

# Gestion de l'azote dans les exploitations d'élevage au Danemark, évolution des pratiques et législation

Sven G. Sommer, Nick J. Hutchings, Arne Kyllingsbæk  
et Ingrid K. Thomsen

**A**u Danemark, environ 330 000 tonnes d'azote sont collectées annuellement à partir des animaux en stabulation, ou bien excrétées dans les champs. Une grande partie de cet azote provient de l'élevage bovin et porcin (tableau 1). Plus de la moitié de l'azote du lisier animal, et presque tout l'azote du purin, se retrouve sous la forme ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ). Il est facilement disponible pour les plantes, mais il risque aussi d'être perdu par volatilisation sous forme ammoniacale de  $\text{NH}_3$ , par lessivage des nitrates  $\text{NO}_3^-$  ou par dénitrification.

La volatilisation du gaz ammoniac se produit dans les bâtiments d'élevage, dans les fosses au cours de l'épandage des déjections, après cet épandage. (Ryden *et al.*, 1987). Ces pertes en ammoniac réduisent considérablement la valeur fertilisante des déjections pour la production des cultures. Dans les bâtiments d'élevage, l'ammoniac est également un facteur de risque pour la santé de l'homme, car une exposition régulière à ce gaz  $\text{NH}_3$ , combinée avec la poussière, peut engendrer des maladies pulmonaires graves (conférence américaine des spécialistes gouvernementaux en hygiène industrielle, 1986). De plus, de fortes concentrations en ammoniac peuvent réduire la production animale. (Dewes et Goodall, 1995). Dans l'atmosphère, l'ammoniac se transforme facilement en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dans les gouttelettes acides des nuages. L'ammoniac émis se dépose à sec près de la source, et plus loin de celle-ci, sous forme sèche ou humide de  $\text{NH}_4^+$ . Le dépôt d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_3$  et  $\text{NH}_4^+$ ) peut provoquer des perturbations dans les écosystèmes oligotrophes (ayant une faible teneur en azote).

L'azote des déjections animales épandu sur les terres constitue également une pratique à risque vis-à-vis du lessivage des nitrates (Thomson *et al.*, 1993). Vu

Catégorie d'animaux	Azote stocké 1000 tonnes	%
Bovins lisier	86	26
Bovins fumier	34	10
Bovins purin*	44	13
Bovins au pâturage	44	13
Porcs lisier	63	19
Porcs fumier	16	5
Porcs purin*	30	9
Autres -	14	4
<b>Total</b>	<b>331</b>	<b>100</b>

\* Fraction liquide du fumier séparé

Tableau 1. - Azote dans les déjections animales collectées à partir de porcs et d'animaux en stabulation et excrétées dans le champ. (Sommer, 1994).

les quantités croissantes d'azote utilisées dans l'agriculture danoise (figure 1), le lessivage des nitrates a augmenté au cours du XX<sup>e</sup> siècle, provoquant l'eutrophisation des lacs et des rivières, et augmentant les concentrations en nitrates dans les aquifères. Au Danemark, les nappes d'eau souterraines sont utilisées pour l'eau potable sans traitement préalable ; ainsi la pollution des aquifères constitue un grave problème de santé publique.

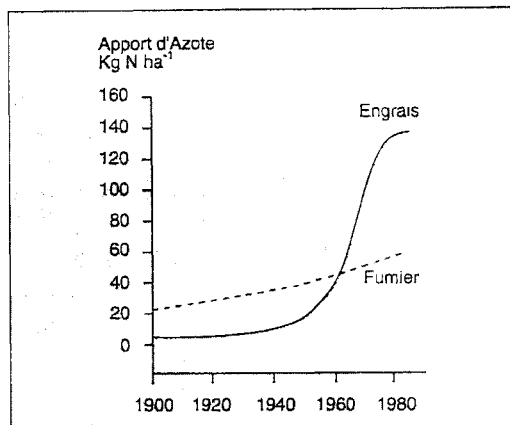
Cet article se propose d'étudier comment l'utilisation des engrais azotés et des déjections a changé au XX<sup>e</sup> siècle, et comment les sciences agronomiques ont évolué pour s'adapter aux tendances de l'agriculture. La législation actuelle visant à réduire l'impact de l'azote sur l'environnement est décrite, et on propose des solutions pour réduire, à l'avenir, les émissions et le lessivage de l'azote.

## Historique

Au début de ce siècle, la plus grande partie de l'azote utilisé en agriculture provenait d'azote fixé par les légumineuses. L'azote assimilé était collecté par les

**Sven G. Sommer,**  
**<sup>2</sup>Nick J. Hutchings,**  
**<sup>2</sup>Arne Kyllingsbæk**  
**et <sup>3</sup>Ingrid K.**  
**Thomsen**  
Institut danois des  
Sciences des sols et  
des végétaux, <sup>1</sup>Dept.  
des sciences du sol et  
<sup>2</sup>Dept. d'occupation  
des sols, Research  
Centre Foulum,  
P.O. Box 23,  
DK-8830 Tjele

Figure 1. - Apport d'azote au champ au moyen d'engrais minéraux et de déjections animales (Institut danois de statistiques 1910/1980).



animaux au pâturage, puis excrété dans les installations de stabulation, fournissant le fumier pour la production des cultures végétales. La figure 1 montre que l'on utilisait des quantités négligeables d'engrais minéraux dans l'agriculture danoise vers 1900, et que le plus gros de l'azote venait du fumier épandu. Jusqu'aux années 1950, cette situation n'a pas tellement changé, et le fumier est resté la principale source d'apports nutritifs pour les cultures dans cette période. L'importance de l'azote du fumier organique est illustré par le grand nombre d'articles publiés par l'Institut danois des sciences des sols et des végétaux au début de ce siècle. Beaucoup d'articles avaient trait à la volatilisation de l'ammoniac, car les scientifiques et les agriculteurs prenaient conscience des pertes gazeuses en azote provenant des déjections.

Dans les années 50, les engrais minéraux devinrent bon marché et consécutivement l'utilisation de l'azote minéral augmenta (figure 1), réduisant la dépendance des agriculteurs vis-à-vis des déjections animales en tant qu'apport d'éléments nutritifs pour les plantes. Entre 1950 et 1980, on signale peu d'études sur les pertes en ammoniac à partir des déjections animales, du fait que celles-ci étaient presque considérées comme un déchet, et que la pollution n'était pas prise en compte à cette époque là. L'industrialisation et l'urbanisation ont éloigné les agriculteurs et les citadins, d'où moins de compréhension de la part de la population en général vis-à-vis de l'agriculture. En conséquence, les nuisances olfactives associées à l'élevage furent mal perçues par la population et ceci se refléta par des normes portant sur la construction de cheminées d'aération, et des restrictions d'implantation des exploitations d'élevage selon leur distance aux lieux d'habitation.

On remarqua pour la première fois des augmentations des concentrations en nitrates dans les aquifères au début des années 1980 (Mijostyrelsen, 1983), et la lixiviation des nitrates devint un problème majeur, avec des slogans du type « la bombe à nitrate » apparaissant dans les journaux. Des calculs montrèrent que des quantités importantes d'azote importé dans la nourriture et les engrais minéraux étaient perdues, à cause de la lixiviation des nitrates et la volatilisation ammoniacale (tableau 2); ainsi l'efficacité de l'azote chuta de moitié entre 1950 et 1980 (figure 2). Au début des années 1980, les syndicats d'agriculteurs et les agronomes commencèrent à discuter avec l'agence de protection de l'environnement danoise pour savoir si l'agriculture était à l'origine de l'augmentation des nitrates dans les nappes souterraines. En 1985, on arriva à un consensus sur le fait que l'agriculture contribuait effectivement à la contamination des eaux souterraines, et que l'élevage en particulier semblait importer trop d'azote, provoquant un lessivage excessif de nitrates. Ceci conduisit à l'élaboration d'un code de bonnes pratiques agricoles, visant à réduire le lessivage ; et l'Institut danois des sciences des sols et des végétaux mit en place d'autres recherches pour améliorer l'efficacité des déjections en tant qu'engrais de ferme. Un programme de recherche fut lancé et finança des études portant sur le lessivage des nitrates et la volatilisation de l'ammoniac. L'Institut danois des sciences des sols et des végétaux a cherché comment réduire les pertes en azote, et l'Institut national de recherche en environnement a étudié l'augmentation des nitrates dans les eaux souterraines et le dépôt d'ammoniac (Dyrh-Nielsen *et al.*, 1991).

## Réglementation

A la fin des années 80, il était évident que le code général de bonnes pratiques agricoles n'avait pas réduit les pertes à des niveaux acceptables, et il fut décidé que le ministère de l'environnement devrait élaborer des normes concernant l'élevage. Ainsi, l'objectif de la législation (ministère de l'environnement, 1993), fut de réduire la pollution et la nuisance olfactive qu'engendrait l'élevage, en imposant des restrictions en matière de construction et de lieu d'implantation, à la fois pour le stockage des déjections, les lieux de stabulation et les épandages. A ce stade, il y a eu accord entre les syndicats d'agriculteurs, les agronomes et l'Agence de protection de l'environnement sur les règles à adopter pour l'utilisation d'effluents d'élevage.

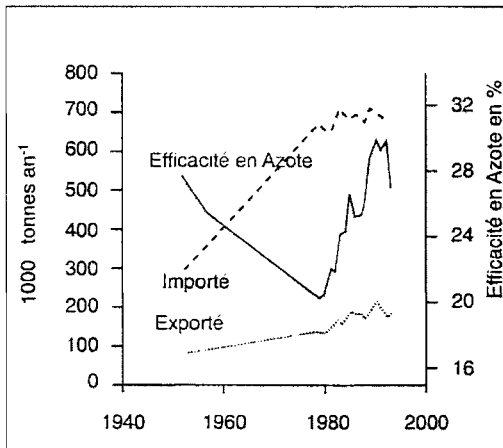


Figure 2. - Agriculture au Danemark, azote importé dans la nourriture et dans l'engrais minéral (N importé) azote capté par les plantes et transféré dans les produits animaux (N exporté) ; relation entre l'azote importé et l'azote exporté (efficacité de l'azote) (Kyllingsbæk, 1995).

**■ Odeurs nauséabondes**

La nuisance que constitue les odeurs provenant de l'élevage est contrôlée en établissant une distance minimale entre les bâtiments, ou les sites de stockage des déjections, et les zones résidentielles les plus proches. Le lisier ne doit pas être épandu le samedi, le dimanche et les jours fériés, et sur des zones situées à moins de 200 m des habitations.

**■ Lessivage et ruissellement**

Afin de réduire le risque de pollution, les fosses de stockage des déjections doivent être placées à plus de 25 mètres des stations de captage d'eau pour les particuliers, et à plus de 50 mètres des stations de captage communales. Les tas de fumier doivent être installés de telle façon que le ruissellement aille dans un réservoir. De plus, le fumier ne doit pas être épandu d'une manière qui puisse engendrer un ruissellement dans des cours d'eau et des lacs.

Afin d'obtenir des quantités correctes d'azote épanchées, les terres dont dispose l'exploitation d'élevage doivent être suffisantes, pour que les déjections produites puissent être épanchées suivant les normes et aux doses fixées par la loi (tableau 3). Les agriculteurs sont obligés de prouver qu'ils ont accès à assez de terres, pour garantir que les déjections produites par les animaux pourront être utilisées efficacement. S'ils ne possèdent pas ou ne louent pas suffisamment de terres, ils doivent conclure des accords par écrit avec d'autres propriétaires terriens, pour garantir que l'excédent de

	Importation d'azote kg N ha <sup>-1</sup>		Exportation et perte en azote kg N ha <sup>-1</sup>
Engrais minéral	130	Absorption par végétaux	10
Aliments	60	Exportation des produits animaux	25
Pluie, dépôt	20	Brûlage de paille	2
Fixation de N <sub>2</sub>	10	Dénitrification	30
		Volatilisation de l'ammoniac	45
		Lessivage de nitrates	53
		Lessivage à partir des lieux de séchage du fumier et en lisage	20

Tableau 2. - Bilan de l'azote exprimé en unité par hectare dans l'agriculture danoise en 1981-1982 (Anonyme, 1984).

Tableau 3. - Réglementation concernant l'utilisation des déjections et des engrais dans les exploitations d'élevage.

L'apport d'azote dans les déjections sur une exploitation ne doit pas dépasser le taux suivant, donné en unités bétail<sup>1</sup>/ha/an, de façon à garantir que les déjections épanchées correspondent aux besoins des cultures. Si l'exploitation n'a pas assez de terres par rapport aux unités de bétail produites, l'agriculteur devra établir un contrat avec les exploitants voisins pour garantir que l'excédent pourra être épandu ailleurs.

Type d'exploitation	Unités de gros bétail/ha/an
Exploitations bovines	2,4
Fermes porcines et production végétale	1,7
Autres, bovins mixtes et fermes porcines	2,0

1. Une unité gros bétail (UGB) représente l'azote des déjections produit par une vache laitière de grande race. Les productions d'autres animaux sont évaluées par rapport à cette unité, par exemple 30 porcs en engraissement représentent une unité de bétail équivalente à une vache laitière.

L'équivalent engrais<sup>2</sup> des différentes catégories de déjections et de cultures : on a le purin (fraction liquide du fumier séparé), et les lisiers animaux épanchés sur les cultures avec des épandeurs tractés. Quand elles sont épanchées sur des sols nus, les déjections sont incorporées en l'espace de 6 heures (LIK, 1995). Max représente la valeur maximum, quand l'incorporation garantit peu de pertes azotées, et Min représente la valeur minimale, quand les pertes sont élevées. Soit la quantité d'azote existant dans les déjections épanchées peut être mesurée, soit les agriculteurs utilisent les valeurs standard.

Culture	Lisier bovin		Lisier porcine		Purin		Fumier	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Équivalent engrais							
Céréales d'hiver	0,30	0,40	0,45	0,60	0,55	0,60	0,25	0,35
- de printemps	0,35	0,40	0,40	0,60	0,55	0,75	0,15	0,40
Betteraves	0,40	0,50	0,50	0,65	0,55	0,80	0,20	
Colza	0,30	0,40	0,45	0,60	0,60	0,75	0,35	n.d.
Prairie	0,25	0,30	0,45	0,50	0,45	0,65		n.d.

2 L'équivalent engrais (fe) est basé sur la quantité de N apporté par l'engrais minéral (N<sub>engrais</sub>) nécessaire pour arriver au même rendement qu'avec 1 kg de N apporté sous forme de déjections animales (N<sub>déjections</sub>):

$$fe = \frac{N_{de\ engrais}}{N_{de\ déjections}}$$

déjections animales pourra être épandu ailleurs, ou dirigé vers une station de production de biogaz. De plus, chaque agriculteur doit prévoir, annuellement, un bilan de fertilisation. Celui-ci doit garantir que la quantité totale des déjections et d'engrais azoté ne dépassera pas les besoins en azote de toutes les cultures de l'exploitation. L'équivalent engrais des déjections, pour la même teneur en azote, est établi par la loi (tableau 3). Enfin, pour réduire le lessivage des nitrates, 65 % des terres agricoles en rotation doivent être couvertes en cultures dérobées (céréales d'hiver, prairie permanente, colza à huile d'hiver etc.).

Le purin ne doit pas être épandu dans les champs, de la moisson au 1<sup>er</sup> février. Sur les prairies permanentes, et les champs de colza à huile d'hiver, le lisier peut être épandu jusqu'au 1<sup>er</sup> octobre. Le fumier peut être épandu sur des cultures d'hiver de la moisson au 20 octobre, et après le 20 octobre sur toutes les cultures. Vu la courte période durant laquelle les fosses à lisier sont autorisées à être ouvertes, la capacité de stockage doit être suffisamment importante pour contenir une production de lisier de neuf mois.

#### ■ *La volatilisation ammoniacale (NH<sub>3</sub>)*

Pour réduire la volatilisation de l'ammoniac, les fosses de matière liquide sans couverture artificielle ou croûte naturelle doivent être couvertes, au moyen d'un matériau imperméable à l'ammoniac, qui peut être une couverture plastique flottant en surface, des granules d'argile brûlées et flottantes, ou une couche de paille etc. Quand il s'agit d'épandage sur un sol nu, le purin et le lisier doivent être incorporés dans les 12 heures qui suivent l'opération, et le fumier doit être incorporé immédiatement après son épandage. Il n'y a rien de prescrit pour la couverture des tas de fumier.

### Techniques et recherche

On a assisté à un tournant dans l'utilisation de l'azote au milieu des années 80, quand l'azote importé a baissé, et l'azote exporté a augmenté (figure 2), indiquant que moins d'azote se trouvait perdu, et que le code de bonnes pratiques agricoles avait eu de l'effet. Malgré les mesures qui ont été prises ces dernières années, les études réalisées par l'Institut national de recherche en environnement ont fait apparaître que les niveaux de concentration en NO<sub>3</sub> dans les eaux souterraines, et la volatilisation ammoniacale sont encore inacceptables.

Il est donc nécessaire :

- de prévoir des mesures supplémentaires, qui peuvent être prises sur la base du savoir disponible aujourd'hui,

- d'identifier les domaines dans lesquels des recherches peuvent améliorer à l'avenir les résultats.

#### ■ *Volatilisation de l'ammoniac*

Jusqu'à présent la volatilisation ammoniacale a été réduite par des techniques simples et peu coûteuses, comme la couverture des fosses, et des changements dans les techniques d'épandage et de culture. On pourrait réduire les pertes d'azote en réduisant le temps écoulé entre l'épandage et l'incorporation, ou en faisant davantage appel aux techniques dans lesquelles on combine épandage et incorporation, par exemple la technique de l'injection : plus de 70 % de la volatilisation potentielle peut se produire dans les douze heures qui s'écoulent entre l'épandage et l'incorporation (Pain *et al.*, 1989). Davantage de recherches sont nécessaires pour quantifier les pertes en ammoniac à partir du fumier, et pour identifier des méthodes permettant de réduire ces émissions. Peu d'études ont porté sur ce problème de pertes, bien que la production de déjections animales soit importante (tableau 1).

Jusqu'à présent, les recherches ont laissé entendre que le contrôle des pertes provenant des bâtiments était difficile et coûteux. (Sommer et Hutchings, 1995). Cependant, des études récentes montrent que ces pertes peuvent être réduites par un sol légèrement incliné, de façon à accroître le ruissellement du lisier, et un canal dirigeant le lisier hors des caillebotis. Ainsi, il apparaît que la conception des bâtiments pourrait encore être améliorée.

#### ■ *Lessivage des nitrates*

On pourrait également réduire le lessivage des nitrates en adaptant davantage l'apport en azote à la demande de la culture (figures 3 et 4) ; il apparaît, en effet, qu'il y a encore une marge pour améliorer l'équivalent-engrais des déjections animales (tableau 3). Ceci est possible si l'on utilise des itinéraires techniques de haute précision, pour ajuster le niveau de fertilisation azotée aux variations pédologiques dans le champ. Cependant, l'agriculture de précision n'en est qu'à ses balbutiements, et davantage de recherche/développement sera nécessaire, avant qu'elle ne contribue de façon significative à réduire la pollution par les nitrates. Une utilisation croissante des installations communales de production de biogaz contribuera aussi à une meilleure utilisation des déjections animales pour les cultures, du fait que le lisier transformé a des teneurs connues en éléments nutritifs. Le lisier produit dans l'exploitation varie dans sa composition, ce qui enlève de la fiabilité au calcul des quantités d'éléments nutritifs appliquées. Un problème lié particulièrement au fumier animal,

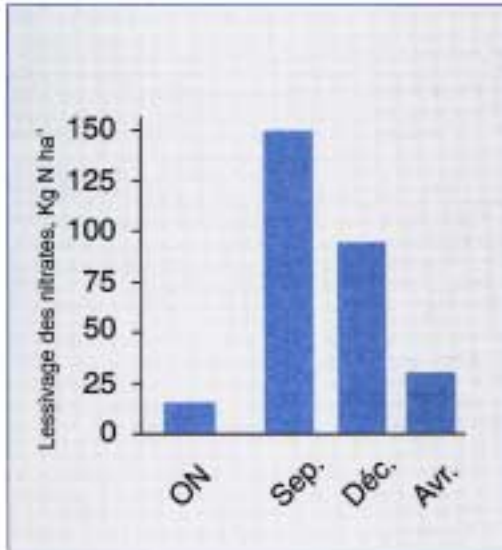


Figure 3. – Lessivage du nitrate sur du seigle d'hiver après épandage du lisier à différents moments de l'année et sous témoin non fertilisé (Kjellerup, 1992).

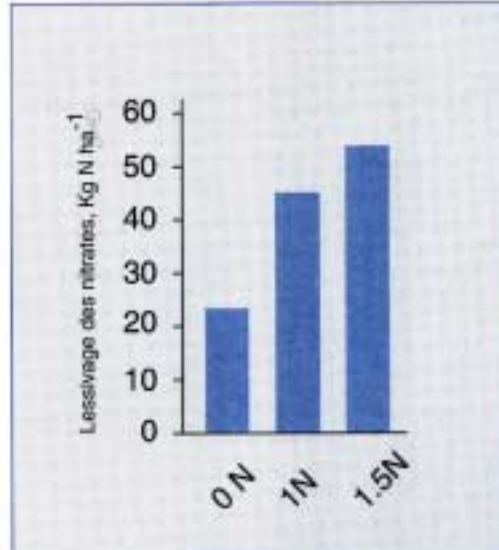


Figure 4. – Lessivage du nitrate sur une rotation de culture (orge de printemps sursemé avec du ray-grass, ray grass, blé d'hiver, et betterave) avec épandage de lisier sur deux niveaux (1 N correspond à la consommation de la culture) et sans engrais (Thomsen *et al.*, 1993).

est que l'on ne connaît pas la quantité d'azote organique apportée aux cultures au cours des années. Dans le fumier animal, une quantité importante de l'azote appliquée dans le champ est sous forme organique, et ceci accroît le potentiel de minéralisation du sol sur un certain nombre d'années. Ainsi, il est important de garder une couverture végétale le plus longtemps possible au cours de l'année, en utilisant des cultures dérobées, si nécessaire. Les recherches futures devront en priorité essayer de déterminer comment la minéralisation pourrait être synchronisée avec le prélèvement par les plantes, par l'itinéraire technique de culture, ou par traitement du fumier durant son stockage (par exemple le compostage).

#### ■ Réduire le volume des déjections animales

Beaucoup d'exploitations de vaches laitières et de porcs sont gérées de façon si intensive qu'elles sont devenues de véritables petites industries. Dans ces exploitations, des moyens techniques plus avancés pourraient être utilisés pour réduire les pertes en éléments nutritifs. Un des plus gros problèmes avec le lisier, c'est l'importance de son volume. Au Danemark, des équipements ont été mis en place (Envotech, DK-Sonderborg) qui séparent le lisier en trois fractions bien définies : l'eau propre (85 %), une fraction liquide (10 %) et une fraction solide (5 %). La fraction liquide contient la majeure

partie de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), et la fraction solide contient l'essentiel des oligo-éléments, du carbone, du phosphore et du potassium. Pour des exploitations intensives, le coût de l'utilisation d'un séparateur peut être compensé par une réduction du coût du stockage, du transport et de l'épandage. La réduction du volume des déjections animales semble être un moyen adapté, pour augmenter l'efficacité de l'azote dans ces exploitations, particulièrement pour ce qui est des fractions disponibles immédiatement, telles que l'ammonium, le phosphore et le potassium.

#### ■ Alimentation

Les pertes de tous les composés azotés provenant des exploitations d'élevage pourraient être réduites, en diminuant la teneur en azote dans la nourriture animale. On pourrait y arriver sans faire baisser la production, car l'apport d'azote par la plupart des aliments pour animaux est supérieur aux besoins des animaux. Dans le cas des porcs, cet excédent peut être réduit en équilibrant la proportion des différents acides aminés dans les aliments (Dourmad *et al.*, 1993). Le ratio azote/énergie de l'herbe et du fourrage ensilé est élevé et variable ; réduire l'excédent d'azote du régime alimentaire pour les bœufs et les laitières, est chose plus difficile que pour les porcs (Petersen *et al.*, 1996). Ces domaines de recherche seront sûrement les plus prometteurs pour réduire les pertes en azote, provenant de l'élevage.

## Conclusion

Le coût relativement bas des engrais minéraux a réduit l'efficacité de l'utilisation de l'azote des déjections animales, de ce fait on a assisté à une augmentation du lessivage des nitrates vers les nappes d'eau souterraines et à une volatilisation de l'ammoniac. Dans les années 1980, on a réalisé que ces pertes étaient néfastes à l'environnement, car elles augmentaient les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines et les retombées d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) dans l'eau de pluie. Des programmes de recherche ont été lancés pour maîtriser ces pertes d'azote, et des codes de

bonnes pratiques agricoles ont été élaborés. Ces initiatives ont réduit les pertes, mais pas suffisamment pour être au niveau des normes fixées conjointement par le ministère de l'environnement et le syndicat des agriculteurs. Une nouvelle législation fut alors appliquée au début des années 1990, et a réglementé la densité animale, le stockage et l'épandage des déjections, ainsi que la quantité d'azote dont pourrait avoir besoin l'exploitation. Beaucoup peut encore être fait pour améliorer l'efficacité de l'apport d'azote pour la production alimentaire, sur la base du savoir acquis, et par de nouveaux programmes de recherche et développement. □

## Résumé

L'utilisation des engrais minéraux azotés (N) dans les fermes d'élevage au Danemark a augmenté considérablement au cours de ce siècle. Les pertes en azote se sont accrues du fait des apports en azote plus importants, et on a noté une baisse de l'efficacité de l'azote employé dans les exploitations d'élevage. Ceci a conduit à une aggravation de la pollution atmosphérique par le gaz ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), et de la pollution des eaux par les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Le lessivage va enrichir les aquifères, ce qui est considéré comme un grave problème d'environnement, car les nappes souterraines sont utilisées pour l'eau potable sans aucun traitement préalable. Le dépôt d'ammoniac est nocif pour un grand nombre d'écosystèmes naturels. Cette pollution provient en grande partie des déjections animales, car celles-ci ne sont pas utilisées de façon efficace par les cultures. L'objectif visé par la législation danoise est de réduire les pertes de nitrates par lessivage et la volatilisation d'ammoniac, en améliorant l'utilisation de ces déjections animales. Dans cet article, on décrit l'évolution des tendances sur l'utilisation et la gestion de l'azote qui ont prévalu au cours de ce siècle, et la législation en place pour réduire les pertes de cet élément.

## Bibliographie

- American Conference of Governmental Industrial Hygienist Inc, 1986. Ammonia. In *Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices. Fifth Edition*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists Inc. Cincinnati, Ohio. 27p.
- ANONYMOUS, 1984. Kilder til NPO-belastning (*N, P and Organic matter sources to the environment*). In *NPO-redegørelse*. Miljøstyrelsen, DK-Copenhagen. pp 35-82.
- Danish Statistical Institute. 1910-1980. Danish statistical yearbook, 1910-1980. DK-Copenhagen.
- DEWES, H. F., GOODALL, G., 1995. Some preliminary observations on the possible relationship between ammonia production from soiled bedding in calf rearing sheds and calf illness. *New Zealand Veterinary Journal*, n° 43, 37-41.

DOURMAD, J. Y., HENRY, Y., BOURDON, D., QUINIOU, N., GUILLOU, D., 1993. Effect of growth potential and dietary protein input on growth performance, carcass characteristics and nitrogen output in growing-finishing pigs. In *Nitrogen flow in pig production and environmental consequences* (Eds. VERSTEGEN M.W.A., DEN HARTOG L.A., VAN KEMPEN G.J., METZ J.H.M.). Purdoc Scientific Publishers, Wageningen the Netherlands. pp. 206-211.

DYHR-NIELSEN, M., HANSEN, E., HOLTER, V., KRAG-ANDERSEN, K., GRAVESEN, P., IVERSEN, R. M., 1991. *Kvælstof, fosfor i jord og vand - Transport, omsætning og effekt (Nitrogen, phosphorous in soil and water-Transport, transformation and effect on the environment)*. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen, DK-Copenhagen. 152 p.

KJELLERUP, V., 1992. Surface application of pig slurry to winter wheat and winter rye: effect of application time. *Tidsskrift for Planteavl*, n° 96, 245-255. Summary and legends in English.

KYLLINGSBÆK, A., 1995. *Kvælstofoverskud i dansk landbrug (Nitrogen surplus in Danish agriculture)*. SP-rapport 23, Landbrugs- og Fiskeriministeriet Statens, Planteavlsvforsøg, DK-Copenhagen, 61 p. Summary and legends in English.

LIK., 1995. *Håndbog for plantedyrkning (Manual for plant production)*. Landbrugets Informationskontor, DK-Århus. 215 p.

MILJØSTYRELSEN, 1983. *Nitrat i drikkevand og grundvand (Nitrate in drinking water and groundwater)*. Miljøstyrelsen, DK-Copenhagen.

Ministry of the Environment, 1993. *Statutory order from the ministry of the environment, no. 1121 of December 15, 1992 on professional livestock, livestock manure, silage etc.* Ministry of the Environment, DK-Copenhagen. 13 p.

PAIN, B.F., PHILLIPS, V. R., CLARKSON, C. R., KLARENBEEK, J. V., 1989. Loss of nitrogen through NH<sub>3</sub> volatilisation during and following application of pig or cattle slurry to grassland. *Journal of Agricultural Science*, n° 47, 1-12.

PETERSEN, S. O., SOMMER, S. G., AAES, O., 1996. Ammonia losses from dung and urine of grazing cattle: Effect of N intake. *Atmospheric Environment*. (Accepted for publication).

RYDEN, J. C., WHITEHEAD, D. C., LOCKYER, D. R., THOMPSON, R. B., SKINNER J. H., GARWOOD, E. A., 1987. NH<sub>3</sub> emission from grassland and livestock production systems in the UK. *Environmental Pollution*, n° 48, 173-184.

SOMMER, S. G., 1994. Ammoniakfordampning i Danmark (*Ammonia volatilization in Denmark*). *Vand og Jord*, n° 5, 210-214.

SOMMER, S. G., HUTCHINGS, N., 1995. Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. *Water, Air and Soil Pollution*, n° 85, 237-248.

THOMSEN, I. K., HANSEN, J. F., KJELLERUP, V., CHRISTENSEN, B. T., 1993. Effects of cropping system and rates of N in animal slurry and mineral fertiliser on nitrate leaching from a sandy loam. *Soil Use and Management*, n° 9, 53-58.

Sven Gjedde Sommer a obtenu son diplôme de Master en 1981 et son doctorat (Ph. D) en 1992. Il est entré dans ses responsabilités actuelles au « Danish Institute of Plant and Soil Science » en 1988, en tant que responsable de projet sur les pertes d'ammoniac. En 1996, il a été nommé coordinateur du projet « déjections animales solides et compost » dans lequel quatre instituts sont impliqués. Ce projet fait partie du programme intitulé « Recherche stratégique et fondamentale sur les systèmes d'agriculture biologique avec un accent particulier sur les aspects biologiques et environnementaux ».