l'épandage, on a utilisé une plus grande quantité de fumier que d'engrais inorganiques pour la plupart des essais. À quantité égale d'azote, Miller et MacKenzie (1978) ont observé, pour le maïs-grain, un rendement plus faible et une plus faible assimilation de l'azote par les plantes au cours de la première année d'épandage du fumier par rapport à l'engrais inorganique. Cependant, en raison de la faible vitesse de libération de l'azote du fumier, l'assimilation de l'azote résiduel du fumier était deux fois plus importante que celle de l'engrais chimique. Dans le cadre d'autres études, Xie et MacKenzie (1986) ont établi que entre un et quatre kilogrammes d'azote de fumier avaient le même effet qu'un kilogramme d'azote urique sur le rendement du maïs en matières sèches et sur l'assimilation de l'azote. Les études à long terme effectuées avec du fumier de porc aboutissent fréquemment à des résultats différents quant aux effets des épandages sur le rendement des cultures en raison des importantes interactions traitement-année. Des différences pouvant atteindre 3 500 kg de matières sèches à l'hectare ont été observées entre les années normales et les années de sécheresse ou les années où le ressuyage rapide du sol perturbe les plants de maïs durant la pollinisation (Sutton et coll., 1984b).

L'augmentation de la quantité de fumier porc utilisée se traduit par une augmentation du rendement des cultures, mais cette augmentation varie suivant la quantité précise de fumier utilisée, la méthode d'épandage, le type de sol et les conditions de croissance. Ainsi, Sutton et coll. (1978) ont observé, pour le maïs, une augmentation des rendements lorsqu'on augmentait de 0 à 134 tonnes/hectare la quantité de purin de porc épandu à la surface d'un sol limono-argileux. De même, Chase et coll. (1991) ont observé, également dans le cas du maïs, une augmentation des rendements lorsqu'on augmentait de 2 000 à 12 000 gallons/hectare la quantité de purin de porc utilisée (épandage à la volée ou par incorporation dans le sol) pour un sol limono-argileux.

Dans le cas d'un sol limoneux, on observait en moyenne, pour le maïs, à quantité égale de purin utilisée, une augmentation du rendement plus importante (2 130 kg/ha de plus) avec la méthode par incorporation qu'avec celle de l'épandage à la volée (Sutton et coll., 1982). Selon les auteurs, cet écart s'explique par la volatilisation du $\text{NH}_3\text{-N}$ du fumier épandu à la volée. Des résultats analogues ont été obtenus par Beauchamp et coll. (1982). En revanche, avec un sol sablo-argileux, Xie et MacKenzie (1986) n'ont observé aucune différence notable quant aux rendements de maïs selon que le fumier ait été épandu à la volée ou incorporé dans le sol.

Qualité des récoltes : On a observé que l'utilisation de fumier de porc permettait d'obtenir des récoltes de meilleure qualité en augmentant la teneur du sol en éléments fertilisants assimilables par les plantes non seulement durant l'année suivant l'épandage, mais aussi durant les années ultérieures (Sutton et coll., 1982). Les auteurs ont observé que les feuilles des plants de maïs provenant de champs où le fumier avait été incorporé au sol avaient une teneur en azote supérieure à celles provenant de champs où on avait procédé à un épandage à la volée. Ils ont attribué ce phénomène aux pertes d'azote par volatilisation.

D'autres études portant sur les céréales (Sutton et coll., 1982; Evans et coll., 1977) ou sur les plantes fourragères (Burns et coll., 1987; Bailey et coll., 1997) ont montré que la teneur des feuilles ou des graines en azote, en phosphore et en potassium augmentait davantage avec le purin de porc qu'avec les engrais inorganiques. Dans le cadre d'une recherche sur l'assimilation des éléments fertilisants par le chiendent pied-de-poule, Burns et coll. (1985) ont observé des taux d'assimilation de l'azote, du phosphore et du potassium (rapport entre la quantité appliquée et la quantité assimilée) de 73 %, 41 % et 74 % pour une capacité de rétention des effluents faible (13,7 cm), de 57 %, 28 %, et 56 % pour une capacité moyenne (27,2 cm) et de 34 %, 17 % et 32 % pour la capacité la plus élevée (53,6 cm).

MÉMOIRE ICI.

Note 5

Les auteurs en sont arrivés à la conclusion que les quantités de substances nutritives non assimilées par les cultures pouvaient polluer les eaux de surface et souterraines ou le sol. Si on épand de trop grandes quantités de fumier de porc dans les pâturages, la teneur des plantes fourragères en $\text{NO}_3\text{-N}$ peut atteindre un degré tel qu'il peut être risqué de s'en servir pour la nutrition des ruminants (Burns et coll., 1990). Par ailleurs, l'utilisation de sel alimentaire ou le système de manutention du fumier n'avaient pas d'effets observables de façon répétée sur la composition des plantes (Sutton et coll., 1978; Sutton et coll., 1984b). Par contre, Kornegay et coll. (1976) ont observé que la teneur en cuivre, en zinc, en phosphore et en potassium des feuilles des plants de maïs provenant de champs fertilisés avec du fumier de porcs dont le régime alimentaire était riche en cuivre (250 à 370 mg de cuivre au kilo) était plus élevée. Dans le cadre d'autres études, Zhu et coll. (1991)

ont observé une augmentation de la croissance des plantes et de l'assimilation du cuivre dans les champs fertilisés avec du fumier de porc auquel on avait incorporé du cuivre par rapport à du fumier sans cuivre ajouté.

Qualité du sol et de l'eau

Qualité du sol - On ne connaît presque rien des effets du fumier de porc sur les propriétés physiques du sol. On peut toutefois penser que ces effets sont semblables à ceux de la bouse de vache. On a observé que la bouse de vache améliorait l'agrégation du sol (Elson, 1941; Williams et Cooke, 1961; Hafez, 1974), en réduisait la densité (Hafez, 1974; Tiarks et coll., 1974) et en améliorait la structure et la capacité de rétention d'eau en raison de l'apport en matières organiques (Unger et Stewart, 1974; Weil et Kroontje, 1979).

Dans le cadre d'une recherche portant sur un sol tchemozémique travaillé avec trois instruments différents, Sommerfeldt et Chang (1985) ont observé qu'une augmentation de la quantité de bouse de vache utilisée se traduisait par une augmentation de la teneur du sol en matière organique et par une réduction de la densité du sol, à la température du sol au printemps et avec une barre d'attelage traînée au moyen d'instruments aratoires. La structure des sols qui ont été régulièrement fertilisés avec du fumier est normalement satisfaisante (Goss et coll., 1994). Dans le cas de ces sols, l'apport continu en fumier permet d'en maintenir les propriétés physiques, mais pas de les améliorer. En revanche, l'épandage de fumier permet d'améliorer de façon importante les propriétés des sols qui ont été exploités sans apport de fumier. L'importance de l'amélioration obtenue varie d'un endroit à l'autre, suivant la granulométrie du sol et le degré de dégradation de sa structure.

Les changements dans la composition chimique du sol qu'entraîne l'épandage de purin de porc sont variables et étroitement liés à des facteurs tels que la granulométrie du sol, la quantité de fumier utilisée ainsi que le moment et la méthode d'épandage choisis, la pluviosité, la nature des cultures et le moment de prélèvement des échantillons. L'épandage de grandes quantités de fumier se traduit par une augmentation de la teneur du sol en NO_3^- -N, en phosphore assimilable ainsi qu'en potassium et en sodium échangeables plus importante qu'en apport en engrais inorganique (Evans et coll., 1977). King et coll. (1985) ont observé une accumulation de NO_3^- -N ainsi que de phosphore et de sodium extractibles (Mehlich I) dans la couche inférieure des sols traités avec du fumier, l'importance des accumulations étant proportionnelle à la quantité de fumier utilisée.

Comme on l'a mentionné auparavant, le fait que le rapport azote-phosphore soit moindre dans les fumiers que dans les plantes peut entraîner la séquestration du phosphore assimilable du sol et, par la suite, la mobilisation aboutissant à la pollution des eaux de surface et souterraines (Sims et coll., 1997; Simard et coll., 1996). Lorsqu'on utilise de grandes quantités de fumier, le calcium et le magnésium peuvent être remplacés, dans les zones

d'échange, par des ions « concurrents » présents dans le fumier (sodium, potassium, ammoniacque, etc.) et s'accumuler par lessivage dans les couches plus profondes du sol. De plus, l'hydrogène libéré pendant la conversion du NH_4 en NO_3 peut parvenir à prendre la place du calcium et du magnésium dans les particules colloïdales du sol et ainsi abaisser le pH du sol de surface (King et coll., 1985).

Bailey et coll. (1997) ont observé un changement égal à une unité de pH dans la couche supérieure du sol d'un pâturage jusqu'à une profondeur de 45 cm à la suite d'un épandage de fumier. L'ajout de sel ou d'additifs à la nourriture des porcs peut modifier la composition du fumier de porc et les substances en question peuvent s'accumuler dans le sol. Komegay et coll. (1976) ont observé que l'utilisation de fumier provenant de porcs nourris avec des aliments riches en cuivre se traduisait par une légère augmentation de la teneur du sol en cuivre, en zinc, en phosphore, en calcium et en magnésium par rapport au sol d'un champ témoin. De même, les animaux nourris avec des aliments plus riches en sel alimentaire produisaient du fumier ayant une plus forte teneur en sodium et on observait une plus grande concentration de sodium dans le sol fertilisé avec ce fumier (Sutton et coll., 1984b). Bernal et Kirchmann (1992) ont quant à eux observé que l'utilisation de fumier de porc pour fertiliser des terres arides ou semi-arides pouvaient en provoquer la salinisation.

Qualité de l'eau : L'épandage de grandes quantités de fumier peut entraîner le lessivage du NO_3^- -N, du phosphore et du potassium (figure 2 et King et coll., 1990). Des facteurs tels que la quantité de fumier utilisée, le type de sol, la nature et la durée des cultures ainsi que l'intensité et la hauteur des précipitations influent sur le lessivage du NO_3^- -N. Dans les régions tempérées, c'est normalement en mai que la teneur du sol en NO_3^- -N est la plus élevée, après quoi elle diminue tout au long de la saison de croissance, au fur et à mesure que l'azote est assimilé par les plantes, ainsi qu'à cause du lessivage.

Burton et coll. (1994) ont observé, à la suite de l'épandage de bouse de vache liquide sur un gleysol humifère luviq, une augmentation de la teneur en NO_3^- -N dans la solution de sol à une profondeur de 75 cm, une année où la hauteur des précipitations était supérieure à celle des autres années. La teneur du sol en NO_3^- -N était par ailleurs plus élevée aux endroits fertilisés en automne qu'à ceux fertilisés au printemps. Les auteurs en sont arrivés à conclusion que la teneur du fumier en carbone influait sur le sort de l'azote du fumier et se sont demandés si cette plus forte teneur en carbone pouvait augmenter la dénitrification dans des profils de sol et réduire le risque de contamination de l'eau souterraine par le nitrate.

Malgré l'accumulation d'azote, de phosphore et d'autres éléments fertilisants dans le sol des plaines côtières et du piémont du sud-est des États-Unis à la suite de l'épandage de quantités de plus en plus importantes de fumier, on n'a observé aucune migration importante du phosphate vers les couches inférieures (Humenik et coll., 1972). En revanche, dans le cas de prairies subtropicales, l'augmentation de la quantité de fumier utilisée (de 335 à 1 340 kg/ha) s'est traduite par une augmentation importante, d'une part du lessivage du NO_3^- -N, du phosphore, du potassium et du magnésium (King et coll., 1985; King et coll., 1990) et, d'autre part, de la teneur des eaux de

ruissellement pluvial en $\text{NO}_3\text{-N}$ et en phosphore (Westerman et coll., 1985). Sutton et coll. (1978) ont aussi observé des signes de migration du sodium, du potassium et du $\text{NO}_3\text{-N}$ vers les couches inférieures dans des profils de sols fertilisés avec du fumier de porc, mais dans le cas du $\text{NO}_3\text{-N}$, cette migration était moins importante que celle observée dans les sols fertilisés avec des engrais inorganiques.

Evans et coll. (1977) ont quant à eux observé que le lessivage était plus important lorsqu'on utilisait de la bouse de vache que lorsqu'on utilisait du purin de porc. Une augmentation de la quantité de fumier utilisée se traduit par une augmentation de la teneur du sol en $\text{NO}_3\text{-N}$ jusqu'à 122 cm de profondeur (Sutton et coll., 1984b). Cependant, dans des études antérieures, les auteurs avaient observé que la quantité de fumier épandue n'avait aucun effet sur le lessivage du $\text{NO}_3\text{-N}$ (Sutton et coll., 1982). Ils en avaient conclu que les risques d'infiltration des éléments fertilisants solubles, et plus particulièrement du $\text{NO}_3\text{-N}$, dans les couches inférieures du sol (entre 62 cm et 122 cm de profondeur) étaient plus grands lorsque le fumier était incorporé dans le sol que lorsqu'il était épandu en surface.

Aspects économiques

Il est très difficile d'analyser l'incidence économique globale de l'utilisation du fumier de porc pour fertiliser les terres arables. Dans un régime des meilleures pratiques de gestion, l'économiste doit tenir compte à la fois de l'incidence sur l'exploitant agricole et sur le grand public (le facteur socio-économique). Les économistes ne disposaient jusqu'à maintenant que d'estimations très peu fiables tant des bénéfices extra-agricoles que des coûts extra-agricoles (Goss et coll., 1994). Les producteurs s'inquiètent des effets que pourrait avoir sur la rentabilité de leur entreprise toute nouvelle façon de faire recommandée par le gouvernement ou les chercheurs. Le comité consultatif scientifique et technique doit aider les producteurs à établir les effets nets, positifs ou négatifs, de la dégradation ou de la « gérance » de l'environnement liée aux différents systèmes d'exploitation et aux différentes méthodes de gestion (Goss et coll., 1994).

Sommerfeldt et coll. (1988) ainsi que Chang et coll. (1991) ont étudié les avantages économiques de l'utilisation de fumier pour la fertilisation du sol. Ils ont tenu compte dans leurs études des frais de chargement, de transport et d'épandage du fumier ainsi que des coûts éventuels associés à la pollution des eaux souterraines (lessivage des sels et d'agents pathogènes). Ils en sont arrivés à la conclusion que la rentabilité de l'utilisation du fumier pour l'amendement des sols dépendait des coûts/avantages de l'opération ainsi que de l'emplacement et de la nature des terrains où doit se faire l'épandage : distance du lieu de provenance du fumier (Freeze et Sommerfeldt, 1985), érosion du sol, plantes récoltées, etc.

Ils ont en outre constaté que le prix des engrais commerciaux, le prix des cultures, le prix de l'énergie, les frais de main-d'oeuvre et les fluctuations des taux d'intérêt devaient aussi être pris en compte. Dans le cadre d'une étude menée en Iowa portant sur terres traitées avec différentes quantités de fumier liquide, Chase et coll. (1991) ont observé que les terres traitées avec du fumier (2 000 gallons à l'hectare) offraient un meilleur rendement que celles traitées avec un engrais commercial suivant la quantité recommandée pour la région et

pour la culture concernée (379 \$ US/ha contre 337 \$ US/ha). Ils en ont conclu que la rentabilité de l'utilisation de fumier de porc comme source d'éléments fertilisants pour les plantes s'accroîtra avec l'augmentation du coût de l'engrais.

Établissement des meilleures pratiques de gestion - Lacunes sur le plan technologique ainsi qu'en matière de recherche et de développement

La viabilité économique et environnementale de l'industrie du porc au Canada est liée à l'établissement des meilleures pratiques de gestion pour le fumier. Vu la grande variété des climats, des sols et des systèmes de culture qu'on observe au Canada, il n'est pas pensable de recommander un régime unique de meilleures pratiques de gestion pour tout le pays, comme on peut d'ailleurs aisément s'en rendre compte à la lumière de l'information présentée. Par conséquent, il faut s'attendre à ce qu'on établisse plusieurs régimes, chacun adapté à un ensemble de conditions particulières, mais dans tous les cas conçus pour assurer la viabilité de l'industrie, sur le plan tant économique que de l'environnement. Pour établir ces régimes, il faudra pouvoir compter tant sur un appui sans réserve continu de la part des organismes gouvernementaux et privés concernés que sur le soutien d'une équipe pluridisciplinaire de chercheurs scientifiques travaillant en harmonie avec des spécialistes de la recherche socio-économique, les producteurs et les organisations qui les représentent ainsi que les environnementalistes. Il ressort aussi clairement de l'information présentée que de graves lacunes, tant sur le plan technologique qu'en matière de recherche et de développement, devront être comblées pour que l'on puisse mettre en place les régimes de meilleures pratiques de gestion requis.

Cartes et base de données de planification - Le principal obstacle à l'établissement des régimes de MPG est le manque de renseignements sur les sols et l'eau sur lesquels on pourrait s'appuyer pour prendre des décisions visant à assurer une gestion adéquate du fumier de porc. Il est essentiel que l'industrie porcine ait accès à la meilleure information disponible sur les caractéristiques géologiques et hydrologiques des sols, afin de s'assurer que les exploitations s'établissent, à l'intérieur d'une zone écologique donnée, aux endroits où leurs activités risquent le moins de perturber l'environnement. Pour ce qui est des prairies et de la plupart des autres zones du Canada, cette information est déjà - ou sera bientôt - accessible sous forme numérique dans le Système canadien d'information sur les sols pour l'établissement des « cartes et base de données de planification » pour la gestion du fumier (éléments fertilisants); l'information peut aussi être utilisée par l'industrie à des fins de planification et de recherche d'emplacements pour les exploitations d'élevage intensif.

L'objectif sera de mettre à la disposition des intéressés une information commode sur les types de sol, les caractéristiques des zones et les systèmes de culture. On y trouvera également de l'information sur les teneurs appropriées des fumiers en éléments fertilisants ainsi que sur les meilleurs moments d'épandage. Pendant qu'on mettra au point un tel système d'information, il faudra créer ou importer de nouvelles technologies concernant les sols et l'agronomie qui nous permettront de mesurer les effets du fumier sur la production végétale, la matière organique du sol, la présence de micro-organismes (y compris d'agents pathogènes), la fertilité et la stabilité structurale des sols, sa composition chimique (oligo-éléments et métaux

lourds) et sa capacité de rétention de l'humidité. L'information recueillie servira à établir des lignes directrices qui permettront d'assurer une utilisation du fumier et une exploitation des fermes porcines respectueuses de l'environnement.

La gestion des éléments fertilisants - On connaît peu de choses concernant la meilleure façon d'utiliser les éléments fertilisants du fumier de porc. On sait toutefois que ces éléments ne peuvent fournir une « nourriture » équilibrée et complète aux plantes. De plus, des éléments forts utiles comme l'azote se transforment rapidement en matières volatiles et lessivables, tandis que d'autres éléments comme le phosphore et d'autres sels non fertilisants (métaux lourds) peuvent s'accumuler dans le sol et nuire à la nutrition normale des plantes. Toute source d'éléments fertilisants non équilibrée, organiques ou inorganiques, fait peser un hypothèque tant sur la rentabilité des exploitations que sur le respect de l'environnement. En principe, lorsque les matières demeurent dans le sol et ne se transforment en éléments assimilables par les plantes qu'au moment opportun, les risques de pollution de l'environnement sont faibles.

Il faudrait donc mettre au point une nouvelle technologie qui permettrait d'améliorer l'action fertilisante du fumier en assurant un meilleur équilibre entre les éléments qu'il contient, par exemple en y ajoutant des engrais inorganiques ainsi que des agents antimicrobiens et des inhibiteurs d'enzyme tels que du soufre élémentaire, du N-Serve (agent bactéricide mis au point par Dow Chemical) et des inhibiteurs d'uréase (NBPT, CHPT, PPDA), afin de ralentir la vitesse de transformation des matières organiques en matières inorganiques volatiles et lessivables. Cela permettrait d'assurer une meilleure fertilisation des plantes tout en réduisant les risques de contamination du sol, de l'eau et de l'air.

Cycle des éléments fertilisants - Le fumier de porc est une source très complexe d'éléments fertilisants pour les plantes. Pour faire une utilisation efficace de ces éléments nutritifs, il faut a) connaître les facteurs pédologiques et environnementaux qui déterminent la quantité d'éléments fertilisants libérés dans les différents types de sol et zones écologiques ainsi que le moment où se produit cette libération et b) les effets de cette libération sur les micro-organismes et les agents pathogènes qui vivent dans le sol de même que sur la croissance des mauvaises herbes, ainsi que c) comprendre comment ces facteurs influent sur la croissance des plantes et la lutte contre les maladies des plantes.

Aspects économiques - Il faut établir, pour les différentes zones écologiques du Canada, la surface de terrain requise pour un nombre donné d'animaux d'élevage. Pour faire une bonne utilisation du fumier, il peut être nécessaire de n'en appliquer que de faibles quantités, ce qui peut exiger l'acquisition d'un appareillage d'épandage coûteux, le transport du fumier sur de grandes distances ou un vaste territoire d'élevage. Il faut évaluer les coûts fixes et variables associés aux différentes méthodes d'utilisation du fumier. Par exemple, quelle est la valeur (pour l'éleveur) du fumier en tant qu'engrais et qu'amendement (autrement dit, pour corriger les lacunes d'un sol salin et peu fertile), et quel est le coût des éléments fertilisants du fumier par tonne de céréales (montant investi par rapport au rendement)? Il faut aussi évaluer combien il en coûterait pour concentrer (par compostage ou par ajout de polymères) les éléments fertilisants de telle manière que les liquides puissent

être épandus, tandis que les solides pourraient être transportés/épandus à moindre coût dans des endroits plus éloignés.

Pour des raisons économiques, on choisit souvent d'implanter des exploitations d'élevage intensif dans des zones où le sol est le plus pauvre, par exemple à la limite de prairies. Or, le sol est souvent mince ou léger dans ces zones ou encore il peut y avoir dessous une formation aquifère peu profonde, si bien que les risques d'infiltration d'eau contaminée dans les mares artificielles et les cours d'eau en cas d'épandage du fumier au mauvais endroits sont accrus. Certains paliers de gouvernement peuvent être prêts à tolérer un certain degré de lessivage, surtout s'il en va de la compétitivité de l'industrie. D'autres paliers de gouvernement peuvent exiger un « système clos » en matière de production animale et appliquer une politique de tolérance zéro en matière de lessivage. Ce qu'il faut se demander, d'une part, c'est quel est le prix économique des décisions prises concernant le lessivage et, d'autre part, de quelle façon il serait possible d'établir des niveaux acceptables en matière de lessivage et d'azote excédentaire.

Communication et répercussions socio-économiques - Il faut mettre en place de nouveaux moyens de communication : courrier électronique, groupe de discussion sur Internet, page Web qui pourrait être mise à jour périodiquement et ainsi de suite. Il faudrait aussi que les différents instruments de communication soient accessibles aux producteurs, aux chercheurs, aux agents privés ainsi qu'à la population en général. Mieux informés, les gens auront une opinion plus favorable de l'industrie porcine et seront moins tentés de vouloir la repousser dans des régions où les entreprises ne peuvent assurer leur rentabilité. De meilleures communications permettront en outre de trouver les groupes ou les personnes qui se chargeront de combler les lacunes en matière de connaissances et de mettre au point de nouvelles technologies ainsi que de répertorier les projets pilotes de gestion du fumier, de façon à favoriser l'acceptation et le financement de nouvelles technologies.

Elles pourraient aussi contribuer à faire en sorte que la politique sur les gaz à effet de serre fasse une plus large place aux données scientifiques que cela n'a été le cas à la conférence de Kyoto. De meilleures communications devraient aussi permettre d'éviter qu'on refasse les mêmes recherches et assurer une plus grande complémentarité des activités ainsi que fournir l'occasion d'examiner et de diffuser de l'information sur les traits caractéristiques des collectivités qui acceptent la croissance des activités liées à l'industrie du porc sur leur territoire et de celles qui s'y opposent (quels sont les facteurs déterminants de ces deux attitudes?). Enfin, les nouveaux moyens de communication permettront de faire connaître les nouvelles technologies aux producteurs et mettront en rapport les chercheurs et les personnes responsables des activités de vulgarisation et de démonstration.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION

Le fumier de porc est une source précieuse d'éléments fertilisants pour les plantes et son épandage sur les terres agricoles peut être une façon efficace d'en recycler les substances nutritives grâce au système sol-végétaux. Il faut toutefois bien utiliser le fumier, sans quoi il devient un poids tant sur le plan économique que sur celui de l'environnement. Le fumier de porc peut améliorer la fertilité, la productivité et la qualité du sol. L'épandage du fumier sur un sol gelé entraîne la perte d'une partie importante de ses éléments

fertilisants. Le lessivage du NO_3^- -N et d'autres éléments fertilisants solubles est plus important dans les zones où la hauteur pluviométrique est élevée. Les recherches ont montré qu'il n'y avait accumulation ou lessivage des éléments fertilisants que lorsque la quantité de fumier utilisée était supérieure aux besoins des cultures et à la capacité de fixation du sol sécuritaire pour l'environnement.

C'est pourquoi, au moment de décider de la quantité de fumier à épandre, il faut toujours tenir compte à la fois des besoins des plantes en éléments fertilisants et de la capacité de fixation naturelle du sol. Les recherches portant sur le fumier de porc sont beaucoup plus rares que celles portant sur le fumier de volailles ou de vaches. Cependant, avec l'augmentation du cheptel de porcs dans les pays tempérés, les chercheurs seront de plus en plus vivement incités à travailler à l'établissement de « meilleures pratiques de gestion » qui permettront de faire du fumier de ces bêtes une utilisation économiquement rentable pour les productions végétales, et ce, dans le respect de l'environnement.

References

- Al-Kanani, T., Akochi, E., MacKenzie, A. F., Alli, I. & Barrington, S. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. *J. Environ. Qual.* 21, 709-715.
- Alberta Agriculture 1984. Swine manure as fertilizer. Agdex-440/27-1. Alberta Agriculture, Edmonton, Canada.
- Azevedo, J. & Stout, P. R. 1974. Farm animal manures: an overview of their role in the agricultural environment. *Manual 44*. California Agricultural Experiment Station Extension Service. p. 109.
- Bailey, L.D., C.A. Grant and M. Choudhary. 1997. Use of lagoon stored manure for pasture production. *Western Canada Agronomy Conference. Proceedings*. Saskatoon, SK. July 9-11. Canadian fertilizer Institute, Ottawa, ON. p 111-115.
- Beauchamp, E. G. 1983. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid dairy cattle manure. *Canadian Journal of Soil Science* 63, 377-386.
- Beauchamp, E. G., Kidd, G. E. & Thurtell, G. 1982. Ammonia volatilization from liquid dairy cattle manure in the field. *Canadian Journal of Soil Science* 62, 11-19.
- Bernal, M. P. & Kirchmann, H. (1992) Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. *Biology and Fertility of Soils* 13, 135-141.
- Brumm, M. C. & Sutton, A. L. 1979. Effect of copper in swine diets on fresh waste composition and anaerobic decomposition. *Journal of Animal Science* 49, 20-25.
- Burns, J. C., Westerman, P. W., King, L. D., Overcash, M. R. & Cummings, G. A. 1987. Swine manure and lagoon effluent applied to a temperate forage mixture: I. Persistence, yield, quality, and elemental removal. *Journal of*

Environmental Quality 16, 99-105.

Burton, D. L., Younie, M. F., Beauchamp, E. G., Kachanoski, R. G. & Loro, P. 1994. Impact of manure application on nitrate leaching to groundwater. In Proceedings of 37th Annual Manitoba Soc. of Soil Sci. Meeting. Dept. of Soil Sci., University of Manitoba, Winnipeg. Canada. p. 190-201.

Campbell A.J., MacLeod, J.A. and Stewart, C. 1997. Nutrient characterization of stored liquid hog manure. Canadian Agricultural Engineering Vol. 39: 43-48.

Chase, C., Duffy, M. & Lotz, W. 1991. Economic impact of varying swine manure application rates on continuous corn. Journal of Soil and Water Conservation 46, 460-464.

Chang, C., Sommerfeldt, T.G., and Entz, T. 1991. Soil chemistry after eleven annual applications of feedlot manure. Journal of Environmental Quality 20: 475-480.

Freeze, B. S. & Sommerfeldt, T. G. 1985. Breakeven hauling distances for beef feedlot manure in southern Alberta. Canadian Journal of Soil Science 65, 687-693.

Evans, S. D., Goodrich, P. R., Munter, R. C. & Smith, R. E. 1977. Effects of solid and liquid beef manure and liquid hog manure on soil characteristics and on growth, yield, and composition of corn. Journal of Environmental Quality 4, 361-368.

Gangbazo, G. Peasant, A.R, Barnett, G.M., Charuest, J.P., and Cluis, D. 1995. Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of hog manure and mineral fertilizers. Journal of Environmental Quality 24: 420-425.

Grant, C.A. and L.D. Bailey, 1993a. The interaction of zinc with banded and broadcast phosphorus fertilizer on the drymatter and seed yield of oilseed flax. Can. J. Plant Sci. 73:1-15.

Grant, C.A. and L.D. Bailey, 1993b. The interaction of zinc with banded and broadcast phosphorus fertilizer on the concentration and uptake of Zn, P, Ca and Mg in plant tissue of oilseed flax. Can.J.Plant Sci. 73:17-19.

Goss, M.J., Ogilvie, J.R., Beauchamp, E.G., Stonehouse, D.P., Miller, M.H., and Parris, K. 1994. Current state of the art on manure/nutrient management. Final Report to Agriculture Canada on Contract No. 01689-2-3920/01-XSE. September 30, 1993.

Gilbertson, C. B., Van Dyne, D. L., Clanton, C. J. & White, R. K. 1979. Estimating quantity and constituents in livestock and poultry manure residue as reflected by management systems. Transactions of the ASAE 22, 602-611.

Hafez, A. A. R. (1974) Comparative changes in soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals. Soil Science 118, 53-59.

Hoeff, J. D., Nelson, D. W. & Sutton, A. L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. Journal of Environmental Quality 10, 90-95.

Humenik, F. J., Skaggs, R. W., Willey, C. R. & Huisingsh, D. 1972. Evaluation of swine waste treatment alternatives. In Waste Management Research. Graphics Corporation, Washington, D. C. p. 341-352.

Kachanoski, G, Barry D.A.J. and. Stonehouse D.P. 1997. Nitrogen and carbon transformations in conventionally-handled livestock manure. COESA Report No.: RES/MAN-002/97.

King, L. D., Westerman, P. W., Cummings, G. A., Overcash, M. R. & Burns, J. C. 1985 Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: II. Effects on soil. J. Environ. Qual. 14, 14-21.

King, L. D., Burns, J. C., & Westerman, P. W. 1990. Long-term swine lagoon effluent applications on 'Costal' bermudagrass: II. Effect on nutrient accumulation in soil. J. Environ. Qual. 19, 756-760.

Komegay, E.T., Hedges, J.D., Martens, D.C., and Kramer, C.Y. 1976. Effect on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. Plant and Soil 45, 151-162.

Larson, B. G. 1991. Saskatchewan pork industry manure management recommendations. Saskatchewan Pork Producers' Marketing Board, Saskatoon, SK. pp. 30.

McEachron, L. W., Zwerman, P. J., Kearn, C. D. and Musgrave, R. B. 1969. Economic return from various land disposal systems for dairy cattle manure. In Animal Waste Management. Proceedings Cornell University Waste Management Conference 13-15 Jan. 1969. Syracuse N. Y. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. p. 393-400.

McKenna, M. F. & Clark, J. H. 1970. The economics of storing, handling and spreading of liquid hog manure for confined feeder hog enterprises. In Relationship of agriculture to soil and water pollution. Proceedings Cornell University Agricultural Waste Management Conference 19-21 Jan. 1970. Rochester, N. Y. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. p. 98-110.

Menzies, J. D. & Chaney, R. L. 1974. Waste Characteristics. In Factors Involved in Land Application of Agricultural and Municipal Wastes. USDA, ARS.

Miller, P. L. & MacKenzie, A. F. (1978) Effects of manures, ammonium nitrate and S-coated urea on yield and uptake of N by corn and on subsequent inorganic N levels in soils in southern Quebec. Canadian Journal of Soil Science 58, 153-158.

Paul, J.W. 1991. Corn yields and potential for nitrate leaching from manures and inorganic N fertilizer. Ph.D. Thesis. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.

Peasant, A.R, Gangbazo, G., Cluis, D, Barnett, G.M., and Charuest, J.P. 1993. Effect of hog manure and fertilizer application on runoff and drainage water quality. Pages 513-524 in S. Wicherek ed. proc. Int. Symp. On farm land erosion. St-Cloud, Fra. Catena, Elsevier, Amsterdam.

Powers, W. K., Wallingford, G. W. & Murphy, L. S. 1975. Research status on effects of land application on animal wastes. Environmental Protection Technology Series, EPA 660/2-75-010. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. p. 44-46.

Saskatchewan Pork Industry Manure Management Recommendations. 1991. Prepared by G.B. Larson, in cooperation with Environmental Issues Committee and the Saskatchewan Pork Producer's Marketing Board.

Schulte, D.D., M.B. Tokarz and G.E. Laliberte. 1979. Nitrogen and phosphorus transport from swine-manured fields during snowmelt runoff events in the Red River Valley. ASAE Papers 79-2116.

Simard, R.R. 1996. Manure management in Quebec: the urgent need for solutions. Pages 65-80 in C. Chang ed. Proc. Can. Soc. Soil Sci. Waste Management Workshop, July 7th, 1996, Lethbridge, Alberta.

Simard, R.R. Drury, C.F. and Lafond, J. 1996. Cropping effects on phosphorus leaching in clay soils. Better Crops and Plant Food 80: 24-27.

Simard, R.R. 1998. Land application of manure: agronomic and environmental considerations. AAFC-Research Centre, Ste-Foy, Quebec. Personal communication.

Sommerfeldt, T. G. and Chang, C. 1985. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. Soil Science Society of America Journal 49, 983-987.

Sommerfeldt, T.G, Chang, C, and Entz, T. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen, decrease carbon to nitrogen ratio. Soil Sci. Amer. Proc. 38: 826-830.

Sutton, A. L., Mayrose, V. B., Nye, J. C. & Nelson, D. W. 1976. Effect of dietary salt level and liquid handling systems on swine waste composition. Journal of Animal Science 43, 1129-1134.

Sutton, A. L., Nelson, D. W., Mayrose, V. B. & Nye, J. C. 1978. Effects of liquid swine waste applications on corn yield and soil chemical composition. J. Environ. Qual. 7, 325-333.

Sutton, A. L., Nelson, D. W., Hoff, J. D. & Mayrose, V. B. 1982. Effects of injection and surface applications of liquid swine manure on corn yield and soil composition. J. Environ. Qual. 11, 468-472.

Sutton, A. L., Melvin, S. W. & Vanderholm, D. H. 1984a. Fertilizer value of swine manure. AS-453. Iowa State Cooperative Extension Service, Ames, Iowa. p. 6.

Sutton, A. L, Nelson, D. W., Mayrose, V. B., Nye, J. C. & Kelly, D. T. 1984b. Effects of varying salt levels in liquid swine manure on soil composition and corn yield. J. Environ. Qual. 13, 49-59. Thompson, R.B. Ryden, J.C. and Lockyer, D.R. 1987. Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. Journal of Soil Science 38: 689-700.

Unger, P. W. & Stewart, B. A. 1974. Feedlot waste effects on soil conditions and water evaporation. *Soil Science Society of American Proceedings* 38, 954-957.

Vanderholm, D. H. 1975. Nutrient losses from livestock waste during storage, treatment and handling. In *Managing livestock wastes. Proceedings of 3rd Inter. Symp. on Livestock Wastes, Urbana-Champaign, Ill. 21-24 Apr. 1975.* Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich. p. 282-285

Warman, P. R. 1986. Effects of fertilizer, pig manure, and sewage sludge on timothy and soils. *Journal of Environmental Quality* 15, 95-100.

Weil, R. R. & Kroontje, W. 1979. Physical condition of a Davidson clay loam after five years of heavy poultry manure applications. *Journal of Environmental Quality* 8, 387-392.

Williams, R. J. B. & Cooke, G. W. 1961. Some effects of farmyard manure and of grass residues on soil structure. *Soil Science* 92, 30-39.

Xie, R. & MacKenzie, A. F. 1986. Urea and manure effects on soil nitrogen and corn dry matter yields. *Soil Science Society of America Journal* 50, 1504-1509.

Zhu, Y. M., Berry, D. F. & Martens, D. C. 1991. Copper availability in two soils amended with eleven annual applications of copper-enriched hog manure. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 22, 769-783.

: 2003 02 10

Recherche faite pour le montage et la présentation de notre mémoire.

Alma, Delisle. Québec Ca.

PRODUCTIONS ANIMALES LE PORC Revue éditée par l'INRA

Rapport complet sur la chaleur produit par un élevage de porc, l'odeur désagréable en plus du purin produit.

2000, INRA Prod. Anim., 13, 233-245.

Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques

N. QUINIOU¹, D. RENAUDEAU², A. COLLIN², J. NOBLET²
nathalie.quiniou@itp.asso.fr, noblet@st-gilles.inra.fr

¹ Institut Technique du Porc, BP 3, 35651 Le Rheu cedex

² INRA, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles

En Europe, malgré l'amélioration des caractéristiques des bâtiments (isolation, ventilation...), les problèmes liés aux températures élevées se posent de plus en plus fréquemment aux porcs 'modernes', très productifs. Dans certains bassins de production porcine localisés sous des climats chauds (Australie, Asie du sud-est, Brésil...), les bâtiments sont le plus souvent ouverts et les animaux sont encore plus directement dépendants des conditions climatiques extérieures.

[Résumé](#) | [Abstract](#) | [Fichier PDF \(83 Ko\)](#)

Introduction

1 / Définition de la zone de confort thermique

2 / Température élevée et stade physiologique

3 / Caractéristiques de la prise alimentaire à la thermoneutralité

3.1 / Définition et mode de calcul des caractéristiques de la séquence alimentaire

3.2 / Effet du stade physiologique

3.3 / Effet du type sexuel et du type génétique

3.4 / Autres facteurs de variation des caractéristiques de la prise alimentaire

4 / Caractéristiques de la prise alimentaire lors de l'exposition à des températures élevées maintenues constantes pendant la journée

4.1 / Plus la température s'accroît, plus la chute de consommation est importante

4.2 / Le Porc a un comportement essentiellement diurne quelle que soit la

température

4.3 / L'effet de la température sur la séquence alimentaire dépend du stade physiologique

5 / Caractéristiques de la prise alimentaire lors de l'exposition à des températures élevées et fluctuantes au cours de la journée

6 / Peut-on moduler les effets des températures élevées ?

Conclusion

[Références](#) | [Figures](#) | [Tableaux](#)

Résumé

L'exposition des porcs à des températures ambiantes élevées s'accompagne d'une chute des performances chez le porcelet sevré, le porc en croissance et la truie en lactation. Cet effet négatif de la chaleur s'exerce notamment via une diminution de la consommation spontanée d'aliment. Après avoir exposé les mécanismes impliqués dans la thermorégulation et les difficultés rencontrées pour définir la zone de confort thermique, cet article présente les effets de la température sur les caractéristiques de la prise alimentaire chez le Porc en s'appuyant sur les résultats d'un programme expérimental développé depuis 1996 à l'INRA de St-Gilles. Ainsi, il apparaît que le Porc a un

comportement essentiellement diurne quelle que soit la température ambiante. Dans la gamme des températures étudiées, la moindre consommation alimentaire au chaud résulte, dans un premier temps, d'une diminution de la taille des repas alors que leur fréquence n'est pas modifiée. Cependant, d'après les résultats obtenus chez les truies allaitantes, l'accroissement de l'intensité du stress thermique provoque également une réduction du nombre de repas. Lorsque la température varie au cours de la journée autour d'une valeur moyenne de confort, le porc en croissance et la truie allaitante adaptent leur prise alimentaire aux conditions thermiques et parviennent à compenser leur moindre consommation en période chaude par une ingestion d'aliment accrue pendant les périodes fraîches de la journée. Cependant, sous des températures moyennes élevées (supérieures à la zone de thermoneutralité), la consommation alimentaire plafonne pendant les périodes fraîches et ne permet plus de compenser la chute de consommation lors des périodes chaudes.

Introduction

La plupart des porcs commercialisés actuellement sont issus d'une sélection génétique basée sur l'accroissement du potentiel de production et l'évolution s'est faite au profit d'animaux à croissance rapide, plus maigres et consommant moins d'aliment. En phase de croissance, la prise spontanée d'aliment tend à coïncider, ou du moins à se rapprocher, de la quantité d'aliment nécessaire à l'expression optimale du potentiel de croissance. Cette situation présente l'avantage de permettre une conduite alimentaire en libre service des animaux, mais présente l'inconvénient d'accentuer la sensibilité de l'animal aux conditions d'élevage. Toute réduction de consommation est alors associée à une chute importante de la vitesse de croissance, notamment via un moindre dépôt de muscle. Chez la truie, l'augmentation par la sélection de la taille de la portée, et donc des besoins nutritionnels pour la production laitière, s'est effectuée de façon plus rapide que l'accroissement de la prise alimentaire, ce qui a contribué à accentuer le déficit nutritionnel pendant la lactation. Il s'ensuit que tout facteur influençant négativement la prise alimentaire de la truie en lactation sera susceptible de compromettre le bon déroulement de sa carrière.

La description des facteurs de variation de l'appétit des porcs en croissance (Henry 1985) et des truies en lactation (Quiniou *et al* 1998), d'une part, et l'incidence des paramètres d'ambiance sur les performances (Le Dividich et Rinaldo 1989, Verstegen et Close 1994, Le Dividich *et al* 1998), d'autre part, ont déjà fait l'objet d'articles de synthèse. Cependant, ces derniers décrivaient, entre autres, les effets sur la quantité d'aliment spontanément ingérée, mais sans disposer d'éléments comportementaux permettant d'analyser la chute d'appétit au chaud.

Parallèlement, les caractéristiques de la séquence alimentaire ont été déterminées chez le porcelet sevré élevé seul (Bigelow et Houpt 1988), le porc en croissance élevé en groupe (Labroue 1995) et la truie en lactation (Dourmad 1993) en maintenant les porcs dans leur zone de confort thermique ou dans des conditions de température non maîtrisées. En conséquence, après quelques considérations sur la notion du 'chaud' selon le stade physiologique et un rappel des caractéristiques de la prise alimentaire chez le Porc, cet article s'intéressera principalement aux effets des températures élevées sur ces caractéristiques en s'appuyant sur les résultats d'un programme expérimental développé à l'INRA de Saint-Gilles depuis 1996.

1 / Définition de la zone de confort thermique

Le Porc est un animal homéotherme, c'est-à-dire qui maintient sa température interne à un niveau constant malgré les variations de la température ambiante. Cette capacité est liée à la fonction de thermorégulation qui permet d'équilibrer les échanges de chaleur avec le milieu grâce à de nombreux effecteurs coordonnés par le système nerveux central (figure 1). Lorsque la température augmente, l'homéothermie est maintenue par augmentation de la thermolyse et diminution de la thermogenèse. Les réactions impliquées sont d'ordre comportemental : réduction de l'activité locomotrice, changement de posture et diminution de la prise alimentaire ; ou autonome : augmentation du rythme respiratoire et vasodilatation périphérique permettant d'accroître les pertes de chaleur par évaporation et par convection.

L'évolution de la production de chaleur avec la température ambiante est illustrée par la figure 2. La zone de thermoneutralité correspond à la plage de température pour laquelle la production de chaleur totale ne dépend pas de la température ; ses limites inférieure et supérieure sont respectivement appelées températures critiques inférieure (TCi) et supérieure (TCs). L'ensemble des auteurs (Holmes et Close 1977, Revell et Williams 1993, Verstegen et Close 1994, Makkink et Schrama 1998) s'appuie sur le concept présenté par Mount en 1974 pour évaluer ces limites. En dessous de la TCi, l'homéothermie est maintenue par une augmentation de la production de chaleur associée, en conditions d'alimentation à volonté, à un accroissement de la consommation alimentaire. Au-dessus de la TCs, la température interne de l'animal augmente.

D'autres auteurs, dont Black *et al* (1986 et 1993), considèrent que la zone de thermoneutralité peut être scindée en deux. La première partie correspond à la plage de température dans laquelle les pertes de chaleur sont constantes ; elle est appelée zone de confort thermique. Dans cette zone, en réponse à l'augmentation de la température ambiante, la thermorégulation s'effectue par des mécanismes adaptatifs simples et peu coûteux en énergie tels que la vasodilatation des vaisseaux sanguins sous-cutanés (voie sensible) et des adaptations comportementales (changement de posture, réduction des contacts avec les congénères) qui permettent de maximiser la surface d'échange entre la peau et l'environnement (air ambiant, sol). Cette zone est délimitée par la TCi et la TCe (température critique d'évaporation). Dans la deuxième partie située entre la TCe et la TCs, la lutte contre le chaud commence à se mettre en place par l'augmentation des pertes de chaleur par évaporation (voie latente) et la diminution de la consommation d'aliment qui réduit la production de chaleur liée au métabolisme des nutriments. L'évaporation d'eau a lieu principalement au niveau pulmonaire chez le Porc, ses capacités de sudation étant faibles. Le bénéfice de l'augmentation du rythme respiratoire dépend, d'une part, de la fréquence respiratoire maximale pouvant être atteinte par l'animal et, d'autre part, du degré d'hygrométrie de l'air ambiant : plus l'air est sec, meilleure sera la thermolyse.

Au-dessus de la TCe, la vasodilatation périphérique s'accroît, ce qui permet d'augmenter les pertes de chaleur sensible par convection. Ainsi, Quiniou et Noblet (1999) ont montré que l'augmentation de la température ambiante s'accompagne, chez les truies en lactation, d'un accroissement de la température cutanée. Celui-ci n'est cependant pas suffisant pour prévenir une augmentation de la température interne. La température ambiante à partir de laquelle l'écart minimal de température entre le rectum et la peau est atteint

(environ 2°C d'après Quiniou et Noblet 1999) coïncide avec l'accentuation de la réduction de la prise alimentaire et de la production de lait (au-dessus de 25°C, [figure 3](#)).

En s'appuyant sur la connaissance des températures critiques, il devrait être théoriquement possible de caractériser la quantité d'aliment ingéré en fonction de la température ambiante. Cependant, la définition de ces températures critiques dépend du critère retenu pour les caractériser (production de chaleur, rétention d'énergie, consommation d'aliment, rythme respiratoire...). Or, il est probable que l'effet de la température n'apparaisse pas simultanément sur l'ensemble des mécanismes impliqués dans la fonction de thermorégulation mais que ceux-ci se déclenchent progressivement. Par ailleurs, cet effet est influencé par de nombreux facteurs tels que le stade physiologique, le niveau alimentaire et l'état d'adiposité (Holmes et Close 1977), mais également par la vitesse de l'air, l'hygrométrie, le degré d'humidification de la peau, la composition de l'aliment ingéré... (Revell et Williams 1993). Les valeurs des températures critiques disponibles dans la bibliographie dépendent donc fortement des conditions expérimentales de chaque étude et de leur analyse et interprétation. Ainsi, en pratique, ces éléments nous conduisent à conclure que la plage de température qui doit être prise en compte pour l'établissement des recommandations relatives aux conditions d'ambiance correspond à une gamme relativement large de valeurs pour lesquelles le choix du critère de performance retenu sera déterminant.

2 / Température élevée et stade physiologique

Au moment du sevrage, les conditions d'élevage auxquelles sont soumis les porcelets changent radicalement, en particulier l'alimentation. La transition entre une alimentation à base de lait (liquide) et une alimentation à base de matières premières principalement d'origine végétale (la plupart du temps distribuée en sec) nécessite une période d'adaptation. Durant celle-ci, l'ingestion de nutriments diminue ainsi que la production de chaleur induite par leurs transformations métaboliques. Dans ces conditions, un déficit énergétique très marqué est observé pendant la première semaine suivant le sevrage par rapport aux exigences thermiques assez élevées du porcelet sevré. D'après les résultats de Le Dividich *et al* (1980), la TCi se situerait autour de 28°C. Par ailleurs, les résultats de Stombaugh et Roller (1977) mettent en évidence une augmentation du rythme respiratoire et de la température corporelle lorsque la température s'élève au-dessus de 30°C ([figure 4](#)). Ainsi, la zone de confort thermique se situerait entre 28 et 30°C. De ce fait, l'exposition à des températures élevées n'est pas un réel problème chez le porc pendant les deux semaines qui suivent le sevrage. Au-delà, les limites de la zone de confort thermique se situent à des températures plus basses en raison de l'accroissement du niveau d'ingestion, et les températures élevées peuvent progressivement devenir un facteur limitant du niveau des performances (Collin *et al* 2001a) au même titre que chez le porc plus âgé.

Chez le porc en croissance alimenté à volonté, l'ensemble des études met en évidence une diminution continue de la prise alimentaire avec l'augmentation de la température ambiante. La baisse d'ingestion est plus importante chez les porcs à croissance rapide exposés à une température élevée à un stade de croissance avancé. Une augmentation du rythme respiratoire est rapportée entre 23 et 26°C par Giles et Black (1991, cf [figure 4](#)), mais la température corporelle reste constante tant que la température ambiante ne dépasse pas 26°C ([figure 5](#)). Une baisse accentuée de

consommation alimentaire est observée au-dessus de 25°C par Quiniou *et al* (2000a). A partir de ces résultats et ceux de Nichols *et al* (1982) et Nienaber *et al* (1987), il semble que la zone de confort thermique se situe en dessous de 25°C. Holmes et Close (1977) suggèrent que la TCs diminue lorsque le poids vif augmente. Cette hypothèse est confirmée par les résultats de Quiniou *et al* (2000a) selon lesquels la chute de la prise alimentaire lors de l'exposition à des températures élevées est d'autant plus accentuée que les porcs sont lourds (figure 6).

La truie en gestation est rationnée de façon plus ou moins sévère, ce qui se traduit par une relativement faible production de chaleur liée aux transformations métaboliques des nutriments. Par ailleurs, après le sevrage, les truies, qui ont fortement mobilisé leurs réserves adipeuses au cours de la lactation, ne bénéficient plus des propriétés isolantes de la couche de lard dorsal, ce qui accroît d'autant leur sensibilité au froid. Aux niveaux de rationnement pratiqués classiquement (1,3 à 1,5 fois le besoin d'entretien), la TCi serait de 23°C lorsque la truie en gestation est élevée en loge individuelle (Noblet *et al* 1988). L'exposition au chaud n'est donc généralement pas un problème important à ce stade.

La truie en lactation produit une quantité importante de chaleur en relation avec la quantité élevée d'aliment ingéré. Il en résulte que les limites de la zone de confort thermique à ce stade sont basses. D'après Black *et al* (1993), elles seraient de 12 (TCi) et 20°C (TCe). Cette valeur de TCe est cohérente avec l'augmentation du rythme respiratoire (cf figure 4) et la baisse de consommation alimentaire (cf figure 5) mises en évidence dès que la température s'accroît de 18 à 22°C (Quiniou et Noblet 1999). La zone de confort thermique du porcelet allaité est particulièrement élevée pendant les premières heures de vie (TCi de 34°C), puis elle diminue au cours de la période d'allaitement (TCi de 30°C à l'âge de 5 jours de vie, Berthon *et al* 1994). En pratique, la température recommandée en maternité résulte donc d'un compromis entre la zone de confort thermique du porcelet et celle de la truie, et, en pratique, elle est généralement fixée à 24°C lorsque les animaux sont élevés sur caillebotis total. Cela signifie que la truie allaitante est en permanence exposée au chaud alors que les problèmes de froid pour les porcelets sont limités par les systèmes de chauffage localisés qui permettent d'élever la température de 4 à 5°C dans les nids à porcelets.

3 / Caractéristiques de la prise alimentaire à la thermoneutralité

3.1 / Définition et mode de calcul des caractéristiques de la séquence alimentaire

Le comportement alimentaire regroupe une séquence d'activités relatives à l'identification, la préhension et l'ingestion de l'aliment (Picard *et al* 1997). Dans le domaine de l'alimentation du Porc, bien souvent seuls les mécanismes liés à l'ingestion sont étudiés et le comportement alimentaire est alors un terme utilisé, par abus de langage, pour décrire seulement les caractéristiques de la prise alimentaire.

La prise alimentaire correspond bien sûr à la quantité d'aliment ingérée, mais elle peut également être décrite par la séquence alimentaire. A l'échelle de la journée, celle-ci se définit par un ensemble de critères permettant de décrire l'acte alimentaire en terme de répartition des prises alimentaires dans le temps. Ces critères sont le nombre de repas par jour, la consommation

moyenne par jour et par repas, sa répartition sur le nyctémère, la durée d'ingestion par jour et la vitesse d'ingestion (consommation / durée). Au cours d'un même repas, l'animal peut effectuer des pauses qui sont prises en compte dans le calcul de la durée de consommation.

Différents systèmes de mesure de la séquence alimentaire existent. Dans la plupart d'entre eux, l'auge et/ou la trémie sont placées sur des capteurs de poids reliés à un microordinateur qui permettent de connaître, outre la quantité d'aliment consommée, le début et la fin de chaque prise alimentaire et donc sa durée (Feddes *et al* 1989, de Haer et Mercks 1992, de Haer et de Vries 1993, Labroue *et al* 1994 et 1995, Quiniou *et al* 1999a, 1999b, 2000a et 2000b, Collin *et al* 2001b). Les différents critères sont alors calculés à partir de l'enregistrement en continu des quantités d'aliment consommées par l'animal élevé seul ou en groupe. Dans ce dernier cas, l'identification du porc présent à l'auge s'effectue à l'aide d'une puce électronique fixée au niveau de l'oreille.

Contrairement aux systèmes décrits ci-dessus, dans lesquels l'aliment est toujours en libre accès pour l'animal se présentant devant l'auge, dans celui utilisé par Bigelow et Houpt (1988), l'aliment est délivré sur demande de l'animal après que celui-ci ait subi une procédure de conditionnement opérant qui consiste à apprendre au porc à presser sur un bouton placé près de l'auge pour obtenir une quantité d'aliment calibrée en fonction de son poids. Dans ce cas, le système enregistre les heures auxquelles est délivré l'aliment en même temps que le nombre de distributions par jour. Le dispositif utilisé par Dourmad (1993) ne permet de détecter que la durée et la fréquence des prises alimentaires à l'aide d'une cellule infrarouge reliée à un microordinateur et placée au-dessus de l'auge : la coupure du signal indique quand la truie met sa tête dans l'auge. La taille des repas est ensuite calculée comme le rapport entre la quantité totale d'aliment ingérée et le nombre de repas.

L'ensemble de ces dispositifs enregistre les visites alimentaires des animaux. Les informations fournies par les différents individus et par les différents systèmes peuvent être comparées en ce qui concerne la vitesse d'ingestion, la durée d'ingestion et la consommation alimentaire quotidienne. Pour un animal donné, des visites rapprochées dans le temps sont susceptibles de faire partie d'un même repas. Le critère de repas est défini comme la durée maximale pouvant être observée entre deux visites appartenant au même repas. En d'autres termes, tant que l'intervalle de temps suivant une visite est inférieur au critère de repas, la probabilité que l'animal revienne effectuer une visite est très élevée, et cet intervalle ne constitue qu'une pause dans son repas. Le critère de repas est estimé suivant la méthode mathématique décrite par Bigelow et Houpt (1988) : il s'agit d'étudier les fréquences cumulées des intervalles entre visites représentées graphiquement par une fonction de survie. Chez le porcelet élevé en groupe, le porc en croissance élevé en groupe et chez la truie en lactation, la valeur du critère de repas calculée par Collin *et al* (2001b), Labroue (1995) et Quiniou *et al* (2000a et 2000b) est de 2 minutes, les enregistrements étant réalisés avec des dispositifs comparables. Avec les systèmes différents présentés ci-dessus, le critère de repas calculé par Bigelow et Houpt (1988) et Dourmad (1993) est de 10 minutes. Outre l'effet du système de mesure, une telle différence s'explique en partie, dans le premier cas, par l'absence de concurrence pour l'accès à l'auge chez les animaux élevés en loges individuelles.

D'après Castonguay *et al* (1986), le regroupement des visites en repas à l'aide du critère de repas conduit à un biais lié au fait que le rythme des visites est susceptible de varier d'un jour à l'autre pour un même individu, qu'il n'est pas le même chez tous les individus et, enfin, qu'il peut refléter une adaptation

spécifique aux conditions expérimentales. Or, plus la fréquence des intervalles entre prises alimentaires est élevée, plus la valeur du critère de repas diminue (Castonguay *et al* 1986). Ainsi, le paramétrage de la détection de la stabilité de la trémie par les capteurs de poids peut entraîner l'enregistrement d'un plus ou moins grand nombre de visites ne reflétant pas nécessairement des différences de rythme propres à l'animal. Malgré ces réserves, le nombre et la taille des repas présentés dans la suite de l'article sont calculés suivant la méthode du critère de repas, la plupart des résultats étant obtenus avec le même type d'appareil (voir plus haut).

3.2 / Effet du stade physiologique

Le tableau 1 présente une estimation des caractéristiques de la prise alimentaire à différents stades physiologiques en conditions d'alimentation à volonté. La quantité d'aliment ingérée s'accroît avec l'augmentation du poids vif. En fait, pendant la croissance, la quantité ingérée par repas augmente proportionnellement beaucoup plus que la fréquence des repas ne diminue, d'où un accroissement global de la consommation d'aliment. Cette évolution peut être mise en relation avec l'augmentation de la capacité d'ingestion qui se poursuit jusqu'à ce que l'animal atteigne sa maturité. La taille des repas est ainsi plus élevée chez la truie multipare en lactation (Quiniou *et al* 2000b) que chez la truie primipare (Dourmad 1993), et comparable à celle du porc mature étudié par Auffray et Marcilloux (1980).

L'augmentation du poids vif se traduit également par un accroissement de la vitesse d'ingestion (figure 7). La plupart des données disponibles dans la bibliographie sur ce critère sont obtenues chez des porcs en croissance. Ces données permettent de calculer que la vitesse d'ingestion augmente proportionnellement au poids vif élevé à une puissance proche de 0,75 ($1,2 PV^{0,75}$). A partir de l'ensemble des données disponibles (y compris celles obtenues chez les truies allaitantes), l'augmentation de la vitesse d'ingestion par tranche de 10 kg de poids vif supplémentaire est environ de 5 g/min.

3.3 / Effet du type sexuel et du type génétique

Les niveaux d'ingestion sont comparables chez les femelles et chez les mâles entiers et il en va de même de leur séquence alimentaire (de Haer et de Vries 1993). En revanche, la prise alimentaire est plus importante chez les mâles castrés que chez les mâles entiers, avec des repas de taille plus importante, mais de fréquence inchangée (Labroue *et al* 1994, Quiniou *et al* 1999a). En ce qui concerne l'effet de la race, il semble que le même niveau d'ingestion puisse correspondre à différentes stratégies alimentaires. Ainsi, dans les mêmes conditions de mesure, la comparaison de la séquence alimentaire de porcs Meishan (type gras) et de porcs de Piétrain (type maigre) montre que les premiers font peu de repas mais de taille importante alors que les seconds fractionnent beaucoup plus leur prise alimentaire (tableau 2).

3.4 / Autres facteurs de variation des caractéristiques de la prise alimentaire

Les facteurs sociaux jouent un rôle important dans le comportement alimentaire en général, et sur sa composante liée à l'ingestion en particulier. Ainsi, la quantité d'aliment ingérée est supérieure lorsque l'animal parvient à établir des contacts visuels et auditifs avec ses congénères. Hsia et Wood-Gush (1983) ont qualifié ce phénomène de facilitation sociale, ce que l'on pourrait également interpréter comme un effet d'entraînement des individus entre eux. Cependant, le logement en groupe ne stimule la prise

alimentaire que dans une certaine limite liée à l'intensité des phénomènes de compétition qui peuvent apparaître lorsque le nombre d'individus par case s'accroît.

La concentration énergétique influence la quantité d'aliment spontanément consommée (Henry 1985) ainsi que la séquence alimentaire. En effet, la dilution du régime par des sources de fibres s'accompagne d'une diminution de la vitesse d'ingestion chez le porc en croissance (Levasseur *et al* 1998). Outre l'effet des fibres sur le transit digestif, d'une façon plus générale les données disponibles dans la bibliographie semblent indiquer qu'une réduction de la teneur en énergie nette de l'aliment s'accompagne d'une diminution de la vitesse d'ingestion (Quiniou *et al* 1999a). Cependant cet effet de la teneur en énergie de l'aliment peut varier selon la température. En effet, l'augmentation de la concentration énergétique de l'aliment se traduit par une atténuation des effets négatifs des températures élevées (Stahly et Cromwell 1979, Le Dividich et Noblet 1986, Noblet *et al* 1987), mais les effets sur les caractéristiques de la prise alimentaire ne sont pas encore connus. Il en est de même pour les effets de l'appétence de l'aliment ou de sa composition chimique (carence en acides aminés).

4 / Caractéristiques de la prise alimentaire lors de l'exposition à des températures élevées maintenues constantes pendant la journée

4.1 / Plus la température s'accroît plus la chute de consommation est importante

Les effets de la chaleur sur le porcelet sevré ont fait l'objet de peu de travaux (Rinaldo et Le Dividich 1991, Collin *et al* 2001a), probablement en raison de sa zone de confort thermique élevée pendant les deux premières semaines suivant le sevrage. Pourtant, au-delà de ces deux semaines, l'augmentation de la température ambiante provoque une diminution de la consommation alimentaire d'autant plus importante que la température est élevée (cf tableau 3) peuvent être mises en relation avec le fait que le poids vif est ou n'est pas pris en compte dans l'analyse ainsi qu'avec le nombre de paliers de températures étudiés et l'écart entre eux. De ce point de vue, la structure du jeu de données obtenu par Collin *et al* (2001a) (neuf températures entre 19 et 35°C) permet probablement de décrire plus précisément l'effet des températures élevées que dans l'étude de Rinaldo et Le Dividich (1991) (quatre températures entre 12 et 31,5°C).

L'effet de l'augmentation de la température ambiante sur la consommation a été plus étudié chez le porc en croissance. D'après la revue de Le Dividich *et al* (1998), la diminution de la quantité d'aliment ingéré varie entre 40 et 80 g par degré supplémentaire et par jour pendant la phase de croissance. Outre la variabilité au sein d'un même groupe de porcs, cet écart peut être attribué notamment à la gamme de température. En effet, si Close (1989) propose une relation linéaire entre la baisse de consommation et l'accroissement de la température, d'autres résultats indiquent qu'en fait elle s'accroît au fur et à mesure que la température s'accroît (cf tableau 3 et figure 6). De plus, des résultats récents (Quiniou *et al* 2000a) démontrent qu'en accord avec ce qui peut être observé sur le terrain, la baisse de la prise alimentaire au chaud est d'autant plus importante que les porcs sont lourds : entre 25 et 29°C, elle est évaluée à 40 g°C/j chez les porcs de 30 et 100 g°C/j chez les porcs de 90 kg, soit respectivement 7 et 9 % du besoin d'entretien. En d'autres termes, plus les

porcs sont lourds, plus ils sont sensibles à des conditions de chaleur excessive.

Chez la truie en lactation, Black *et al* (1993) proposent une relation linéaire entre la température et la consommation alimentaire quotidienne ; celle-ci diminuerait de 170 g par degré (cf [tableau 3](#)). Or, cette équation provient d'une compilation des résultats de la bibliographie issus pour la plupart d'expériences dans lesquelles seules deux valeurs de températures étaient étudiées. Plus récemment, la comparaison de résultats obtenus à cinq valeurs de températures échelonnées entre 18 et 29°C démontre que la diminution de la consommation alimentaire est d'autant plus importante que la température ambiante est élevée, chez la truie en lactation comme chez le porc en croissance (cf [figure 6](#)). Entre 20 et 24°C (soit 4°C au-dessus de la TCe), elle est de 170 g/°C/j, alors qu'entre 24 et 29°C, la baisse de consommation est de 460 g/°C/j. Tout se passe en fait comme si, au fur et à mesure de l'augmentation de la température, les mécanismes impliqués dans la thermorégulation étaient progressivement saturés : la réduction de plus en plus marquée de l'ingestion étant le dernier volant de manœuvre de l'animal.

4.2 / Le Porc a un comportement essentiellement diurne quelle que soit la température

A partir d'animaux élevés en confinement, donc isolés des bruits provenant du milieu extérieur, les données de Auffray et Marcilloux (1980), Bigelow et Houpt (1988) et Quiniou *et al* (2000a) obtenues sur des porcs en croissance et celles de Collin *et al* (2001b) obtenues chez des porcelets sevrés montrent que la consommation d'aliment est plus importante le jour que la nuit ([tableau 4](#)). En effet, que les animaux soient élevés individuellement ou en groupe, les deux tiers de la prise alimentaire ont lieu pendant la période diurne, qui représente la moitié du nyctémère. D'après Quiniou *et al* (2000b), le caractère diurne de la consommation alimentaire s'accroît chez la truie lorsque des températures très élevées sont appliquées constamment (88 % de la consommation totale à 29°C). Au contraire, la température ambiante n'influence pas la répartition nyctémérale de l'ingéré alimentaire chez le porcelet sevré ou chez le porc en croissance.

4.3 / L'effet de la température sur la séquence alimentaire dépend du stade physiologique

L'augmentation de la température ambiante provoque une baisse de la consommation d'aliment quel que soit le stade physiologique, mais cette diminution s'effectue de façon différente chez le porcelet sevré, le porc en croissance et la truie allaitante. En effet, chez le porcelet sevré et le porc en croissance, l'exposition à des températures supérieures à la zone de confort thermique (environ 25°C) entraîne une diminution de la consommation via une réduction de la taille des repas alors que leur fréquence reste inchangée (Nienaber *et al* 1993 et 1996, Quiniou *et al* 2000a, Collin *et al* 2001b). Au contraire, chez la truie, au-dessus de 25°C la diminution de l'ingestion alimentaire résulte à la fois d'une diminution de la fréquence des repas et d'une légère diminution de leur taille (cf [tableau 4](#)). Cette dernière est plus intense la nuit que le jour ce qui, combiné avec un nombre inférieur de repas nocturnes, contribue à accentuer le caractère diurne de la prise alimentaire (Quiniou *et al* 2000b).

Il est probable que cette différence entre les stades physiologiques s'explique, du moins en partie, par l'écart entre les températures étudiées et la zone de confort thermique. Ainsi, à 29°C, l'écart de température entre la TCe et 29°C est deux fois plus important pour la truie (TCe=20°C) que pour le porcelet

sevré ou le porc en croissance ($T_{Ce}=25^{\circ}\text{C}$) ; le stress thermique ressenti par la truie est alors beaucoup plus intense que pour le porc en croissance. A partir des équations présentées dans le tableau 3, on peut estimer que la baisse de consommation moyenne par degré entre la T_{Ce} et 29°C , exprimée relativement à l'entretien (cf figure 6), est deux fois plus importante chez la truie allaitante (15 % pour un poids vif de 270 kg) que chez le porc en croissance (7 % pour un poids vif de 60 kg). Ces éléments suggèrent une apparition graduelle des effets de la température ambiante : une sensation modérée de chaud entraînerait tout d'abord une réduction de la taille des repas qui serait suivie d'un abaissement de la fréquence des prises alimentaires en cas d'accentuation de la sensation de chaleur.

La vitesse d'ingestion ne varie pas avec la température ambiante. Aussi, au chaud, le porcelet sevré, le porc en croissance et la truie allaitante consacrent quotidiennement moins de temps à l'ingestion d'aliment, compte tenu de la diminution de la prise alimentaire. La quantification de la durée de la position debout chez la truie montre que son activité locomotrice diminue d'autant, mais la durée de la station debout pendant laquelle la truie ne consomme ni eau ni aliment reste la même quelle que soit la température (Quiniou *et al* 2000b). De même, chez le porcelet sevré, Collin *et al* (2001b) mettent en évidence que la réduction de l'activité locomotrice au chaud correspond à la réduction de la durée d'ingestion. Néanmoins, si l'activité locomotrice diminue au chaud, le niveau global d'activité physique augmente du fait de l'accroissement du rythme respiratoire (Quiniou *et al* 2000c).

5 / Caractéristiques de la prise alimentaire lors de l'exposition à des températures élevées et fluctuantes au cours de la journée

Dans la plupart des études ayant permis de quantifier les effets des températures élevées, les résultats sont obtenus en exposant les animaux en permanence à la même température tout au long de la journée. L'élevage des animaux en bâtiments fermés permet théoriquement de s'affranchir des caractéristiques du milieu extérieur et de ses variations. Pourtant, les capacités de 'tampon' des bâtiments ne permettent pas toujours d'éviter des variations de la température ambiante intérieure selon la saison et/ou la période de la journée. Par ailleurs, dans les régions chaudes, les bâtiments sont généralement ouverts et les animaux sont dans ce cas directement exposés aux variations nycthémérales de la température.

Pour caractériser les effets de la variation ou non de la température, les modèles de cinétique étudiés actuellement sont assez simples. Ils consistent pour la plupart à comparer les résultats obtenus lorsque la température varie de façon cyclique autour d'une valeur moyenne avec ceux obtenus lorsque la température est maintenue constante à cette même valeur moyenne. Les travaux récents menés sur le porc en croissance (Quiniou *et al* 2000d) et chez la truie allaitante (Quiniou *et al* 1999b) ont montré que tant que l'amplitude de variation de la température au cours de la journée n'est pas trop grande et qu'elle reste autour d'une valeur moyenne proche de la zone de confort thermique, la consommation alimentaire reste identique à celle observée lorsque la température est maintenue constante à une valeur correspondant à la moyenne de la cinétique étudiée. Ce résultat est à mettre en relation avec le fait que les animaux en croissance ou en lactation compensent leur moindre consommation en période chaude par une consommation accrue en période fraîche, y compris la nuit (figure 8). Cette adaptation permet de maintenir le même niveau de performance. En effet, la production de lait et la mobilisation

des réserves sont identiques quand les truies en lactation sont exposées en permanence à 25°C ou soumises à une température fluctuant de 21 à 29°C au cours de la journée (Quiniou *et al* 1999b). De la même façon, Quiniou *et al* (2000d) ne mettent pas en évidence d'effet d'une fluctuation de la température entre 21 et 27°C (moyenne de 24°C) sur les performances du porc en croissance. Mais si la température moyenne s'accroît et/ou si l'amplitude de variation augmente, la capacité d'ingestion de l'animal ne permet pas de maintenir la consommation d'aliment à un niveau comparable à celui observé dans des conditions de confort thermique (Xin et DeShazer 1991, Quiniou *et al* 1999b et 2000d) : la consommation pendant les périodes fraîches plafonne et la baisse importante de consommation pendant les périodes chaudes n'est plus compensée (figure 9).

6 / Peut-on moduler les effets des températures élevées ?

Les modifications de consommation alimentaire lors de l'exposition au chaud peuvent être mises en relation avec la thermogénèse. En effet, la diminution de la quantité d'aliment ingérée s'accompagne, à l'échelle de la journée, d'une moindre production de chaleur liée à l'effet thermique de l'aliment (TEF, pour Thermic Effect of Feed). L'une des solutions permettant d'atténuer les effets négatifs de la température sur l'ingéré serait donc d'utiliser des aliments présentant des faibles TEF. Parmi les voies de formulation possibles, l'augmentation de la teneur en matières grasses et/ou la réduction de la teneur en protéines et en fibres peuvent être envisagées (Noblet *et al* 1994). Ainsi, chez le porcelet sevré et le porc en croissance (Stahly et Cromwell 1979, Le Dividich et Noblet 1986, Noblet *et al* 1987), l'utilisation d'aliments concentrés en énergie s'accompagne d'une ingestion accrue d'énergie qui compense partiellement la baisse d'ingestion alimentaire et permet d'atténuer un peu la dégradation des performances au chaud. Cependant, l'intérêt zootechnique de tels aliments ne doit pas faire oublier les difficultés de conservation associées à l'incorporation d'un taux élevé de matières grasses.

Pour la truie allaitante, la réduction de la teneur en protéines, avec maintien des apports d'acides aminés essentiels, ne permet pas de réduire l'intensité de la mobilisation des réserves corporelles entre la mise bas et le sevrage (Quiniou et Noblet 1999). Au contraire, l'augmentation des teneurs de l'aliment en énergie nette (Schoenherr *et al* 1989) et en acides aminés essentiels (Quiniou *et al* 2000e) permet l'amélioration des performances de portée, mais toujours sans réduction des effets négatifs du chaud sur l'état de la truie au sevrage.

Outre la voie alimentaire, d'autres techniques sont parfois proposées. Ainsi, des systèmes permettant d'augmenter les pertes de chaleur par convection (courant d'air de 0,9 m/s dirigé vers le groin) ou par évaporation (aspersion d'eau au goutte à goutte sur le cou et les épaules) ont été testés chez les truies allaitantes : la prise alimentaire d'animaux exposés à 30°C est alors améliorée de, respectivement, 55 et 90 % (Mc Glone *et al* 1988). A l'échelle du bâtiment, l'humidification de l'air neuf (cooling) ou ambient (brumisation) permet de baisser la température, mais son efficacité dépend en grande partie de la teneur en vapeur d'eau initiale. Par ailleurs, l'avantage global de cette technique dépend du bilan entre l'effet positif sur les performances lié à la baisse de température et l'effet négatif lié à l'augmentation de l'hygrométrie.

Conclusion

L'exposition du porc à des températures élevées induit de nombreuses adaptations tant physiologiques que comportementales. En particulier, les résultats actuellement disponibles indiquent qu'il n'existe pas une température 'plafond' au-delà de laquelle tous les mécanismes impliqués dans la thermorégulation de l'animal se mettent en place simultanément. Au contraire, il semble plutôt que leur enchaînement soit progressif, tant en ce qui concerne les adaptations permettant une réduction de la thermogenèse que celles impliquées dans la thermolyse. Néanmoins, chez le porcelet sevré, le porc en croissance ou la truie allaitante, il semble qu'au-delà de 25°C la dégradation des performances s'accroisse de façon très importante. Les capacités d'adaptation de la séquence alimentaire des animaux permettent d'envisager des solutions techniques de conduite de l'alimentation pour limiter les effets du chaud, soit en adaptant la distribution des repas aux moments les plus judicieux de la journée (périodes fraîches), soit en formulant des régimes à faible extra-chaueur.

Références

Auffray P., Marceilloux J.C., 1980. Analyse de la séquence alimentaire du porc, du sevrage à l'état adulte. *Reprod. Nutr. Develop.*, 20(5B), 1625-1632.

Berthon D., Herpin P., Le Dividich J., 1994. Shivering thermogenesis in the neonatal pig. *J. Therm. Biol.*, 6, 413-418.

Bigelow J.A., Houghton T.R., 1988. Feeding and drinking patterns in young pigs. *Physiol. Behav.*, 43, 99-109.

Black J.L., Campbell R.G., Williams I.H., James K.J., Davies G.T., 1986. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. *Research and development in Agriculture*, 3, 121-145.

Black J.L., Mullan B.P., Lorsch M.L., Giles L.R., 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livest. Prod. Sci.*, 35, 153-170.

Castonguay T.W., Kaiser L.L., Stern J.S., 1986. Meal patterns analysis, artifacts, assumptions and implications. *Brain Res. Bull.*, 17, 439-443.

Close W.H., 1989. The influence of the thermal environment on the voluntary food intake of pigs. In : Forbes J.M., Varley M.A. and Lawrence T.L.J. (eds), *Occasional Publication n°13 - British Society of Animal Production*, 87-96.

Collin A., van Milgen J., Le Dividich J., 2001a. Modelling the effect of high, constant temperature on feed intake in young growing pigs. *Anim. Sci.*, accepté pour publication.

Collin A., van Milgen J., Dubois S., Noblet J., 2001b. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed piglets. *Br. J. Nutr.*, accepté pour publication.

Dourmad J.-Y., 1993. Standing and feeding behaviour of the lactating sow: effect of feeding level during pregnancy. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 37, 311-319.

Ellis M., Hyun Y., 1996. Feed intake behavior and implication for energy

utilization. In Pork Industry Conference on Swine Energetic, December 4-5, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences (editor), University of Illinois, United States, 74-88.

Feddes J.J.R., Young B.A., DeShazer J.A., 1989. Influence of temperature and light on feeding behaviour of pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 23, 215-222.

Giles L.R., Black J.L., 1991. Voluntary food intake in growing pigs at ambient temperatures above thermal neutral. In : Batterham E.S (editor), *Manipulating Pig Production III*, 162-165. Australasian Pig Science Association, Institute of Animal Science, Attwood, Australia.

Haer L.C.M. de, Merks J.W.M., 1992. Patterns of daily food intake in growing pigs. *Anim. Prod.*, 54, 95-104.

Haer L.C.M. de, de Vries A.G., 1993. Effects of genotype and sex on the feed intake pattern of group housed growing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 36, 223-232.

Henry Y., 1985. Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 12, 339-354.

Holmes C.W., Close W.H., 1977. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. In : Haresign W., Swan H. and Lewis D. (eds), *Nutrition and climatic environment*, 51-74. Butterworths, London, UK.

Hsia L.C., Wood-Gush D.G.M., 1983. The temporal patterns of food intake and allometric food intake and allometric feeding by pigs of different ages. *Appl. Anim. Ethol.*, 11, 271-282.

Hyun Y., Ellis M., McKeith F.K., Wilson E.R., 1997. Feed intake pattern of group-housed growing-finishing pigs monitored using a computerised feed intake recording system. *J. Anim. Sci.*, 75, 1443-1451.

Labroue F., 1995. Facteurs de variation de la prise alimentaire chez le porc en croissance : le point des connaissances. *Techni-Porc*, 18, 11-39.

Labroue F., Guéblez R., Meunier-Salaün M.-C., Sellier P., 1994. Effet des facteurs liés au groupe sur le comportement alimentaire des porcs en croissance. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 26, 299-304.

Labroue F., Guéblez R., Meunier-Salaün M.-C., Sellier P., 1995. Influence de la race sur le comportement alimentaire de porcs en croissance élevés en groupe : premiers résultats d'une comparaison Large White - Piétrain. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 27, 175-82.

Le Dividich J., Noblet J., 1986. Effect of dietary energy level on the performance of individually housed early-weaned piglets in relation to environmental temperature. *Livest. Prod. Sci.*, 14, 255-263.

Le Dividich J., Rinaldo D., 1989. Effet de l'environnement thermique sur les performances du porc en croissance. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 21, 219-230.

Le Dividich J., Vermorel M., Noblet J., Bouvier J.-C., Aumaître A., 1980. Effects of environmental temperature on heat production, energy retention, protein and fat gain in early weaned piglets. *Br. J. Nutr.*, 44, 313-323.

PRODUCTIONS ANIMALES

Revue éditée par l'INRA

Voir ici en bas de page le mémoire présenté ici.

2002, INRA Prod. Anim., 15, 247-265.

Le cuivre dans l'alimentation du porc : oligo-élément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'Homme et l'environnement

C. JONDREVILLE¹, P.S. REVY¹, A. JAFFREZIC², J.Y. DOURMAD¹

¹ INRA Unité Mixte de Recherches INRA-ENSAR sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles

² INRA Unité Mixte Recherches INRA-ENSAR Sol, Agronomie, Spatialisation - 65, rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes cedex

Catherine.Jondreville@rennes.inra.fr

La quantité de cuivre apportée au porc par son alimentation est souvent excessive par rapport à ses besoins. Cette pratique génère des lisiers riches en cuivre dont l'épandage pourrait entraîner des phénomènes de phytotoxicité dans certaines régions d'élevage. Réduire les apports alimentaires de cuivre constitue une voie de choix pour en limiter les rejets. Cette approche nécessite cependant une connaissance approfondie des fonctions physiologiques du cuivre ainsi que des facteurs de variation de sa biodisponibilité.

[Résumé](#) | [Abstract](#) | [Fichier PDF \(563 Ko\)](#)+ erratum : dans la figure 4, le coefficient de x^2 est 0,0105 et non 0,105

Introduction

1 / Fonctions physiologiques, métabolisme et homéostasie du cuivre

1.1 / État, propriétés et fonctions physiologiques du cuivre

1.2 / Métabolisme et homéostasie

1.3 / Carence et toxicité

2 / Le cuivre : facteur de croissance

2.1 / Modes d'action possibles du cuivre comme facteur de croissance

2.2 / Conséquences de l'utilisation du cuivre comme facteur de croissance

3 / Biodisponibilité du cuivre : interactions avec les constituants de la ration

3.1 / Interactions avec les autres minéraux

3.2 / Interactions avec les composants organiques de la ration

4 / Sources d'apport de cuivre dans l'alimentation du porc

4.1 / Sources minérales

4.2 / Sources organiques

5 / Cuivre et environnement

5.1 / Conséquences environnementales de l'épandage de lisier de porc riche en Cu

5.2 / Impact de la réduction du Cu alimentaire sur les rejets de Cu

Conclusion

Résumé

Le Cu est un oligo-élément essentiel qui participe à de nombreuses fonctions physiologiques dont le métabolisme du Fe, la fonction immunitaire et la protection contre les stress oxydants. Le foie joue un rôle central dans le métabolisme et l'homéostasie du Cu : selon les apports et le statut de l'animal, le Cu est stocké, excrété via la bile ou distribué vers les organes. Les besoins nutritionnels en Cu du porc en croissance sont inférieurs à 10 mg/kg d'aliment et peuvent théoriquement être couverts par les seules matières premières, sans supplémentation. Cependant, utilisé pour ses propriétés de facteur de croissance,

Le Cu est introduit à 150 à 250 ppm dans l'aliment du porcelet en post-sevrage et permet d'en améliorer la vitesse de croissance. Cette pratique est sans incidence sur la qualité des produits consommés par l'Homme, si elle est limitée à la seule période de post-sevrage. Elle a cependant pour conséquence d'augmenter les quantités de Cu appliquées lors de l'épandage des lisiers de porc et conduit à une accumulation de cet élément dans les sols.

L'une des solutions pour réduire les rejets de Cu est d'en limiter les apports alimentaires au niveau du besoin. Cette approche nécessite de bien connaître et de hiérarchiser les composants alimentaires susceptibles d'influer significativement sur la disponibilité du Cu. Certains agents complexants, comme les phytates, les fibres ou les matières grasses ainsi que certains éléments minéraux, comme le Zn et le Ca sont en effet des facteurs de variation possibles de la disponibilité du Cu. Leur impact sur les besoins reste cependant à évaluer, de même que les critères d'évaluation du statut en Cu restent à préciser.

Introduction

Le cuivre (Cu) est un composant corporel mineur du porc qui en contient moins de 200 mg à 100 kg de poids vif (Kirchgessner *et al* 1994, Mahan et Newton 1995, Mahan et Shields 1998), répartis dans le squelette (40 à 46%), dans le muscle (23 à 26%), dans le foie (8 à 10%), dans le cerveau (9%), dans le sang (6%) et dans les autres organes internes (3%) (Linder 1991, cité par Cromwell 1997, Buckley 2000). Le Cu est cependant un oligo-élément essentiel qui participe à de nombreuses fonctions physiologiques dont l'intégrité ne peut être maintenue qu'en assurant un apport alimentaire suffisant de Cu. Les matières premières couramment utilisées dans l'alimentation du porc permettent théoriquement de couvrir ses besoins (Underwood et Suttle 1999) qui n'excèdent pas 5-6 mg/kg d'aliment selon le NRC (1998). Pourtant, dans la pratique, les aliments pour les porcs sont supplémentés en Cu. Dans certains cas, cette supplémentation correspond à une marge de sécurité destinée à pallier notre connaissance imparfaite d'une part des besoins de l'animal et d'autre part des facteurs alimentaires susceptibles de faire varier la biodisponibilité du Cu apporté dans la ration. Dans d'autres cas, notamment dans l'alimentation du porcelet en post-sevrage, le Cu est utilisé comme facteur de croissance et est incorporé à des niveaux 30 fois supérieurs aux besoins. De telles pratiques conduisent à la production de lisiers riches en Cu dont l'épandage pose des problèmes d'ordre environnemental. En effet, peu lessivable, le Cu s'accumule dans les sols et des phénomènes de phytotoxicité pourraient apparaître à moyen terme dans certaines régions d'élevage intensif (Coppenet *et al* 1993). Une réduction des apports de Cu dans l'alimentation du porc serait un moyen de diminuer ces risques environnementaux. Une telle réduction de l'apport doit cependant s'accompagner de précautions de façon à éviter toute détérioration des performances et/ou de la santé des animaux. Avant de s'engager dans cette voie, une connaissance aussi précise que possible des composantes du besoin en Cu du porc et des facteurs de variation de sa biodisponibilité est indispensable.

L'objectif de cet article est tout d'abord de faire le point sur les fonctions physiologiques et le métabolisme du Cu et de décrire les manifestations de carence ainsi que de toxicité liées à l'apport alimentaire de cet oligo-élément. Nous aborderons ensuite les conditions d'utilisation du Cu comme facteur de croissance dans l'alimentation du porc, son mode d'action comme stimulateur de la croissance et les conséquences de cette pratique sur la qualité des produits. A partir de l'analyse des principaux facteurs de variation alimentaires de la biodisponibilité du Cu, fondée sur l'étude des interactions entre le Cu et d'autres éléments, minéraux ou organiques, de la ration, nous examinerons les conditions alimentaires susceptibles de conduire à des risques de carence en cas d'apport faible en Cu. De même, les possibilités d'amélioration de la disponibilité du Cu par l'usage de sources organiques seront discutées. Enfin, nous évaluerons les conséquences environnementales de différentes conditions d'apport de Cu dans l'alimentation du porc.

1 / Fonctions physiologiques, métabolisme et homéostasie du cuivre

Le Cu est un oligo-élément essentiel qui entre dans la composition ou est un co-facteur de nombreuses enzymes (Underwood et Suttle 1999). La connaissance de son métabolisme et des fonctions physiologiques dans lesquelles il est impliqué est un préalable indispensable à l'établissement des besoins en cet oligo-élément.

1.1 / État, propriétés et fonctions physiologiques du cuivre

In vitro, le Fe et le Cu à l'état ionique sont capables de catalyser la formation de dérivés réduits de l'oxygène, ion superoxyde (O_2^-), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et radicaux hydroxyle ($\cdot OH$). Ces dérivés de l'oxygène sont très toxiques pour la cellule, puisqu'ils peuvent provoquer l'induction et la propagation de la peroxydation des lipides, en particulier celle des acides gras polyinsaturés des membranes cellulaires (Strain 1994, Evans et Halliwell 2001). *In vivo*, la forme ionique du Cu est très largement minoritaire et le Cu est majoritairement lié à des cuproprotéines. Sous cette forme, le Cu exprime ses fonctions, dont celle de défense de l'organisme contre les stress oxydants (figure 1 ; Cousins 1985, Prohaska 1990, Underwood et Suttle 1999).

La superoxyde dismutase (SOD), cytoplasmique ou extra cellulaire, est une enzyme contenant à la fois du Cu et du Zn. Elle contribue à la protection des cellules contre l'ion superoxyde en catalysant sa dismutation en peroxyde d'hydrogène (Prohaska 1990, Underwood et Suttle 1999). De plus, la synthèse de la glutathion peroxydase à sélénium (Se) et celle de la ferrozenzyme catalase, autres enzymes du système antioxydant qui détournent le peroxyde d'hydrogène en eau, seraient régulées par le Cu (Strain 1994). La céruloplasmine, globuline contenant 8 atomes de Cu, représente plus de 90% du Cu circulant dans le plasma (Cousins 1985). Synthétisée dans le foie, elle assure le transport du Cu vers les organes via le plasma sanguin et serait impliquée dans le transport du Cu de la mère au fœtus (Richards 1999). La céruloplasmine joue un rôle dans l'érythropoïèse en assurant la catalyse de l'oxydation de Fe^{2+} , tel qu'il est présent dans les hépatocytes, en Fe^{3+} , préalable indispensable à son intégration dans la transferrine (Cousins 1985). Elle favoriserait également l'incorporation de Fe dans une protéine de réserve, la ferritine (Underwood et Suttle 1999). Selon certains auteurs, en limitant la production de composés oxygénés réactifs lors de l'oxydation du Fe ferreux en Fe ferrique, donc en inhibant la peroxydation des lipides induite par les ions métalliques, la céruloplasmine participerait à la protection contre les stress oxydants. Elle serait également un modulateur des inflammations (Cousins 1985, Strain 1994). En cas d'infection, le Cu agirait également directement sur le maintien des fonctions immunitaires tant naturelles qu'acquises (Percival 1998). Même si la plupart des études portent sur le rat et sont difficilement transposables au porc, il semble qu'une carence en Cu induise une diminution du nombre de lymphocytes T. Concernant l'immunité naturelle, la carence en Cu se manifeste non seulement par une diminution du nombre de neutrophiles, mais également par la diminution de leur capacité à produire l'ion superoxyde nécessaire à l'élimination des microorganismes lors du processus de phagocytose. Cependant, il n'a jamais été établi si les besoins en Cu nécessaires à l'optimisation de la fonction immunitaire sont supérieurs à ceux qui permettent celle de la croissance.

Le Cu est impliqué dans de nombreuses autres fonctions puisqu'il est un constituant, entre autres, de la cytochrome c oxydase, enzyme terminale de la chaîne respiratoire dans toutes les cellules de mammifères, de la lysyl oxydase, qui permet la réticulation entre les chaînes peptidiques qui forment les molécules d'élastine et de collagène et leur confère leurs qualités d'insolubilité et d'élasticité, de la dopamine-b-mono-oxygénase, nécessaire à la production de catécholamines (O'Dell 1981, Prohaska 1990, Cromwell 1997, Underwood et Suttle 1999).

1.2 / Métabolisme et homéostasie

La solubilisation du Cu, comme celle des autres oligo-éléments (Mn, Fe, Zn) est favorisée par l'acidité gastrique. Dans l'intestin grêle, la présence de ligands solubles, d'origine alimentaire ou endogène, permet d'éviter la formation de précipités indisponibles d'hydroxydes due à l'augmentation du pH (Powell *et al* 1999). En particulier, les mucines, glycoprotéines sécrétées tout au long du tube digestif, jouent un rôle prédominant dans l'absorption des oligo-éléments qui s'y lient et sont ainsi convoyés jusqu'à la muqueuse où ils sont libérés puis absorbés par les entérocytes. Le Cu est absorbé par voie active et saturable, au moyen de transporteurs membranaires (Underwood et Suttle 1999) et le site principal d'absorption est l'intestin grêle (Bowland *et al* 1961). Dans le cytosol des entérocytes, le Cu se lie à des métallothionéines. Ces protéines ubiquistes peuvent lier jusqu'à 7 atomes de Zn et 12 atomes de Cu (Bremner 1987). De plus, leur synthèse et leur turn-over seraient sous l'influence de ces deux oligo-éléments, principalement celle du Zn (Powell *et al* 1999). Dans l'intestin, les métallothionéines joueraient un rôle non seulement dans le transport mais également dans la séquestration du Cu en cas de surcharge alimentaire (figure 2 ; Bremner 1987, Powell *et al* 1999). Une fois absorbé, le Cu est transporté vers le foie, majoritairement par les albumines, mais également par la transcupréine et les acides aminés libres, notamment l'histidine. Dans le foie, le Cu est, selon le statut de l'animal, lié aux métallothionéines pour être stocké, incorporé à la céruloplasmine puis transporté vers d'autres organes, ou sécrété dans l'intestin grêle via la bile (Bremner 1987, Buckley 2000).

En cas d'augmentation des apports alimentaires de Cu, la diminution de l'absorption constitue l'une des voies de maintien de l'homéostasie. Cependant, l'excrétion endogène et l'accumulation hépatique de Cu en sont les deux voies majoritaires. Chez le porc, comme chez les autres monogastriques, l'homéostasie du Cu est en grande partie maintenue par une augmentation des pertes endogènes de Cu qui évite une accumulation excessive dans le foie (Underwood et Suttle 1999, Buckley 2000). L'excrétion biliaire en représente la majorité, les pertes via les urines, la peau ou les phanères (Buckley 2000) ou via les desquamations cellulaires dans l'intestin (Powell *et al* 1999) étant minoritaires. Dans la bile, le Cu est lié à un nombre important de composés comme des protéines, des sels biliaires, des peptides et des acides aminés. La faible réabsorption de cette fraction (Buckley 2000) contribue à l'efficacité du maintien de l'homéostasie via la sécrétion biliaire.

1.3 / Carence et toxicité

a / Carence

Les cas de carence en Cu chez le porc sont très rarement décrits. Néanmoins, chez le porcelet nourri à base de lait de vache, carencé en Cu, Lee *et al* (1968) ont observé le développement d'une anémie de type ferriprive. De même, un aliment contenant environ 100 ppm de Fe, 130 ppm de Zn et 2 ppm de Cu aboutit à des signes d'anémie et des retards de croissance au bout de 5 semaines chez le porcelet sevré (Gipp *et al* 1973b). Hypochrome et microcytaire, cette anémie est liée à une diminution du nombre de globules rouges, de leur volume et de leur teneur en hémoglobine et se manifeste par une diminution des teneurs en hémoglobine et en Fe du sang ainsi que de l'hématocrite. Elle serait due à une moindre absorption intestinale de Fe, à une moindre activité de la céruloplasmine ou encore à une modification du métabolisme intracellulaire du Fe dans le foie (Underwood et Suttle 1999). Bien que plus rarement évaluée chez le porc, la détérioration de l'activité de la superoxyde dismutase à Cu et Zn dans les érythrocytes ou dans les cellules hépatiques apparaît avant les signes d'anémie (Delves 1985).

Okonkwo *et al* (1979) indiquent que, distribué pendant 8 semaines consécutives, un aliment semi-synthétique contenant 5,6 ppm de Cu, dans lequel sont ajoutés 87 ppm de Zn et 125 ppm de Fe, permet de maintenir la vitesse de croissance, le bilan en Cu, ainsi que l'activité de la céruloplasmine plasmatique et de la superoxyde dismutase à Cu et Zn érythrocytaire de porcelets sevrés à une semaine. Selon le NRC (1998), dont les recommandations reposent en grande partie sur cette étude, des aliments contenant 6 ppm et 3,5 ppm de Cu sous forme de sulfate suffisent à couvrir les besoins respectivement du porcelet en post-sevrage et du porc en engraissement de plus de 50 kg. Avec la plupart des matières

premières utilisées dans l'alimentation du porc, cet apport peut théoriquement être satisfait sans supplémentation. Toutefois, chez des porcelets sevrés ayant reçu pendant 9 semaines des aliments à base de maïs et de tourteau de soja contenant 100 ppm de Fe, Hedges et Kornegay (1973) ont observé de moindres teneurs hépatique et rénale en Fe lorsque l'aliment contenait 7 ppm de Cu comparé à 25. De plus, chez le porc abattu à 100 kg, le taux d'oxydation des lipides dans un muscle oxydatif (*Psoas major*) serait réduit par l'addition de 35 ppm de Cu dans un aliment de base en contenant 14 (Lauridsen *et al* 1999b). Ainsi, dans l'hypothèse d'une réduction réglementaire des concentrations de Cu dans l'alimentation du porc, l'absence d'anémie et le maintien du statut anti-oxydant de l'animal mériteraient d'être vérifiés, en relation avec le niveau d'apport des autres oligo-éléments et/ou la nature des matières premières utilisées.

b / Toxicité

Lorsque la capacité d'excrétion du Cu via la bile est dépassée, le Cu alimentaire en excès est stocké dans le foie (Underwood et Suttle 1999). Aucun signe clinique n'est alors détecté. Lorsque les capacités de stockage du foie sont dépassées, le Cu est relargué dans la circulation, conduisant à une phase dite hémolytique qui apparaît soudainement et se manifeste par des retards de croissance, une hémoglobinurie et se termine par une jaunisse précédant la mort (Suttle et Underwood 1999). Chez les ruminants, en particulier les ovins, le maintien de l'homéostasie via la sécrétion biliaire de Cu est beaucoup moins efficace que chez les monogastriques et la teneur en Cu du foie augmente très rapidement avec l'apport alimentaire de Cu (Underwood et Suttle 1999, Buckley 2000). Ainsi, chez les ovins, des apports alimentaires relativement faibles, de l'ordre de 15 mg/kg d'aliment, conduisent à la mort précédée de la phase hémolytique qui apparaît lorsque la teneur en Cu du foie excède 350 à 1000 ppm MS (Bremner 1998, Underwood et Suttle 1999). Mais les cas d'empoisonnement fatals sont extrêmement rares chez le porc. Ainsi, équilibré à 100 ppm de Zn, un aliment contenant 500 ppm de Cu distribué pendant 5 à 6 semaines à des porcelets sevrés (Roof et Mahan 1982, Cromwell *et al* 1989) ou pendant toute la période d'engraissement (Kline *et al* 1972) ne conduit à aucun phénomène de morbidité ou de mortalité, en dépit d'une vitesse de croissance légèrement détériorée et des teneurs hépatiques en Cu pouvant atteindre 1000 à 1500 ppm par rapport à la MS.

La tolérance du porc à des apports excessifs de Cu est liée à sa forme de stockage hépatique. Majoritairement lié aux métallothionéines, le Cu ne catalyse pas la formation de radicaux libres, responsables de l'endommagement des membranes cellulaires. Cependant, une carence en Zn, en limitant la synthèse de métallothionéines, et donc leur liaison au Cu, conduirait à l'expression de phénomènes de cytotoxicité (Bremner 1998). La tolérance du porc à des apports importants de Cu est donc intimement liée à l'apport de Zn. Ainsi, nécrose du foie, ulcères gastriques et lésions rénales sont décrits par DeGoey *et al* (1971) chez des porcs en engraissement recevant un aliment contenant 500 ppm de Cu non supplémenté en Zn. Ces signes disparaissent avec l'apport de 100 ppm de Zn dans l'aliment, sans modification de la teneur en Cu du foie. De même, la distribution d'un aliment contenant 750 ppm de Cu non supplémenté en Zn conduit à des phénomènes de toxicité qui disparaissent avec l'apport de 500 ppm de Zn, en dépit d'une teneur en Cu du foie atteignant 3000 ppm MS (Suttle et Mills 1966a).

Toutefois, de tels niveaux d'apport excèdent largement ceux qui sont appliqués lorsque le Cu est utilisé comme facteur de croissance. Dans le cas d'un aliment contenant 250 ppm de Cu, la simple couverture des besoins en Zn, soit moins de 100 ppm, permet de prévenir tout phénomène de toxicité (DeGoey *et al* 1971, Suttle et Mills 1966b).

2 / Le cuivre : facteur de croissance

En raison de ses propriétés stimulantes sur la croissance, l'introduction de 150 à 250 ppm de Cu dans l'alimentation du porc est pratiquée depuis les années 1950 (Braude 1980). L'effet stimulant de l'addition

de Cu est surtout constaté chez le porcelet en post-sevrage, il s'amenuise pour les animaux en croissance (Ward *et al* 1991) et est pratiquement inexistant en période de finition (Bradley *et al* 1983).

De façon générale, l'introduction de Cu dans l'aliment stimule l'appétit des animaux. L'amplitude d'amélioration de l'indice de consommation est généralement inférieure à celle de la vitesse de croissance (figure 3). De plus, l'addition de 150 ppm de Cu sous forme de sulfate est aussi efficace chez le porcelet en post-sevrage que l'addition de 250 ppm. Enfin, si l'amélioration de la vitesse de croissance du porcelet en post-sevrage est supérieure à 30% dans certaines études, elle est parfois non significative. Ni le mode d'action du Cu comme facteur de croissance, ni l'origine de ces différences ne sont clairement identifiés.

2.1 / Modes d'action possibles du cuivre comme facteur de croissance

Zhou *et al* (1994a) ont mis en évidence la contribution importante de la stimulation de l'appétit dans l'effet facteur de croissance du Cu. Selon ces auteurs, le Cu favoriserait la sécrétion du neuropeptide Y, stimulant de l'appétit. Toutefois, ce mécanisme ne constitue pas la seule composante de l'effet facteur de croissance du Cu qui s'exprime également chez des animaux rationnés (Castell et Bowland 1968, Zhou *et al* 1994a, Mathé *et al* 2001). L'implication d'autres phénomènes tels que l'amélioration du statut immunitaire des animaux, le rôle antimicrobien du Cu, l'amélioration de l'utilisation digestive de certains composants de la ration ou encore une action systémique du Cu sur la croissance a été étudiée.

Selon Kornegay *et al* (1989), l'addition de 200 ppm de Cu dans l'alimentation de porcelets sevrés n'a pas d'incidence sur leur statut immunitaire. Cependant, cette piste n'a été que peu explorée. Les propriétés fongicides et bactéricides du Cu sont fréquemment citées comme étant à l'origine de son effet facteur de croissance chez le porc (Poulsen 1998). L'addition de Cu à des cultures cellulaires de bactéries responsables de dysenterie chez le porc inhibe leur activité hémolytique (Dupont *et al* 1994), l'introduction de Cu dans la ration de porcelets sevrés modifie le profil de la flore fécale (Bunch *et al* 1961), enfin, l'effet du Cu comme facteur de croissance est plus prononcé chez des porcelets conventionnels que chez des porcelets axéniques (Shurson *et al* 1990). A cet égard, Stansbury *et al* (1990) suggèrent que l'effet facteur de croissance du Cu s'exprimerait d'autant mieux que le milieu d'élevage serait de qualité sanitaire médiocre. Cet effet sur la flore intestinale permettrait de diminuer la concentration des métabolites bactériens toxiques, notamment l'ammoniac, dans l'intestin (Varel *et al* 1987, Menten *et al* 1988), le taux de renouvellement des cellules épithéliales (Radecki *et al* 1992), l'absorption portale d'ammoniac (Menten *et al* 1988, Yen et Pond 1993) et conduirait à une diminution de la masse relative du foie et des reins (Pond *et al* 1988). La moindre demande énergétique des viscères permettrait alors une épargne favorisant la croissance de l'animal. Dans ce cas, le mode d'action du Cu s'apparenterait à celui des antibiotiques utilisés à doses subthérapeutiques (Yen et Nienaber 1993, Yen et Pond 1993). Toutefois, la masse relative de l'intestin grêle n'est pas réduite chez des porcelets recevant 283 ppm de Cu pendant 3 semaines (Shurson *et al* 1990) ou 250 ppm de Cu pendant 8 semaines (Yen et Pond 1993). De plus, la demande énergétique des organes drainés par la veine porte (tube digestif, foie, rate) relativement à celle du corps entier n'est pas modifiée par l'introduction de 250 ppm de Cu dans l'aliment de porcs en croissance (Yen et Nienaber 1993).

L'effet facteur de croissance du Cu pourrait également avoir pour origine l'amélioration de la digestibilité ou de l'utilisation métabolique de certains composants de la ration. *In vitro*, Kirchgessner *et al* (1976) ont en effet constaté un effet stimulant du Cu sur l'activité de la pepsine. Toutefois, *in vivo*, le Cu alimentaire est sans incidence sur l'activité de la trypsine et de la chymotrypsine pancréatiques et intestinales du porcelet sevré (Luo et Dove 1992) ainsi que sur la digestibilité fécale apparente de l'azote chez le porcelet sevré (Luo et Dove 1992, Roof et Mahan 1982) ou chez le porc en croissance (Castell et Bowland 1968, Omole et Bowland 1974a et b). Cependant, Omole et Bowland (1974b) ont observé une augmentation de la digestibilité de l'énergie consécutive à l'introduction de 135 à 210 ppm de Cu dans la ration de porcs en croissance. Plus précisément, 250 ppm de Cu dans la ration de porcelets en post-sevrage permettent une augmentation de la digestibilité fécale de la matière grasse pouvant atteindre 7 à 12 points, qui serait liée à

une stimulation de l'activité de la lipase et de la phospholipase A dans l'intestin grêle (Dove 1995, Luo et Dove 1996). Selon ces auteurs, l'effet facteur de croissance du Cu ne s'exprimerait qu'en cas de teneur énergétique suffisante de l'aliment.

Enfin, Zhou *et al* (1994b) ont montré l'effet stimulant du Cu sur la croissance du porcelet sevré par l'injection intraveineuse d'histidinate de Cu, suggérant un mode d'action systémique, différent de l'effet antimicrobien dans le tube digestif. Selon ces auteurs, le Cu agirait directement sur le système de régulation de la croissance. Cette hypothèse est corroborée par l'amélioration du coefficient de rétention de l'azote, sans modification de son coefficient de digestibilité observée par Luo et Dove (1996).

En définitive, le mode d'action du Cu comme facteur de croissance est vraisemblablement multifactoriel et différent de celui des antibiotiques ajoutés à doses subthérapeutiques. Même si de nombreuses pistes ont déjà été explorées, certaines d'entre elles, en particulier celles qui concernent le statut immunitaire des animaux et l'action systémique sur la croissance, mériteraient d'être approfondies. En effet, une meilleure connaissance de ce mode d'action constituerait un progrès dans le cadre de la mise au point de stratégies alternatives à l'usage des antibiotiques dans l'alimentation du porc.

2.2 / Conséquences de l'utilisation du cuivre comme facteur de croissance

a / Accumulation de cuivre dans les produits animaux

L'usage de Cu comme facteur de croissance comporte quelques désavantages, avec en premier lieu son accumulation dans le foie. Cette accumulation dépend de la concentration dans l'aliment et de la durée d'exposition (Elliot et Amer 1973). Pour des animaux en engraissement, l'exposition pendant une durée de 100 à 150 jours entraîne une augmentation significative de la teneur en Cu dans le foie lorsque l'aliment en contient plus de 125 ppm (jusqu'à 600 ppm MS, [figure 4](#)). Le Cu s'accumule également dans le rein, mais dans une moindre mesure (jusqu'à 105 ppm MS). Sa concentration dans le tissu adipeux (1,1 à 3,0 ppm MS), le muscle (1,5 à 5,5 ppm MS) et l'os (2,4 à 2,7 mg/kg) est faible et indépendante de l'apport alimentaire (e.g. Kline *et al* 1972, Omole et Bowland 1974 a et b, Castell *et al* 1975, Bradley *et al* 1983).

Lorsque l'apport alimentaire de Cu est diminué, la teneur en Cu du foie diminue rapidement et peut être considérablement abaissée lorsque l'aliment distribué en fin d'engraissement contient moins de 20 ppm de Cu. Pour des animaux abattus entre 90 et 100 kg, l'abaissement de l'apport doit intervenir au plus tard aux alentours de 50 kg lorsque l'aliment contient 250-260 ppm de Cu (Bunch *et al* 1963, Elliot et Amer 1973) et aux alentours de 65 kg lorsque l'aliment en contient 135 ppm (Castell *et al* 1975). Le délai de retrait de la supplémentation à respecter varie donc considérablement selon la teneur en Cu de l'aliment distribué en début d'engraissement. Sur la base de ces données, on peut estimer que l'apport de 175 ppm de Cu jusqu'à la fin de la période de croissance (60 kg), suivi d'un apport de 20 ppm jusqu'à l'abattage conduit probablement à des teneurs en Cu hépatique proches de celles qu'on obtiendrait en limitant les apports à 20 ppm pendant toute la durée d'engraissement.

Ces données nous permettent d'estimer l'impact de l'apport de Cu dans l'alimentation du porc sur l'apport quotidien de Cu par les produits animaux (muscle, foie, rein et gras) dans l'alimentation de l'Homme ([tableau 1](#)). Nous avons envisagé trois scénarios d'apport alimentaire de Cu au porc correspondant aux réglementations européennes en vigueur (directive 70/524/EEC) (B) ou envisagée (A). Le scénario C nous permet de simuler l'effet du maintien du Cu comme facteur de croissance en post-sevrage, comme l'autorise la législation actuelle, suivi de l'abaissement de la teneur en Cu des aliments d'engraissement à 35 ppm, comme le prévoit le projet de nouvelle législation. Suivant les apports alimentaires, seules les teneurs en Cu du foie et des reins varient, les teneurs en Cu du gras et des muscles en étant indépendantes. L'usage du Cu comme facteur de croissance pendant le post-sevrage est sans incidence sur la teneur en Cu des produits si la teneur en Cu de l'aliment du porc est abaissée pendant la période d'engraissement. Si les apports sont maintenus à 100 ppm jusqu'à l'abattage, l'estimation de la consommation quotidienne de Cu par l'Homme est supérieure à celle de ses besoins (3,6 vs 2 à 3 mg/j). Cette estimation est toutefois à

nuancer puisque le Cu présent dans le foie de porc, probablement en raison de sa liaison aux métallothionéines, est très peu disponible chez le poulet (Aoyagi *et al* 1995) et probablement chez l'Homme.

b / Conséquences sur le métabolisme du fer

Le porc recevant 250 ppm de Cu alimentaire peut présenter des signes d'anémie (Gipp *et al* 1973, Hedges et Kornegay 1973, Dove et Haydon 1991) de même type que dans le cas de la carence en Cu. Cependant, son origine est différente puisqu'elle est due à l'interaction négative qu'exerce le Cu sur le Fe alimentaire en limitant son absorption (Gipp *et al* 1973).

L'apparition de signes d'anémie est indépendante de l'efficacité du Cu sur les performances de croissance des animaux et s'accompagne d'une diminution des réserves hépatiques et rénales en Fe (Gipp *et al* 1973, Hedges et Kornegay 1973, Dove et Haydon 1991). Un apport supplémentaire de Fe par rapport aux 100 ppm habituellement recommandés pour un animal en post-sevrage (INRA 1989, NRC 1998) permet de prévenir l'anémie. Pour un aliment contenant 250 ppm de Cu, un apport en Fe de l'ordre de 200 à 300 ppm semble adéquat (Hedges et Kornegay 1973, Dove et Haydon 1991).

c / Conséquences sur la qualité du tissu adipeux

L'introduction de 125 à 250 ppm de Cu dans l'aliment tout au long de la période d'engraissement conduit à la production de gras mous (Amer et Elliot 1973a, Astrup et Matre 1987), indépendamment de l'effet sur la croissance (Amer et Elliot 1973b, Astrup et Matre 1987). Cet effet, observé uniquement dans les dépôts de couverture et non dans le gras intramusculaire (Lauridsen *et al* 1999b), résulte de la diminution de la proportion des deux principaux acides gras saturés (stéarique et palmitique) et de l'augmentation concomitante de celle d'acides gras monoinsaturés, oléique et palmitoléique. Le mode d'action du Cu sur le métabolisme des lipides n'est pas clairement élucidé (Lauridsen *et al* 1999a et b). Seuls Ho et Elliot (1974) émettent l'hypothèse selon laquelle l'activité de désaturation des acides gras dans le foie et le tissu adipeux seraient augmentée par l'addition de Cu dans la ration. Cependant, d'un point de vue pratique, l'effet du Cu utilisé comme facteur de croissance sur le degré d'insaturation des lipides est limité. D'une part, il est moins prononcé que celui de l'addition de sources de lipides riches en acides gras monoinsaturés comme l'huile de colza (Lauridsen *et al* 1999b). D'autre part, l'interruption de l'apport de Cu à doses élevées à 70 kg permet de rétablir une qualité des dépôts adipeux à 92 kg équivalente à celle d'animaux ayant reçu un aliment additionné de 10 ppm de Cu pendant toute la période d'engraissement (Amer et Elliot 1973a et b).

d / Stabilité de l'aliment et statut antioxydant de l'animal

Le Cu à l'état ionique favorise l'induction et la propagation de la peroxydation des lipides (Strain 1994). Par conséquent, l'introduction de doses élevées de Cu sous forme de sulfate dans l'aliment requiert quelques précautions quant à l'apport de vitamine E, agent antiradicalaire extrêmement sensible à l'oxydation. En effet, l'addition de 250 ppm de Cu sous forme de sulfate dans l'aliment conduit à une accélération de la destruction des tocophérols naturellement présents dans les matières premières (Dove et Ewan 1990), ainsi que, bien que dans de moindres proportions, de celle de l'acétate dl-a-tocophérol ajouté (Dove et Ewan 1991).

Au contraire, le Cu présent dans l'organisme, en tant que composant d'enzymes telles que la superoxyde dismutase et la céruloplasmine, agit comme agent antioxydant. Ainsi, l'addition de 175 ppm de Cu sous forme de sulfate pendant toute la période d'engraissement entraîne une légère diminution de la susceptibilité des lipides à l'oxydation dans le plasma, dans un muscle rouge oxydatif (*Psoas major*) et dans le foie de porcs abattus à 100 kg (Lauridsen *et al* 1999a et b). Dans cette étude, une modification de certains composants enzymatiques et non enzymatiques du système de défense contre les radicaux libres dans le muscle a été mise en évidence. Notamment l'activité de la superoxyde dismutase à Cu et Zn et la

teneur en vitamine E ont été augmentées.

3 / Biodisponibilité du cuivre : interactions avec les constituants de la ration

Les événements qui modifient l'utilisation des oligo-éléments ou la réponse métabolique à leur carence ou leur toxicité peuvent se produire avant et durant le processus d'absorption ou, de façon systémique, lors de leur utilisation métabolique dans les tissus. Une composante importante des interactions se situe probablement avant l'absorption et consisterait en la formation de composés insolubles, souvent par complexation des ions métalliques avec des composants alimentaires ou endogènes, dans l'aliment ou dans le tube digestif. Ces associations peuvent être modifiées substantiellement durant la digestion, notamment avec le changement de pH de l'estomac à l'intestin, ce qui rend malaisée l'étude de leur impact sur la biodisponibilité. Les interactions négatives n'ont d'importance pratique que si elles entraînent une augmentation significative des besoins. Néanmoins, une compréhension insuffisante voire l'ignorance de ces interactions obère notre capacité à définir de façon adéquate les besoins de l'animal.

Les valeurs de digestibilité apparente relevées dans la littérature sont extrêmement variables, de -12 % (Larsen *et al* 1999) à 52 % (Adeola *et al* 1995). Une grande part de cette variabilité peut sans doute être imputée aux difficultés méthodologiques liées à l'établissement du bilan métabolique de composants représentant moins de 0,003 % de la ration et, de surcroît, excrétés à près de 80-90 % (Underwood 1977). Dans cette configuration, une erreur de 10 % sur l'estimation de la quantité de Cu excrétée entraîne une variation de la digestibilité apparente d'environ 8 à 9 points. Au-delà de ces problèmes strictement analytiques, le statut en Cu des animaux au début de l'expérimentation ainsi que la durée d'exposition des animaux à un apport donné de Cu alimentaire avant l'établissement du bilan expliquent vraisemblablement une partie de cette variabilité (Newton *et al* 1983). En effet, lors d'un changement alimentaire, l'organisme atteint un nouvel état d'équilibre correspondant à l'égalité des apports et des pertes quotidiens de Cu (Mertz 1987). Or, la stabilisation des réserves corporelles et des pertes endogènes de Cu peut durer plusieurs semaines (Mertz 1987, Buckley 2000) et largement excéder le temps habituellement imparti pour l'établissement d'un bilan métabolique. Toutefois, une part de cette variabilité peut être la conséquence d'interactions alimentaires.

3.1 / Interactions avec les autres minéraux

a / Zinc

Le Zn est connu pour son effet antagoniste sur le Cu. Cet effet s'exercerait par l'induction de la synthèse de métallothionéines qui séquestrent le Cu dans l'entérocyte, empêchant son transfert vers la séreuse (Solomons 1983, O'Dell 1989).

Lorsque le Cu est apporté à plus de 200 ppm dans l'aliment, l'augmentation de la supplémentation en Zn de 50 à 250 ppm (Omole et Bowland 1974b), 0 à 100 ppm (Bekaert *et al* 1967) ou de 100 à 300 ppm (Kline *et al* 1972) n'a que peu ou pas d'effet limitant sur l'accumulation de Cu dans le foie. De plus, utilisé comme facteur de croissance sous forme de ZnO à des taux atteignant 3000 ppm, le Zn n'altère pas l'effet facteur de croissance du Cu (Smith *et al* 1997).

Avec des apports alimentaires de Cu beaucoup plus modestes, on observe une altération de la disponibilité du Cu chez l'Homme lorsque le rapport Zn:Cu excède 10:1 (Solomons 1983). Chez le porcelet sevré à 11 jours, l'apport de 3000 ppm de Zn au lieu de 100 dans un aliment additionné de 10 ppm de Cu sous forme de sulfate conduit, au bout de 28 jours, à une détérioration du statut en Cu qui se manifeste par une diminution de la cuprémie, une concentration accrue des métallothionéines dans le foie et l'intestin ainsi qu'une diminution de l'activité de la superoxyde dismutase dans les érythrocytes et le foie (Carlson *et al*

1999). De même, Hill *et al* (1983a) ont induit une carence en Cu chez des porcelets issus de truies recevant un aliment contenant 5000 ppm de Zn. Ces animaux, sevrés entre 3 et 5 jours, présentaient, au bout de 5 semaines, des signes d'anémie, une moindre activité de la lysyl oxydase dans l'aorte et de la cytochrome c oxydase dans le cœur et le foie, si leur alimentation contenait seulement 4,9 ppm de Cu.

Mathé *et al* (2001) ont observé des performances de croissance normales et n'ont pas enregistré de signes d'anémie chez des porcs en croissance recevant des aliments contenant 15 ppm de Cu, dont 5 ajoutés sous forme de sulfate, et 77 ppm de Zn, dont 45 ajoutés sous forme d'oxyde. Toutefois, certains résultats suggèrent un effet négatif de l'introduction de Zn à des niveaux proches du besoin dans des aliments contenant de faibles quantités de Cu. A cet égard, Hill *et al* (1983b) notent que les réserves hépatiques en Cu de porcelets issus de truies ayant reçu un aliment sans Cu et sans Zn ajouté sont plus élevées que celles de truies recevant une supplémentation de 50 ppm de Zn sous forme d'oxyde. Cheng *et al* (1998) observent, chez des porcelets sevrés, une diminution de la teneur en Cu du foie mais une augmentation de la teneur en Cu des reins avec l'introduction de 100 ppm de Zn dans un aliment contenant 15 ppm de Cu et 27 ppm de Zn. Chez des animaux de 95 kg ayant reçu pendant 132 jours une alimentation à base de maïs et de tourteau de soja additionnée de 10 ppm de Cu, la cuprémie est diminuée lorsque 15 ppm de Zn sont ajoutés aux 27 ppm que contiennent les matières premières constitutives du régime (Hill *et al* 1986). Enfin, Adeola *et al* (1995) observent une diminution de la digestibilité fécale apparente du Cu (13 vs 21 %) avec l'addition de 100 ppm de Zn sous forme de sulfate dans un aliment contenant 27 ppm de Zn et 14 ppm de Cu, dont 10 ajoutés sous forme de sulfate, mais aucun effet sur la cuprémie. Ces résultats, parfois contradictoires, ne permettent pas de statuer définitivement sur l'effet du Zn sur la disponibilité du Cu à de tels niveaux d'incorporation. En particulier, pour ce qui concerne la mesure de la digestibilité fécale apparente, la probable accumulation de Cu dans la paroi intestinale et la possible diminution des pertes endogènes de Cu via la bile lors d'apports accrus de Zn alimentaire (Yu et Beynen 1994) s'ajoutent aux difficultés d'interprétation évoquées précédemment. Il serait nécessaire, pour bien cerner l'effet du Zn sur des aliments peu pourvus en Cu, de choisir les critères les plus sensibles à la carence en Cu tels que l'activité de la superoxyde dismutase à Cu et Zn dans les érythrocytes ou le foie (Delves 1985).

b / Soufre et calcium

Lorsque la ration de porcs contient 250 ppm de Cu sous forme de sulfure, l'addition de 500 ppm de sulfure de sodium (Cromwell *et al* 1978) ou de sulfure ferreux (Prince *et al* 1979, Ribeiro de Lima *et al* 1981) conduit à une diminution de l'accumulation de Cu dans le foie. Selon ces auteurs, le soufre présent dans le tube digestif conduirait, en milieu anaérobie, à la formation de CuS, insoluble, donc peu absorbable.

De la même manière, en raison de l'augmentation du pH qu'il occasionne dans le tube digestif, le calcium pourrait entraîner la précipitation du Cu sous la forme indisponible d'hydroxydes insolubles. Toutefois, ce phénomène, observé chez le ruminant, ne semble pas se produire chez le porc (Kirchgessner et Grassman 1970).

Selon un autre mécanisme, l'augmentation de l'apport alimentaire de Ca pourrait, au contraire, induire une amélioration de la biodisponibilité du Cu en diminuant celle du Zn (Pond *et al* 1975). Cette hypothèse n'a cependant pas été vérifiée de façon probante. Prince *et al* (1984) n'ont obtenu qu'une très légère augmentation de l'accumulation hépatique de Cu chez le porc en croissance en augmentant la teneur en Ca de 0,65 à 1,2 % dans un aliment contenant 250 ppm de Cu. De même, l'augmentation de la teneur en Ca de 0,32 à 1,1 % MS dans un aliment riche en phytates, sans Cu ni Zn ajoutés (la MS contenant 3,5 ppm de Cu et 26 ppm de Zn) n'a pas modifié les bilans de Cu et de Zn chez des porcs de 35 kg (Larsen et Sandström 1993). Dans cette étude, l'absence d'effet du Ca sur le bilan de Zn rend toutefois difficile l'interprétation du bilan de Cu. Des études complémentaires, utilisant de meilleurs indicateurs du statut en Cu et visant à une meilleure compréhension et surtout une meilleure quantification de l'effet négatif du Zn sur la disponibilité du Cu en relation avec l'apport de Ca mériteraient d'être entreprises.

3.2 / Interactions avec les composants organiques de la ration

a / Phytates

L'acide phytique représente la forme majeure de stockage du phosphore dans les céréales, les légumineuses et les oléagineux. Son effet antinutritionnel est dû aux six groupes phosphate capables de se lier avec des cations di- et trivalents pour former des complexes stables, appelés phytates. L'effet négatif de la présence de phytates, dans l'aliment ou dans l'intestin, sur la disponibilité du Zn est reconnu. Son effet sur la biodisponibilité du Cu est plus controversé (Kratzer et Vohra 1986, Pallauf et Rimbach 1997). Comparé au Zn, le Cu serait moins sensible à la présence de phytates de Ca dans le tube digestif en raison de sa plus grande affinité pour d'autres chélatants, notamment les acides aminés libres (Wise et Gilbert 1982), capables de préserver sa solubilité (Mills 1985).

Toutefois, certains résultats suggèrent qu'en cas d'apports modérés de Cu (<15 ppm dans l'aliment), les phytates peuvent conduire à une réduction de la biodisponibilité du Cu, d'autant plus prononcée que l'apport en Zn est faible. Ainsi, chez le porcelet sevré et le porc en croissance, l'addition de 500 à 1500 unités de phytase microbienne dans des aliments modérément supplémentés en Cu (<14 ppm) et en Zn (<60 ppm) conduit à une amélioration de 7 à 31 points de la digestibilité fécale apparente du Cu (Pallauf *et al* 1992, Adeola *et al* 1995, Gebert *et al* 1999). Au contraire, selon Adeola *et al* (1995), lorsque l'aliment contient 126 ppm de Zn, la digestibilité fécale apparente du Cu devient indépendante de l'activité phytasique. Adeola (1995) obtient toutefois une amélioration de 8 points de la digestibilité fécale apparente du Cu par l'addition de 1500 unités de phytase microbienne dans un aliment contenant 5 ppm de Cu et 106 ppm de Zn.

En cas d'apports supérieurs en Cu, de l'ordre de 120 à 150 ppm, une amélioration significative de la digestibilité fécale apparente du Cu par l'addition de 500 à 1500 unités de phytase microbienne a été observée (Kirchgessner *et al* 1994, Adeola 1995). Elle n'est toutefois pas constatée lorsque 500 unités de phytase microbienne sont ajoutées dans un aliment contenant 60 ppm de Cu (Adeola 1995).

En tout état de cause, l'impact de l'incorporation de phytase microbienne dans l'aliment du porc sur la disponibilité du Cu devrait être vérifié en distinguant son éventuel effet direct sur le Cu de celui, indirect et négatif, qu'elle pourrait exercer en améliorant la disponibilité du Zn.

b / Matière grasse

Chez le porcelet sevré, Dove (1995) observe un bilan de Cu négatif (-1,5 vs 0,8 mg Cu retenu/j) lorsque 5 % de matière grasse animale sont ajoutés à un aliment à base de maïs et de tourteau de soja supplémenté avec 15 ppm de Cu sous forme de sulfate. Selon cet auteur, la présence de matière grasse dans le régime entraînerait la formation de savons dans le tube digestif à l'origine de la diminution de la disponibilité du Cu et d'autres oligo-éléments tels que le Zn et le Fe. Au contraire, Luo et Dove (1996), avec les mêmes types d'aliment et d'animaux, n'ont relevé aucun effet de la présence de graisse animale dans l'aliment sur la cuprémie ou la concentration hépatique de Cu. Enfin, l'addition de 6 % d'huile de colza dans un aliment à base de céréales et de tourteau de soja, contenant 15 ppm de Cu entraîne une augmentation de la teneur en Cu hépatique chez le porc en engraissement abattu à 100 kg (Lauridsen *et al* 1999a). L'effet négatif de la présence de quantités importantes de matières grasses dans l'aliment sur la disponibilité du Cu n'est donc pas établi, de même que l'impact du type de matière grasse n'est pas élucidé.

c / Fibres