

Gestion des déjections animales en Allemagne - un bref aperçu

Jochen Hahne, Jürgen Beck et Hans Oechsner

Le dispositif légal

La loi sur le recyclage et les déchets (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz- 1994) et la loi sur les engrais (Düngegesetz, 1977, révisée en 1989) définissent les critères essentiels de l'utilisation des déjections dans l'agriculture. La loi sur le recyclage et les déchets sera appliquée en 1996. Les différents « Lands » de la République Fédérale d'Allemagne sont autorisés à appliquer les « Ordonnances » sur les déjections, ordonnances qui sont toujours en vigueur et qui sont basées sur la Loi fédérale des déchets. Ces « Ordonnances » limitent la quantité d'azote et de phosphore d'origine animale que l'on peut épandre sur les prairies ou les terres arables. Elles limitent également la période durant laquelle l'épandage de déjections est autorisé. Les Ordonnances sur les déjections des différents « Lands » de la République Fédérale définissent des critères différents pour l'application des déjections de celles-ci. En Basse Saxe, par exemple, il est permis d'épandre 2,5 unités de déjections par hectare (10 000 m²) et par an. Une unité de déjections équivaut à un volume de celles-ci contenant 80 kg d'azote (ou 60 kg de P₂O₅ en Schleswig-Holstein) d'origine animale. Il est permis d'épandre ces déjections du 1^{er} février au 31 octobre sur les prairies, et du 1^{er} février jusqu'aux récoltes sur les terres arables. En cas de production de céréales d'hiver ou de culture alternée, il est possible d'épandre les déjections jusqu'au 15 octobre (0,5 unité pour les céréales d'hiver et 1,0 unité de déjection pour la culture alternée).

Si les déjections contiennent des quantités d'éléments minéraux qui excèdent celles permises par les Ordonnances, ou si la quantité d'éléments excède la demande des plantes, le surplus de déjections est alors considéré comme « déchet ». Dès lors, son utilisation (ou son évacuation) sera réglementée par la loi sur les déchets qui définit des critères de traitement très stricts.

Les Ordonnances sur les déjections seront remplacées par l'Ordonnance sur les engrais (Düngeverordnung), mise en application le 1^{er} juillet 1996. Dans le contexte de l'Ordonnance sur les engrais, l'utilisation des déjections animales dans l'agriculture sera encore plus strictement réglementée du fait de la mise en application de la Directive européenne sur les nitrates. Elle limitera, à partir du 1^{er} juillet 1997, l'épandage d'une quantité totale d'azote d'origine animale à 210 kg/ha et par an sur les prairies et à 170 kg/ha et par an sur les terres arables.

D'autres exigences sont définies par l'Ordonnance sur les engrais.

- 1 - Les engrais doivent être appliqués de manière à permettre aux plantes d'utiliser les éléments nutritifs le plus efficacement possible.
- 2 - Les pertes en éléments nutritifs dues au lessivage ou au ruissellement doivent être strictement minimisées.
- 3 - Les pertes en ammoniac pendant et après l'épandage des déjections doivent être évitées dans la mesure du possible (systèmes de lavage pour l'évacuation du lisier).
- 4 - Les fumiers et lisiers doivent être immédiatement incorporés dans les sols qui ne sont pas labourés.
- 5 - L'ajout de phosphate ou de potassium dans des sols qui renferment déjà des concentrations élevées de ces éléments est à proscrire (les quantités épanchées doivent être aux besoins des plantes).

Au-delà de ces dispositions, plusieurs restrictions concernent le traitement du lisier et du fumier solide, entre autres, une capacité de stockage d'au moins six mois. D'une manière générale, l'utilisation des déjections pourra être encore plus limitée afin d'éviter la pollution des rivières et des mers ou pour protéger les Zones de Protection de l'Eau. Par exemple, le « Land » du Bade-Württemberg a proposé et appli-

Jochen Hahne
Institut für Technologie,
Bundesforschungsanstalt
für Landwirtschaft
Braunschweig-
Völkeroode,
Bundesallee 50,
D-38116
Braunschweig
Jürgen Beck
Institut für Agrartechnik
der Universität
Hohenheim, Fachgebiet
Verfahrenstechnik in
der Tierproduktion
Garbenstraße 9,
D-70599 Stuttgart
Hans Oechsner
Landesanstalt für
Landwirtschaftliches
Maschinen- und
Bauwesen an der
Universität Hohenheim,
Garbenstraße 9,
D-70599 Stuttgart

que une Ordonnance spéciale sur la Protection de l'Eau selon laquelle les éleveurs sont subventionnés pour compenser un rendement moindre dû à l'utilisation de moins d'engrais. Dans ces régions, les pratiques agricoles sont souvent déterminées par les taux de nitrates contenus dans des échantillons de terre et d'eau.

Les problèmes de pollution

La concentration moyenne des unités d'élevage (UGB = 500 kg poids vif) était de 83 en Allemagne en 1993 [2]. Environ 50 % de la demande en azote des plantes et au moins 80 % de la demande en autres éléments nutritifs (phosphore, potassium, etc.) seraient satisfaits si le potentiel nutritif des déjections était utilisé à bon escient. En d'autres termes, l'utilisation de déjections animales ne conduirait probablement pas à la pollution de l'environnement. Cependant, le cheptel allemand est principalement

concentré en Basse Saxe, au nord du Rhin, en Westphalie, en Bavière et dans la partie est du Bade-Wurtemberg (figure 1). De ce fait, plusieurs problèmes liés à l'environnement peuvent resurgir dans ces régions.

Les principaux problèmes sont :

- des surplus d'éléments nutritifs au niveau local et régional ;
- des dégagements élevés d'ammoniac en provenance des fermes d'élevage, des fosses de stockage et lors de l'épandage sur les terres ;
- l'acidification par la nitrification de l'ammoniac ;
- l'accumulation de nitrates dans la nappe phréatique et de phosphates dans le sol ;
- des dommages aux forêts ;
- l'augmentation de la salinité des sols ;
- le ruissellement d'éléments nutritifs et de produits organiques, consommateurs d'oxygène, dans les rivières et les mers ;
- la destruction des biotopes dans les milieux où l'azote est un facteur limitant (landes, terrains marécageux) ;
- l'augmentation des allergies et des affections respiratoires chez les habitants des régions où la concentration de fermes avicoles est élevée.

L'agriculture en Allemagne représente environ 50 % des pertes en azote (ammoniac et nitrates) ; 50 % de l'azote sont déversés dans les rivières par les stations d'épuration des eaux usées d'origine urbaine ou industrielle. Les pertes d'azote sous forme d'ammoniac sont très importantes. Plus de 80 % de ces pertes, soit 420 000 tonnes/an, proviennent de la production animale (élevage, stockage et épandage).

Nombre d'animaux en Allemagne

En Allemagne, le nombre total des animaux a diminué ces dernières années (tableaux 1 et 2).

En 1992, 43,4 % du cheptel bovin national (7,03 millions d'animaux) était réparti dans 9,5 % des exploitations (tableau 3).

Il est intéressant de noter que 56,7 % (plus de 15 millions d'animaux) des porcs recensés en 1992 étaient produits par seulement 5,9 % des exploitations d'élevage (tableau 4).

D'un autre côté, plus de 92 % des exploitations en Allemagne de l'Ouest et plus de 91 % de celles-ci en Allemagne de l'Est ont moins de 50 ha de terre pour épandre leur fumier (tableau 5).

Tableau 1. - Nombre d'animaux en Allemagne [2] [animaux 1000].

Espèces	1990	1991	1992	1993	1994
Bovins	19 488	17 134	16 207	15 899	15 790
Porcs	30 819	26 063	26 514	26 075	25 330
Chevaux	491	n.d.	531	n.d.	n.d.
Moutons	3 240	2 488	2 386	2 369	n.d.
Volailles*	106 054	n.d.	95 632	n.d.	n.d.

* sans compter les dindes, coqs et pintades n.d. : données non disponibles

Tableau 2. - Nombre d'animaux et d'exploitations en Allemagne [2, 3].

Année de référence	Bovins	Porcs	Chevaux	Moutons	Poules
	animaux[x1 000]				
1960	12 867	15 776	710	1 035	29 592
1975	14 493	19 805	341	1 087	51 840
1992	16 207	26 514	531	2 369	26 559
	éleveurs[x1 000]				
1960	1 226	1 668	457	57	> 1 000
1975	654	684	116	60	504
1992	349	294	89*	57*	2**
	animaux / éleveurs				
1960	10,5	9,5	1,6	18,2	< 30
1975	22,2	29,0	2,9	18,1	102,9
1992	46,4	90,2	6,0	41,6	13,28

* 1990, sans l'Allemagne de l'Est
** 1991, sans l'Allemagne de l'Est

Unités de production animale (500 kg poids utile/100 ha de terre cultivable)

□ < 40 □ 40 - 80 □ 80 - 120 □ 120 - 160 □ > 160

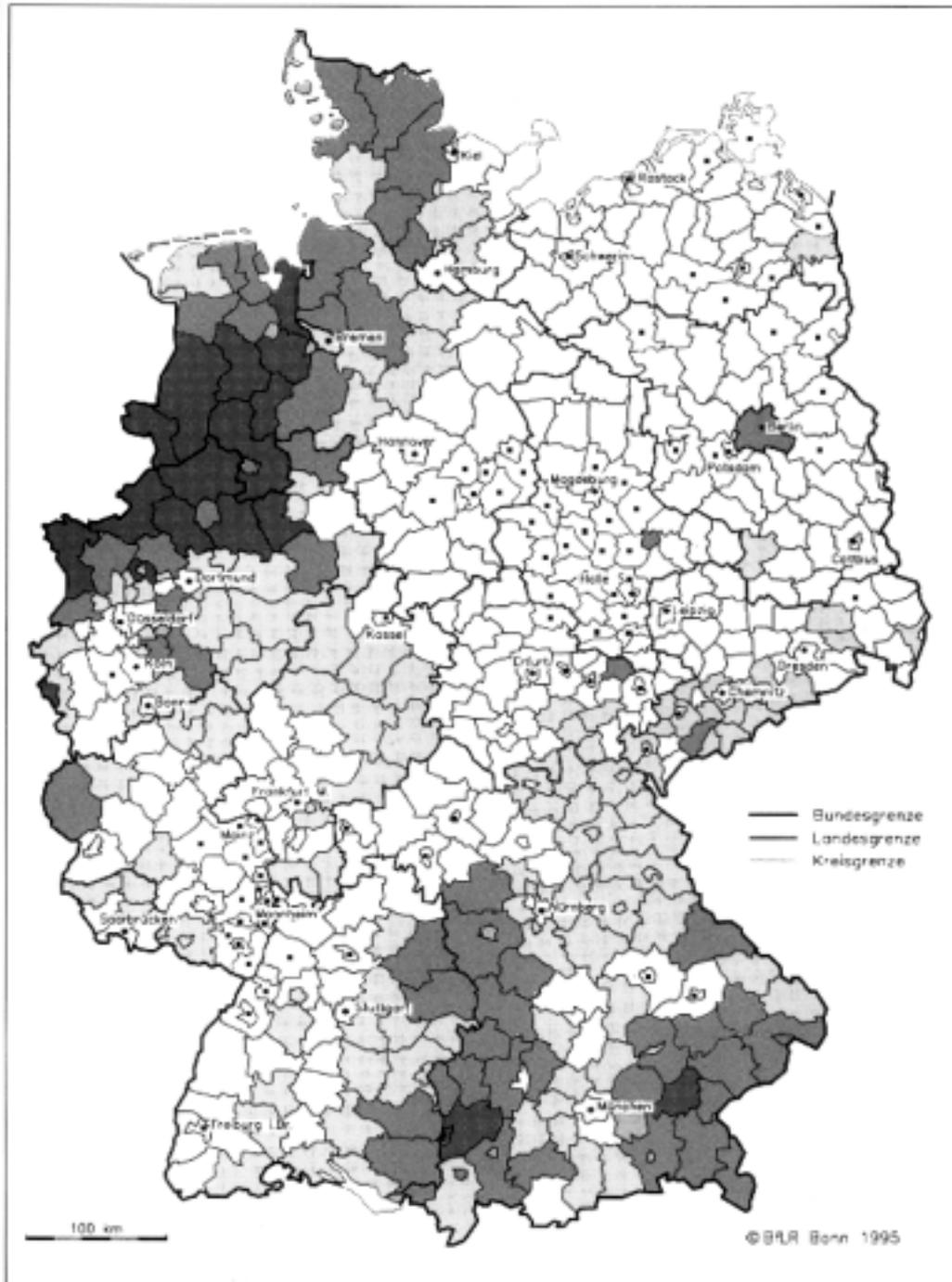


Figure 1. – Répartition du cheptel en Allemagne [1]

Bovins exploitations	Animaux-éleveurs		Bovins	
	[total]	[%]	[total]	[%]
1-2	31 351	9,0	50 035	0,3
3-4	25 173	7,2	87 787	0,5
5-9	42 463	12,1	289 265	1,8
10-14	29 953	8,6	354 762	2,2
15-19	23 449	6,7	396 236	2,4
20-29	38 107	10,9	923 261	5,7
30-39	30 310	8,7	1 037 697	6,4
40-49	25 301	7,2	1 121 013	6,9
50-59	21 030	6,0	1 139 708	7,0
60-99	49 461	14,2	3 765 447	23,3
100-199	26 410	7,6	3 478 566	21,5
200-299	3 405	1,0	800 008	49,0
> 300	3 090	0,9	2 749 824	17,0
total	349 503	100	16 193 609	100

Tableau 3. - Structure des troupeaux bovins en Allemagne en 1992 [2].

Tableau 4. - Structure des troupeaux de porcs en Allemagne en 1992 [2].

Porcs / éleveurs	animaux-éleveurs		Porcs	
	[total]	[%]	[total]	[%]
1-2	71 544	24,4	120 755	0,5
3-4	43 761	14,9	151 469	0,6
5-9	35 208	12,0	229 438	0,9
10-19	28 913	9,8	392 702	1,5
20-49	34 779	11,8	1 106 298	4,2
50-99	24 497	8,3	1 736 778	6,6
100-199	20 633	7,0	2 919 764	11,0
200-399	16 925	5,8	4 823 016	18,2
400-599	8 334	2,8	4 061 538	15,3
600-999	6 524	2,2	4 921 359	18,6
1 000-1 499	1 461	0,5	1 718 934	6,5
> 1 500	1 185	0,4	4 304 412	16,3
total	293 764	100	26 486 463	100

Quantité de déjections et leur valeur fertilisante

En 1992, la quantité totale de déjections d'origine animale produites annuellement en Allemagne a été estimée à environ 275 millions de tonnes : 82 millions de tonnes de fumier d'étable (matière sèche : 20-25 %), 175 millions de tonnes de fumier semi-liquide (matière sèche : 6-14 %) et 17,3 millions de tonnes de lisier (matière sèche : 1-2 %).

La teneur en éléments nutritifs de ces résidus peut être estimée à environ 1,29 million de tonnes d'azote et 769 000 tonnes de phosphate (P_2O_5). Si ces éléments nutritifs étaient utilisés efficacement en agriculture, près de 50 % des besoins en azote et plus de 80 % des besoins en phosphate des plantes cultivées

en Allemagne seraient satisfaits. Cependant, en réalité, la production animale, et donc celle des déjections, sont concentrées dans des régions bien définies. De ce fait, le potentiel nutritif n'est pas utilisé aussi efficacement qu'il pourrait l'être.

Prévention de la pollution de l'environnement

La première étape dans la prévention de la pollution due à la production animale est d'étudier tous les aspects de cette production elle-même et de l'utilisation faite des déjections produites, en termes d'efficacité d'un côté, et d'effets sur l'environnement de l'autre. D'une manière générale, l'effet de la production animale sur l'environnement dépend du nombre d'animaux et de leur concentration par rapport à la surface réservée à l'épandage des déjections dans le respect des bonnes pratiques agricoles. Dans les exploitations qui ne produisent pas d'excédents de déjections, son utilisation ne causera probablement pas de dommages à l'environnement, si les déjections peuvent être stockées pendant au moins six mois dans des fosses couvertes et utilisées dans des systèmes d'application modernes (systèmes de vidange ou d'injection), ou si elles peuvent être immédiatement incorporées au sol. Ces exploitations n'ont donc pas besoin de traiter les déjections. Dans certains cas (fumier de bovins à forte concentration en matière sèche), une séparation mécanique peut s'avérer utile pour éviter les blocages lors de l'épandage. Les exploitations qui produisent des excédents de déjections et, de ce fait, des excédents d'éléments nutritifs, doivent respecter les dispositions de l'ordonnance sur les engrais et de la loi sur le recyclage et les déchets (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz). Plusieurs solutions sont alors possibles :

- diminution du nombre d'animaux,
- production fourragère grâce à la culture alternée,
- alimentation adaptée,
- augmentation de la superficie de l'exploitation (location, achat),
- transport vers d'autres acheteurs (déjections traitées ou non traitées),
- diminution des éléments nutritifs par la séparation mécanique et le transport des solides,
- réduction des éléments nutritifs par le traitement physique, chimique et biologique des déjections.

Pour des raisons bien spécifiques, une désinfection des déjections peut s'avérer nécessaire (contrôle des pathogènes, gestion courante des déjections, application dans les zones de protection de l'eau). La méthode la plus efficace dépend de certaines conditions directement liées à l'exploitation (quantité de

déjections excédentaires, taille du troupeau, situation économique, main-d'œuvre, subventions possibles). Jusqu'à présent, la majeure partie des déjections excédentaires est transportée (en grande partie non traitée) vers d'autres régions ou d'autres exploitations qui ont besoin d'engrais (de la Basse Saxe, de l'Ouest de l'Allemagne vers le Mecklembourg-Poméranie-occidentale, l'Est de l'Allemagne). De plus, plusieurs techniques liées au traitement des déjections ont été développées, mais ne sont jusqu'à présent pas très utilisées du fait de la situation économique difficile dans laquelle se trouve tout ce secteur. D'une manière générale, les techniques suivantes permettent de diminuer les risques de pollution vis-à-vis de l'environnement.

■ **Séparation mécanique**

La séparation mécanique du lisier est une technique utile et moderne qui permet de réduire sa teneur en éléments nutritifs si la fraction solide peut être transportée hors de l'exploitation. L'efficacité de cette méthode dépend de plusieurs facteurs (le séparateur, le type de fumier, la teneur en matière sèche et l'âge des déjections). Dans de bonnes conditions (décanteur, déjections fraîches, concentration élevée de matière sèche), la teneur en éléments nutritifs peut être réduite d'environ 30 % - 50 % pour l'azote et 70 % pour le phosphore.

■ **Traitement anaérobie**

Le traitement mésophile et anaérobie est une méthode efficace qui permet de contrôler les odeurs, de réduire le dégagement de méthane (des fosses de stockage), de stabiliser et de produire du biogaz, mais elle ne convient pas à la réduction des éléments nu-

Zone agricole [ha]	Animaux-éleveurs		Animaux-éleveurs	
	[total]	[%]	[total]	[%]
< 5	13 436	29,4	642	71,3
5 - 10	7 403	16,2	68	7,6
10 - 50	21 296	46,6	114	12,7
50 and more	3 565	7,8	76	8,4
Total	45 700	100	900	100

tritifs. Au cours de ces dernières années, la construction d'unités de production de biogaz s'est révélée plus intéressante, car les éleveurs obtiennent (i) des subventions de l'État ou du gouvernement fédéral et (ii) des prix fixes pour l'énergie électrique qu'ils fournissent à la compagnie régionale d'électricité. Si les éleveurs peuvent utiliser la méthode appelée de co-fermentation (traitement en commun des déchets agro-industriels et municipaux et des déjections), la production des gaz biologiques pourrait devenir une solution économique puisque les éleveurs tireraient un revenu des déchets. Cependant, dans ce cas, la désinfection est nécessaire (stade thermophile ou pré-pasteurisation).

Le traitement anaérobie est intéressant pour les éleveurs qui ont un surplus de déjections, seulement si ce traitement est utilisé en complément d'autres techniques qui permettent la séparation des éléments minéraux (séparation mécanique, précipitation, ammoniacale, séchage). A cause des investissements importants et des coûts d'opération élevés, cette

Tableau 5. - Taille des exploitations d'élevage en Allemagne en 1993 [1].

Type de déjections	Espèces	Quantité [x 1000 t]	Concentration d'azote [kg/t]	Quantité totale d'azote [t]	Concentration P ₂ O ₅ - [kg/t]	Total P ₂ O ₅ [t]
Fumier d'étable	bœuf	73 000	5,0	365 000	3,5	255 500
	porc	7 400	7,0	51 800	7,5	55 500
	volaille	1 600	13,0	20 800	8,0	12 800
sous-total	-	82 000	-	437 600	-	323 800
Fumier semi-liquide	bœuf	119 000	4,0	476 000	2,0	238 000
	porc	53 000	5,1	270 300	3,3	174 900
	volaille	3 500	8,7	30 500	7,3	25 500
sous-total	-	175 500	-	776 800	-	438 400
Lisier	bœuf	13 000	4,0	52 000	0,2	2 600
	porc	4 300	5,0	21 500	0,9	3 870
sous-total	-	17 300	-	73 500	-	6 470
Total		274 800		1 287 900		768 670

Tableau 6. - Production de déjections en teneur en éléments nutritifs en 1992 [3,4].

méthode n'est accessible qu'aux grandes exploitations ou aux communautés.

■ *Traitement aérobie*

Le traitement aérobie est une technique efficace et moderne qui permet de contrôler les odeurs, de stabiliser le produit et d'éliminer l'azote. Simple et relativement peu chère (particulièrement si on compare avec les systèmes sans oxygène), cette méthode peut être une voie prometteuse d'éviter les dégagements gazeux et stabiliser les déjections. Grâce à l'utilisation de fosses de stockage couvertes, comme des réacteurs de coulée séquentiels, un procédé de nitrification/dénitrification peut être mis en place. En combinaison avec une séparation mécanique, cette technique permet une réduction des éléments nutritifs (azote et phosphore), si la fraction solide peut être transportée hors de l'exploitation ou de la région. Un problème plus général touchant les systèmes aérobies est la perte d'ammoniac pendant l'aération, ce qui peut être à l'origine de plaintes de la part des voisins proches. Il peut donc être utile de disposer de fosses couvertes pour stocker les déjections fraîches et les déjections traitées et d'installer des aérateurs diffuseurs (tubes, tuyaux, disques). Les aérateurs de surface sont à éviter car ils entraînent de plus forts dégagements d'odeurs et d'ammoniac.

En cas de nécessité, une aération intensive est aussi une bonne méthode pour désinfecter les déjections. Mais, dans ce but, au moins deux fosses de stockage sont nécessaires. Le fumier, qui contient au moins 3 % de matière sèche, est biologiquement chauffé à plus de 50°C dans le premier réacteur (bien étanche) et entreposé dans le second. Les pertes d'ammoniac peuvent être contrôlées en mesurant l'intensité de l'aération. Dans certains cas (lisier de porcs, fumier de volailles), le traitement de l'air d'échappement peut s'avérer nécessaire.

■ *Traitement complet des déjections animales*

En Allemagne, différents procédés de purification totale des déjections (afin de permettre le déversement dans les cours d'eau) sont à l'étude, soit au niveau expérimental, soit à grande échelle. Ces procédés de purification comprennent en général au moins quatre étapes (séparation, fermentation avec/sans oxygène, précipitation, osmose inverse). Les résultats actuels montrent qu'il existe des difficultés à satisfaire les normes de purification définies par les autorités locales et que les investissements ainsi que les coûts de fonctionnement sont très élevés. De ce fait, une purification quasi complète des déjections n'est envisageable que si la situation économique de ce secteur s'améliore de manière significative.

■ *Réduire l'utilisation des engrais minéraux*

Les risques de pollution de l'environnement par des surplus de déjections ou une mauvaise gestion des éléments nutritifs ne sont pas limités à l'utilisation des engrais organiques. En Allemagne, la balance d'azote révèle un surplus d'environ 90 kg/ha/an à cause de l'utilisation d'engrais organiques et minéraux. En 1994/95, 1,787 million de tonnes d'azote sous forme d'engrais minéraux ont été épandues en Allemagne [1], ce qui représente 58 % de l'azote total. Il est donc important de prévenir les risques de pollution en réduisant partiellement l'utilisation des engrais minéraux, et en les remplaçant par une utilisation efficace de l'engrais organique d'origine animale.

Aperçu des méthodes actuelles et des grands axes de recherche

■ *Réduction des pertes d'éléments nutritifs par la gestion des ressources locales (GLR) [5]*

Le terme Gestion des ressources locales (GLR) fait référence à un concept interdisciplinaire selon lequel les méthodes traditionnelles de terrains et de laboratoires en matière de pédologie sont combinées à des procédures et à des techniques modernes de géostatistique, de traitement de l'information et de positionnement à l'aide des satellites. Cette technique laisse espérer que les problèmes créés par la variabilité inhérente aux sols seront solutionnés avec succès. Ce sera également un outil pour traiter les déjections tout en respectant la variabilité des sols et les différences de composition.

■ *Pollution de l'environnement causée par l'élevage des bovins en hiver [6]*

En hiver, l'élevage des bovins peut être à l'origine de problèmes causés à l'environnement. Ne pouvant être assimilé par les plantes, l'azote s'accumule dans le sol. Des analyses complètes d'échantillons de terre prélevés près des auges de nourriture ou de boisson révèlent des niveaux très élevés, voire inacceptables, d'ammonium et de nitrates dans le sol.

■ *Dégagements d'oxyde nitreux des déjections sur les lieux de pâture*

Des études comparatives sur les dégagements d'oxyde nitreux en provenance de trois parcelles, sur lesquelles ont été appliqués des engrais différents (azote d'origine minérale, azote produit à partir d'excrément ou à partir d'urine) et de concentrations différentes (0, 130, 260 kg N/ha/an), ont été menées. Les résultats montrent que les dégagements d'oxyde nitreux augmen-

rent en fonction des sources d'azote. Les dégagements les plus forts ont été observés au printemps sur des parcelles ayant reçu des épandages d'urine.

■ *Détermination en ligne des rejets gazeux de l'industrie animale [7]*

Dans les agro-écosystèmes, les processus qui se rapportent à l'air, la faune et la flore, la terre et l'eau ainsi que les effets des uns sur les autres doivent être pris en considération. La formulation de balances d'énergie, de matériel et de momentum conduit à l'élaboration de modèles mathématiques qui permettent des simulations. Ceux-ci font ressortir des difficultés particulières. Dans les écosystèmes-air, les processus de transport sont en trois dimensions et sont influencés par les procédés stochastiques, ce qui signifie que la prédiction de la dispersion de l'odeur aux alentours des sources d'émissions ou les calculs des dérivations lors des applications de pesticide sont des travaux cruciaux. Cependant, des méthodes pratiques restent à définir afin d'apporter des définitions concrètes qui permettent des pratiques administratives normalisées ainsi que l'évaluation et la minimisation des dégagements agricoles. À l'Institut, des simulations de circulation d'air et de concentration à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments agricoles peuvent être faites dans des souffleries ou par des méthodes numériques.

■ *Diminution des pertes d'azote en automatisant la distribution longitudinale et transversale de l'application du lisier ; optimisation de la prise de mesures, du dispositif de commande et des unités de contrôle [7]*

Le but de ce projet est de réduire les pertes d'azote pendant l'épandage du lisier en automatisant l'application. Un appareil test a été construit à l'Institut pour permettre des simulations à partir des différentes conditions qui peuvent surgir lors de l'épandage.

■ *Comparaison et développement de plusieurs systèmes de logement pour engraisser les porcs en mettant l'accent sur la protection de l'environnement et le bien-être de l'animal [11]*

Les émissions potentielles et le bien-être de l'animal ont été les deux facteurs considérés lors d'une étude comparative de plusieurs systèmes de caillebotis (plancher à lames, étable à litière profonde, étable à compost, étable avec système de circulation de paille). Les résultats démontrent que les systèmes de caille-

botis avec plancher à lames conduisent à de plus faibles dégagements d'ammoniac et d'azote. Les litières biomaîtrisées (compost) semblent exiger une main-d'œuvre importante et une gestion difficile, et semblent présenter des problèmes liés aux rejets gazeux et au bien-être des animaux. Les systèmes de litière profonde, qui sont peu onéreux, permettent une croissance satisfaisante de l'animal, des rejets gazeux relativement faibles, mais peuvent présenter des problèmes liés au bien-être de l'animal. Le système de circulation de paille semble être un bon compromis entre main-d'œuvre, bien-être de l'animal et protection de l'environnement.

■ *Traitement biologique de l'air des logements des animaux avec récupération de l'azote [8]*

En Allemagne, les dégagements d'ammoniac issus des bâtiments d'élevage représentent environ 100 000 tonnes/an. Dans les régions où la concentration des bâtiments est importante, les risques de pollution liés aux dégagements d'ammoniac (acidification, eutrophication, production de N_2O , diminution de la vitesse d'assimilation des plantes) d'un côté, et les problèmes respiratoires de l'autre, sont en nette progression. Le traitement de l'air des bâtiments peut être une façon intéressante de réduire ces impacts sur l'environnement. Les problèmes liés aux biofiltres sont la nitrification et l'accumulation d'ammonium dans le filtre, qui réduisent son efficacité. Un système de traitement de l'air avec colonnes de lavage pour récupérer l'azote, et biofiltres pour réduire les odeurs, a été développé et sera opérationnel en 1996.

■ *Dégagements d'oxyde azoteux et de méthane (CH_4) pendant le stockage et le traitement des déjections [8]*

Le but de ces travaux est de déterminer les facteurs physiques et chimiques qui affectent les dégagements de méthane et d'oxyde nitreux pendant le stockage et le traitement du lisier et du fumier de porcs et de bovins. Les paramètres les plus importants sont la température, l'humidité, le taux d'oxygène, le pH, la circulation de l'air, les acides organiques volatils et les composés azotés organiques ou minéraux. Les résultats fournissent une base pour réduire les rejets gazeux des exploitations d'élevage. Les dégagements de dioxyde de carbone et d'ammoniac sont également étudiés. Les travaux sur le traitement du fumier sont centrés sur le compostage de la fraction solide des déjections. Une évaluation des dégagements d'oxyde nitreux et de méthane devrait être possible au niveau régional ou national à partir des données prises sur le terrain.

■ *Compostage des déjections animales [8]*

Le but de ce projet de recherche est de :

- caractériser le métabolisme et la respiration pendant le compostage/stockage ;
- déterminer les quantités de gaz (N_2O , CH_4 , NH_3) produites pendant le compostage/stockage ;
- développer des procédés de compostage.

Les essais ont été faits en laboratoires, dans des usines pilotes et à grande échelle.

Les principaux résultats sont :

- Les dégagements d'azote (sous forme de NH_3) peuvent être supérieurs à 60 % de l'azote total du fait de la teneur élevée des déjections en azote ammoniacal, et des températures élevées observées lors du compostage et du stockage de la fraction solide des déjections ($> 70^\circ C$).
- Lors du compostage des déjections en présence d'oxygène (teneur en O_2 de l'air de sortie $> 18\%$), des pochettes anaérobies se forment toujours avec production de CH_4 et de N_2O . Le plus fort taux de N_2O a été trouvé au sein de substrats humides présentant des conditions optimales de nitrification et de dénitrification.
- Le problème essentiel rencontré lors du compostage de la fraction solide est l'important rejet d'ammoniac dans l'environnement. Il est donc nécessaire d'utiliser des réacteurs de compostage fermés les dix à quatorze premiers jours et d'épurer l'air de sortie.

■ *Usines pilotes de traitement des déjections compatibles avec la protection de l'environnement*

Dans plusieurs régions où la concentration de exploitations d'élevage est élevée, ainsi que dans plusieurs exploitations en Allemagne, il existe un surplus de déjections qui ne peut être épandu dans les champs sans polluer l'environnement. Une solution à ce problème est de traiter ces déjections, car les longs transports d'une région à une autre ne sont souvent pas bien acceptés par les éleveurs ni d'ailleurs permis par les autorités.

De ce fait, le ministère fédéral de l'Éducation, des Sciences, de la Recherche et des Technologies a financé la construction et le fonctionnement de cinq usines pilotes de purification partielle ou complète des déjections avec récupération des éléments nutritifs. Trois usines doivent parvenir à produire un effluent qui peut être déversé dans un cours d'eau et deux des usines ont été construites dans le but de purifier partiellement les déjections, de réduire leur teneur en éléments

nutritifs afin de pouvoir les utiliser en agriculture. Une des usines fonctionne avec des substrats provenant de l'industrie, ce qui permet de réduire les coûts de traitement et d'augmenter la production de gaz.

Tous les procédés comprennent plus de quatre étapes pour récupérer, détruire, convertir ou concentrer les éléments organiques ou minéraux. La différence entre les différentes usines pilotes dépend du type et de la séquence des procédés biologiques, chimiques, thermiques et mécaniques employés.

La caractéristique de trois d'entre elles est l'utilisation d'une méthode de dégazage (stripping) pour l'élimination de l'ammoniac. Dans les autres usines, une méthode d'évaporation et une méthode d'osmose inverse sont employées pour purifier la fraction liquide et pour concentrer les éléments. Ces derniers sont concentrés sous forme d'engrais solides ou liquides pouvant être appliqués par l'éleveur au moment voulu selon les méthodes conventionnelles.

Toutes les usines pilotes sont supervisées par l'Institut de technologie. Leur évaluation sera achevée courant 1997.

■ *Traitement thermophile et aérobie pour récupérer les éléments nutritifs et désinfecter les lisiers [8]*

L'Institut de technologie a développé un procédé de traitement en réponse aux problèmes causés à l'environnement par des surplus de lisier au niveau local et régional et également à la suite de l'adoption d'une nouvelle législation. Le but principal de ce traitement est de permettre la récupération des éléments et leur enrichissement sous forme de concentré, rendant ainsi leur transport vers les régions en manque de lisier plus économique. Les étapes de ce procédé sont : la séparation mécanique (séparateur à vis de serrage), la fermentation aérobie thermophile et la centrifugation finale (décanteur). La séparation préliminaire est nécessaire pour :

- éviter les blocages pendant la fermentation ;
- séparer les éléments grossiers qui ne peuvent être dégradés ;
- séparer les éléments insolubles (azote et phosphore organiques) ;
- améliorer l'efficacité du transfert d'oxygène (diminuer la viscosité).

Le lisier séparé est aéré dans des réacteurs étanches qui reçoivent jusqu'à $20\ m^3/h$ d'air par m^3 de lisier/heure. A cause des conditions de contrôle des pathogènes, le lisier transite au minimum vingt-quatre heures dans les réacteurs biologiques. Un contrôle efficace de la mousse justifie de tels apports d'oxygène. En cours d'aération,

la température du lisier s'élève à 72° C à cause de l'activité biologique, et le pH s'élève à 9,5. De ce fait, l'ammoniac peut être enlevé du fumier et récupéré dans une colonne d'épuration à l'aide d'acide sulfurique. Le sulfate d'ammonium est un engrais liquide qui peut être utilisé en agriculture. Ce procédé d'aération permet également de :

- désinfecter le lisier,
- d'éviter les odeurs lors du stockage et de l'épandage,
- d'améliorer l'homogénéité du fumier.

Du fait de la législation allemande, il peut être nécessaire de réduire la teneur en phosphore du lisier. Dans ce cas, le lisier traité selon cette méthode est centrifugé par un décanteur. La fraction solide obtenue par la séparation et la centrifugation est compostée et transportée hors de la région, alors que la fraction liquide est utilisée par les agriculteurs de la région.

■ *Rassemblement des données dans les usines de biogaz du Bade-Württemberg [9]*

Soixante et onze usines agricoles de gaz biologiques sont recensées en Bade-Württemberg. Leur nombre a considérablement augmenté ces dernières années, car les conditions d'encadrement économique et légal ont été améliorées. L'achat d'électricité produite à partir des biogaz est assuré et est remboursé à taux fixe. De plus, il est possible d'obtenir davantage de gaz avec des substances résiduelles organiques et de faire un profit grâce à l'évacuation des déchets.

La plupart des usines de biogaz en fonctionnement de nos jours ont été financées sur des fonds publics, mais il n'existe presque pas de données concernant leur fonctionnement. La mise en œuvre d'une nouvelle méthode de collecte de données devrait remédier à cela et devrait également définir la marche à suivre concernant les usines de biogaz. Des principes concernant la performance et la sécurité de fonctionnement de ces usines devraient ensuite être formulés. Cela signifie qu'à l'avenir, les éleveurs intéressés pourront recevoir des conseils et être informés des points faibles de certains systèmes.

■ *Fermentation du lisier et des déchets alimentaires*

L'addition de substances résiduelles organiques dans les usines de biogaz agricoles contribue, en général, à améliorer leur efficacité. Cependant, de nos jours, peu de renseignements concernant la co-fermentation sont disponibles. Des premiers travaux ont été menés à l'Institut de génie agricole avec de l'huile végétale (farine de colza). Le but de ces travaux était de déterminer les quantités de gaz produites en ajou-

tant 25 ou 50 % de déchets alimentaires au lisier. En plus des différentes concentrations de déchets, plusieurs températures de fermentation ont été choisies. Six fermenteurs de 16 litres ont fonctionné à des températures mésophiles (35° C) et six autres fermenteurs à des températures thermophiles (55° C). A cause de l'importance particulière des déchets alimentaires dans la transmission d'infections épidémiques chez les animaux, des tests de microbiologie et des tests sanitaires ont été menés par l'Institut pour l'hygiène animale et pour l'environnement de l'université de Hohenheim.

Alors que la fermentation du lisier de bovins permet la production de 320 et 250 l biogaz/kg de matière sèche (MS) et par jour, cette quantité a augmenté après l'addition de 25 % de déchets alimentaires pour atteindre 500 et 540 l/kg MS/j. L'addition de 50 % de cette substance résiduelle a quelquefois provoqué des dysfonctionnements, mais a aussi conduit, de temps à autre, à une production record de 710 l/kgMS/j.

Aucune salmonelle n'a été détectée dans l'option mésophile après six jours de fermentation tandis que l'option thermophile élimine toute trace de salmonelle au bout de deux heures. Afin de vérifier ces résultats, des tests de procédures, des tests de microbiologie et des tests sanitaires sont menés dans deux usines de biogaz.

■ *Bilan d'énergie d'une usine de biogaz avec production de chaleur et d'électricité [10]*

Il est certain que le traitement anaérobie du lisier et d'autres déchets organiques n'est économiquement intéressant que si le méthane produit est utilisé comme carburant pour un moteur à biogaz permettant de faire fonctionner un générateur d'électricité et de chaleur. L'électricité est utilisée pour remplacer la demande en électricité des exploitations, particulièrement pendant les heures de la journée où le tarif fort est appliqué. Le surplus est transmis au réseau public, représentant ainsi une source supplémentaire de revenu pour l'exploitation. Puisqu'il n'existe pas de données correctes et détaillées se rapportant à l'équilibre entre la production et la consommation d'énergie (chaleur et électricité), les flux d'énergie d'une usine de biogaz (volume du fermenteur : 190 m³) avec production de chaleur et d'électricité ont été mesurés et comparés à ceux de la compagnie qui fournit l'électricité locale. En moyenne, 7 % de l'énergie générée sont nécessaires au procédé, 71 % viennent en remplacement de l'électricité fournie par la com-

pagnie locale et 22 % de l'énergie sont transmis au réseau public.

■ **Tests de décontamination du lisier grâce à la stabilisation thermophile et aérobie et à la fermentation thermophile et anaérobie [9]**

Pour des raisons d'hygiène, en Bade-Württemberg, il est interdit d'épandre le lisier dans les régions proches des zones de protection d'eau. Cette interdiction constitue un problème majeur pour tous les éleveurs, propriétaires de terrains situés dans la zone de protection. Deux usines de traitement seront construites pour voir jusqu'à quel point et dans quelles conditions il est possible de détruire les *cryptosporidium* ainsi que d'autres germes pathogènes par la stabilisation thermophile et aérobie ou le traitement thermophile et anaérobie.

Pour cette étude, une usine à deux niveaux d'aération sera construite en 1996 dans laquelle le lisier sera continuellement aéré. La chaleur est produite par la décomposition microbienne des substances organiques. La température du lisier peut atteindre de 50 à 70° C. L'usine sera construite de manière à exposer le lisier à une température de plus 50° C pendant au moins 24 heures.

La deuxième usine sera une usine de biogaz qui fonctionnera à température mésophile (55° C). Dans ce cas, le lisier sera aussi conservé à l'intérieur du réacteur pendant au moins 24 heures. Les données concernant les techniques, les procédures ainsi que les données concernant la microbiologie et la salubrité seront recueillies au cours de ces deux expériences.

■ **Séparation mécanique du lisier [9, 10]**

Depuis 1980, la séparation joue un rôle important dans la stratégie de l'Institut en matière de traitement du lisier. Le but est de réduire son impact négatif sur l'environnement en cas de stockage de quantités importantes et d'excédent d'éléments nutritifs.

Grâce à des études approfondies des différentes techniques de séparation telles que les tamis à bol, les filtres-presses ou les centrifugeuses décanteurs, qui font partie d'un système récent, il a été démontré que le séparateur à vis et à presse était non seulement la technique la plus flexible et la plus robuste, mais aussi celle qui offrait le meilleur rapport qualité/prix. La teneur en matière sèche de la fraction solide peut facilement être réglée (jusqu'à 32 % de matière sèche) afin de satisfaire les besoins des agriculteurs : compostage, évacuation d'un maximum d'éléments, une meilleure homogénéisation, une plus grande capacité de stoc-

kage, etc. L'objectif est de trouver et de quantifier les facteurs de base qui affectent le processus de déshydratation afin de pouvoir mettre en œuvre et adapter des techniques pour un transfert contrôlé des éléments vers la phase solide ou liquide.

■ **Le compostage [10]**

Les buts du compostage sont, entre autres, de stabiliser l'azote dans les déchets d'origine animale, c'est-à-dire d'en empêcher la volatilisation et le lessivage, de désinfecter le substrat et de réduire son volume.

Compostage dans des réacteurs

Pour surmonter les difficultés rencontrées dans le contrôle du procédé de compostage dans les andains, des travaux ont été menés pour déterminer les facteurs qui influencent les dégagements d'ammoniac. Lors de ces travaux, six réacteurs de laboratoires ont été utilisés (60 cm de haut, 40 cm de diamètre). Les réacteurs étanches ont été aérés de force. Les dégagements d'ammoniac dépendent de la température qui est positivement corrélée avec l'air et l'humidité du substrat. De grands rapports C/N réduisent les pertes en ammoniac. Du côté sanitaire, les meilleurs effets ont été obtenus avec des taux modérés d'aération. Les substrats peuvent être compostés en dix jours avec des pertes en NH₃ de 0,2 % en laboratoire. Dans des usines pilotes (volume du réacteur = 20 m³), le compostage a été réalisé avec un flux presque continu du substrat, ou encore avec un système de coulée, ou avec une recirculation de substrat. Le procédé a été automatiquement contrôlé. Les pertes en ammoniac de l'ordre de 8,3 % ont été mesurées et la majeure partie de la fraction d'azote sous forme d'ammonium a été stabilisée dans la biomasse.

Compostage dans des andains

Pour mesurer les dégagements de gaz (NH₃, CH₄, CO₂) à partir d'andains non aérés, le substrat a été recouvert d'une toile semi-perméable et les gaz émis ont été extraits par un ventilateur. Les échantillons de gaz ont été recueillis et analysés dans le but d'obtenir des informations sur les paramètres affectant les dégagements de gaz nuisibles, la stabilité et la qualité du produit.

■ **Dégagements de gaz à partir des bâtiments d'élevage [10]**

Les dégagements de NH₃ ont été mesurés en laboratoire dans un tunnel de ventilation soumis à différentes conditions telles que la température, la vitesse de circulation de l'air, le pH, la concentration d'ammoniac, etc. Les dégagements de NH₃ des bâtiments de porcs ont été étudiés avec différents systèmes d'aération (extraction sous plancher ou au-dessus du plancher) ; des hypothèses pour les minimiser ont été élaborées.

La réduction des dégagements d'ammoniac grâce aux épurateurs biologiques est un autre sujet de recherche qui a démontré que cette technique n'était pas efficace quand il s'agissait de dégagements d'ammoniac, mais l'était suffisamment pour épurer les odeurs de l'air de sortie. Le projet se poursuit avec des filtres biologiques.

La répartition des odeurs dans un abri pour bovins a été étudiée et un modèle a été créé dans la région du Bade-Württemberg dans le but de déterminer si la nouvelle législation se rapportant à la distance qui doit exister entre un bâtiment et le plus proche voisinage non agricole était réaliste.

Les rejets gazeux des gaz à effet de serre et les rejets d'ammoniac d'une étable de vaches laitières avec ventilation naturelle et ventilation artificielle ont été étudiés.

Les rejets gazeux des serres et les rejets d'ammoniac pendant et après l'épandage du lisier ont fait l'objet d'un autre projet de recherche. Les tunnels de ventilation et les chambres de mesures ont les instruments utilisés pour évaluer les différentes techniques d'application.

Conclusions

Le cheptel allemand est caractérisé par un nombre élevé d'animaux concentrés dans des régions données. L'intensification de la production animale est source de pollution pour l'environnement, et ces problèmes de pollution ne sont toujours pas résolus. La réduction des rejets d'ammoniac est considérée comme un facteur important dans la prévention de la pollution. Même si de nombreuses techniques permettant de réduire l'impact de ces dégagements sur l'environnement existent, quelques-unes seulement sont utilisées dans la pratique. La situation économique difficile dans laquelle se trouve ce secteur est un obstacle important à l'utilisation de ces techniques. D'autres projets de recherche doivent prendre en compte la réduction des éléments nutritifs, l'amélioration de l'efficacité des éléments nutritifs, ainsi que des alternatives raisonnables pour réduire la pollution. La réduction de la pollution causée par l'élevage n'est probablement réaliste que si la situation financière de ce secteur s'améliore vraiment. □

Résumé

L'élevage est un élément important de l'agriculture en Allemagne. Plus de 65 % des bénéfices de ce secteur viennent de la production animale. Les risques de pollution de l'environnement deviennent de plus en plus importants du fait d'une part, de l'augmentation du nombre d'animaux entre 1960 et 1990 et, d'autre part, au développement de l'élevage intensif dans certaines régions d'Allemagne. Cet article résume brièvement la situation de l'élevage et les principaux aspects légaux concernant la gestion des déjections ainsi que les grands axes de recherche. L'accent est mis sur l'impact de la production animale sur l'environnement. L'article se termine par une discussion sur les solutions qui permettent de prévenir les risques de pollution.

Bibliographie

- [1] Agrarbericht der Bundesregierung 1995 und 1996 (Agro-report of the Federal Government of Germany 1995 and 1996)
- [2] Statistisches Bundesamt: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Fachserie 3, Reihe 1. Ausgewählte Zahlen für die Agrarwirtschaft 1993 (Representative values of agriculture). Wiesbaden 1995.
- [3] Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau (Average values of agriculture and horticulture), 12. Auflage. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup 1993.
- [4] Söntgerath, B.; Döhler, H.; Kuhn, E.: Wirtschaftsdüngeranfall (Manure quantities). Landtechnik 47 (1992), Heft 7/8, S. 389-392.
- [5] Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig (Institute for Plant Nutrition and Soil Science, Federal Agricultural Research Centre)
- [6] Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig (Institute for Grassland and Forage Research, Federal Agricultural Research Centre)
- [7] Institut für Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig (Institute for Biosystems Engineering, Federal Agricultural Research Centre)
- [8] Institut für Technologie, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig (Institute for Technology, Federal Agricultural Research Centre)
- [9] Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen an der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart
- [10] Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Tierproduktion und Landwirtschaftliches Bauwesen, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart
- [11] Institut für Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig (Institute for Agricultural Building Research)

Jochen Hahne est biologiste et a rejoint le Centre de recherche en agriculture en 1991. Ses spécialités sont les biotechnologies et le développement de systèmes de traitement des eaux usées, de l'air et des déchets solides. Il a développé à partir, de différentes techniques, un système de traitement du lisier qui permet de réduire sa teneur en éléments nutritifs. Grâce à ses recherches, une usine a été construite.

Jürgen Beck a étudié les sciences agricoles (production animale) à l'Université de Bonn. Il a ensuite travaillé sur un système automatique d'alimentation liquide à l'Université de Kiel (Ph.D en sciences agricoles). En 1989, il a rejoint l'Institut de génie agricole de l'Université de Hohenheim pour travailler en tant que conseiller académique sur le traitement des déjections, la préservation de l'alimentation, les techniques de logement et de nutrition et pour enseigner ces sujets. Son but est de réduire les impacts négatifs de la production animale sur l'environnement et sur le bien-être des animaux.

Hans Oechsner a étudié les sciences agricoles (génie agricole) à l'université de Giessen et à l'Université de Hohenheim. Il a ensuite travaillé sur la conservation des grains humides. Depuis 1988, il se consacre à l'étude des systèmes de traitement du lisier. Il a développé sa thèse de doctorat sur la stabilisation thermophile et aérobie du lisier et la destruction des pathogènes. Depuis 1990, il est chercheur à la Station de recherche expérimentale sur les équipements motorisés et sur la structure des fermes de l'université de Hohenheim. Il travaille sur l'intégration des systèmes de traitement des déjections, le biogaz et le biodiesel dans les pratiques agricoles. Il conseille également les agriculteurs.