

ITADA

Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landbewirtschaftung



1996-1999

RAPPORT FINAL DU PROJET ITADA A 1.1

GESTION DES DEJECTIONS ANIMALES ET MAITRISE DE LEUR IMPACT SUR LA DYNAMIQUE DE L'AZOTE

Chef de projet : F.J. Kansy, Dr. Vetter, (IfUL) Müllheim

Partenaires : F. Juncker-Schwing, (AGPM) Colmar
R. Koller, (ARAA) Schiltigheim

Associés : Staatl. Landw. Untersuchungs- u. Forschungsanstalt Augustenberg (LUFA)
Technologiezentrum Wasser Karlsruhe (TZW)
Freiburger Energie- und Wasserversorgungs AG (FEW)
Regierungspräsidium Freiburg (RP)
Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Freiburg
Service d'Utilité Agricole et de Développement (SUAD)
Etablissement Départemental de l'Élevage (EDE) Haut-Rhin et Bas-Rhin

Etude cofinancée par l'initiative communautaire INTERREG II "Rhin Supérieur Centre Sud"

Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim (IfUL)
Association Générale des Producteurs de Maïs (AGPM)
Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA)

Secrétariat ITADA : 2 allée de Herrlisheim, F- 68000 COLMAR
Tel.: 0(033)3 89 22 95 50 Fax : 0(033)3 89 22 95 59 E-Mail : itada@wanadoo.fr

SOMMAIRE

1. Introduction générale	p 2
2. Positionnement du problème	p 3
3. Connaissances acquises	p 3
4. Buts du projet	p 6
5. Description du projet	p 7
RESULTATS	
PARTIE A : enquête sur l'élevage des régions Alsace (diagnostic régional élevage et environnement) et du sud du Bade Wurtemberg	p 8
Partie conduite en Bade-Wurtemberg	p 8
A 1.1 Objectifs	p 8
A 1.2 Méthodes	p 8
A 1.3 Résultats	p 8
A 1.4 Conclusions	p 9
Partie conduite en Alsace	p 10
A 2.1 Situation initiale et objectifs	p 10
A 2.2 Méthodes : un diagnostic en plusieurs étapes	p 11
A 2.3 Résultats obtenus	p 12
A 2.3.1 Atlas de l'élevage en Alsace	p 12
A 2.3.2 Typologie des systèmes de production.....	p 13
A 2.3.3 Diagnostic technique sur les moyens et pratique de gestion de l'azote.....	p 14
A 2.4 Conclusion : les perspectives d'usage du diagnostic régional	p 16
A 3 Conclusion générale	p 18
PARTIE B : valorisation de l'azote en situation difficile et consolidation de la grille régionale dans les systèmes d'élevage	p 19
B 1 Buts	p 19
B 2 Méthodes adoptées	p 20
B 3 Résultats	p 21
B 3.1 Valorisation de l'azote en situation difficile	p 21
B 3.2 Consolidation de la grille régionale de fourniture dans les systèmes d'élevage	p 25
B 4 Conclusions	p 28
B 4.1 Conclusion sur la valorisation de l'azote en situation difficile	p 28
B 4.2 Conclusion sur la consolidation de la grille régionale de fourniture dans les systèmes d'élevage	p 29
PARTIE C : faisabilité des apports d'automne en lisier sur sol moyennement filtrant et sur sol peu filtrant	p 30
C 1 Introduction	p 30
C 2 But	p 30
C 3 Méthodologie et suivis mis en place	p 30
C 4 Résultats des expérimentations	p 33
C 5 Conclusion	p 42
PARTIE D : dynamique de l'azote dans des parcelles de maïs fourrage recevant des déjections animales	p 43
D 1 Objectifs	p 43
D 2 Méthodes	p 43
D 3 Résultats	p 50
D 4 Conclusions	p 56
6 Résumé général	p 57
7 Références bibliographiques	p 64

ITADA

PROJET : A 1.1.

THEME : Gestion des déjections animales et maîtrise de leur impact sur la dynamique de l'azote

CHEF DE PROJET : F.J. Kansy, Dr Vetter - IfUL Müllheim D

PARTENAIRES : R. Koller, M.L. Burtin - ARAA Schiltigheim F
F. Junker-Schwing - AGPM Colmar F

ORGANISMES ASSOCIES :

D : Institut national d'analyses et de recherche Augustenberg (LUFA)
Centre de technologie de l'eau Karlsruhe (TZW)
Société de distribution de l'eau et de l'énergie de Freiburg AG (FEW)
Regierungspräsidium Freiburg (RP)
Bureaux de l'agriculture et de l'entretien de l'espace rural et des sols de Freiburg

F : Institut de l'élevage (Paris)
Chambres départementales d'agriculture du Bas-Rhin et du Haut-Rhin, SUAD et EDE.

DUREE DU PROJET : 1996 - 1998.

INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction

Les transformations des structures des exploitations et des circuits de commercialisation exercent une influence décisive sur l'agriculture d'aujourd'hui. Un autre facteur décisif est la montée permanente des exigences en une production durable et respectueuse de l'environnement. Pour ce qui concerne la durabilité et la préservation de l'environnement, les facteurs de production sol et eau occupent une place primordiale. Ces éléments s'expriment dans le champ réglementaire de l'Union européenne (UE) mais aussi dans ceux des différents pays (cf. décret SchALVO en Bade-Wurtemberg, le décret sur la production intégrée en Suisse et les décrets d'application de la directive européenne sur les nitrates et le code des bonnes pratiques en France), et de plus en plus dans le travail de coopération transfrontalière. Souvent, les démarches engagées au niveau national n'offrent pas à elles seules des solutions complètes aux problèmes posés dans des domaines aussi complexes que l'environnement, l'organisation et le développement de la commercialisation des produits agricoles et du tourisme. A partir de ce constat, des activités transfrontalières de protection de la nappe phréatique du Rhin supérieur (une des plus vastes d'Europe), ont été bâties entre le Bade-Wurtemberg et l'Alsace, dans le cadre du programme communautaire INTERREG. La problématique de l'azote a été l'axe principal de travail qui a été retenu dans le domaine de l'environnement.

Cette problématique occupe dans la plaine du Rhin supérieur une position particulière de plusieurs points de vue. Des efforts sont réclamés aux représentants de la profession agricole en faveur d'une agriculture respectueuse de l'environnement et avant tout de la nappe

phréatique. De nouvelles exigences sont donc posées aux agriculteurs. Dans une période de relative opulence en produits alimentaires et de croissance régulière de la conscience environnementale des consommateurs, ces données ne peuvent que prendre encore plus d'importance. C'est pourquoi les scientifiques et les politiques sont mobilisés avec l'agriculture dans la recherche de solutions et la démonstration des possibilités de transfert dans la pratique de solutions éprouvées, le tout par des voies adéquates.

Le recours à l'introduction raisonnée et conforme aux codes de bonne pratique de matières fertilisantes d'origine animale représente d'un côté une amélioration des ressources et de l'autre côté une économie considérable.

2. Position du problème

La mise en évidence du besoin de recherche régionale et la mise en œuvre d'une recherche appliquée orientée vers la pratique est une des missions de l'ITADA.

Un des nombreux projets de l'ITADA qui cherche à développer sur le territoire du Rhin supérieur Centre-Sud des pratiques respectueuses de l'environnement mais permettant d'atteindre les potentialités des cultures pour conserver la rentabilité des productions, s'est intéressé à la thématique de la gestion des effluents d'élevage. Ce projet franco-germanique portait le titre suivant :

Projet A 1.1 : gestion des déjections animales et maîtrise de leur impact sur la dynamique de l'azote.

Les exploitations d'élevage occupent pour la problématique de l'azote une place particulière de deux points de vue : un épandage des déjections animales respectueux de l'environnement, et avant tout de la qualité de l'eau, réclame d'un côté des efforts particuliers et signifie d'un autre côté un recours à des engrais de ferme qui comportent des éléments fertilisants particulièrement bon marché. Il se pose la question de rechercher un système de culture qui assure une meilleure valorisation des déjections animales par la mise en pratique des techniques actuelles et qui en même temps occasionne un plus faible risque de lessivage de nitrates vers les eaux souterraines. Pour ces raisons, les parcelles de maïs recevant des effluents d'élevage doivent faire l'objet de suivis intensifs afin de pouvoir prodiguer des conseils fiables pour la conduite de la culture.

3. Connaissances acquises

L'azote occupe parmi les éléments nutritifs des plantes une place dominante suite à son importance en temps que constituant de base indispensable à la vie végétale (31).

Il a donc été au cœur des préoccupations de la recherche et d'innombrables travaux ont été conduits sur l'azote depuis la constitution des premières chaires d'enseignement de l'agriculture. Dès le départ, l'importance des engrais de ferme pour le maintien de la fertilité des sols a été mise en évidence et a fait l'objet de recherche intensive (entre autres travaux de A.Thauer, E.A. Mitscherlich, J.v. Liebig).

Le fait qu'il soit nécessaire de poursuivre les recherches n'est donc pas uniquement le fait des changements intervenus dans la réglementation des pratiques agricoles (23-26). La recherche sur l'azote en temps que fertilisant des plantes a intégré une nouvelle dimension depuis les années 80. La volonté d'orienter l'activité agricole vers un meilleur respect des ressources

naturelles a réclamé que l'on s'intéresse de plus près aux effets de l'azote sur l'environnement (5,9,21). Dans cette démarche, les effluents d'élevage et leur bonne valorisation occupent une position importante (10,20). C'est ainsi qu'entre autres, on s'est orienté vers la recherche de systèmes de cultures biologiques qui renoncent à l'utilisation de fertilisants azotés de synthèse (voir le rapport du projet ITADA A 1.5). La réhabilitation des engrais de ferme comme une source d'azote très intéressante est également en cours dans l'agriculture conventionnelle pour partie à cause de la pression exercée suite à de nombreux exemples de dégradation de la qualité des ressources souterraines.

Comme exemple des nombreux travaux réalisés au début des années 90 non plus sur le rôle de l'azote en temps qu'élément fertilisant mais en temps que source potentielle de pollution pour l'environnement, on citera en exemple ceux de Brandhuber et Hege (8,1991) : les résultats des investigations menées ont démontré en situation d'agriculture conventionnelle, que la concentration en nitrates de l'eau qui percole sous les parcelles d'exploitations d'élevage était de 79 mg/l, soit plus élevées de 37 mg/l que celle de l'eau qui s'infiltre sous les parcelles d'exploitations sans élevage. Côté français, pour ce qui concerne les concentrations en nitrates de l'eau qui percole sous les parcelles d'exploitation d'élevage, on peut citer les travaux géographiquement les plus proches réalisés par l'INRA de Mirecourt (39 et 40, Benoit, 1995 et 1998).

Bach (5,1989) fait état d'excédent d'azote très important qu'il évalue à environ 200 kg N/ha. Un autre groupe de chercheurs (28-30, Rödelsberger, Rohmann, 1994 et 1995 ; 25 Quadflieg, 1994) s'est également préoccupé de l'azote sous l'angle de la problématique des atteintes à la qualité de l'eau et a cherché à élaborer des solutions souvent complexes pour arriver à réduire la charge en nitrates de l'eau souterraine et assainir l'eau distribuée. Côté français, des états des lieux en matière d'excédents ont été réalisés notamment au travers des enquêtes "diagnostics" menées en Alsace en préalable à la mise en place d'opérations Ferti-mieux, en utilisant la méthode "Balance" développée par M. Benoit de l'INRA Mirecourt (38, Benoit, 1992).

Effet du travail du sol

Un autre groupe de chercheurs s'est intéressé aux effets à long terme de différents systèmes de travail du sol (18, Kersebaum, 1989 ; Knittel et al., 1988) et au lessivage de l'azote par l'eau drainée (16,17, Harrach, Richter 1994) et a montré sur une période de 12 ans dans un site dans le Pré-Palatinat, que les cultures réagissaient de différentes manières en fonction du travail du sol, notamment au niveau du rendement : la betterave à sucre réagit négativement à une réduction du travail du sol même si par une augmentation de la fertilisation azotée on arrive à compenser les effets négatifs. Pour le blé, un effet variable a été enregistré : tandis que pour des faibles apports en azote, la réaction sur le rendement était favorable aux variantes avec labour, en présence d'une fertilisation azotée élevée, les performances des variantes avec un travail superficiel du sol s'avéraient les meilleures. Pour le maïs grain et l'orge d'hiver, la supériorité du travail superficiel du sol était aussi mise en évidence pour les niveaux de fertilisation azotée réduits. La réduction du travail du sol a aussi une influence positive sur les teneurs en azote minéral des horizons de surface des sols et leurs pouvoirs de minéralisation en azote de par une activité biologique plus importante, tandis que la réduction de la vitesse de drainage de l'eau du sol retarde la date de lessivage des nitrates.

Des modèles généraux aux références locales

De nombreux travaux se sont aussi intéressés aux méthodes effectives pour l'appréciation du danger de fuite vers la nappe d'éléments en dessous du sol exploré par les cultures (6, Biermann et al. 1985) en fonction du sol et des pratiques. Ils ont permis de constater qu'avant tout il s'agit de réduire les pertes en azote du sol sur les sites les plus sensibles pour la nappe.

Tous les chercheurs ont communément mis en évidence que la problématique de l'azote, en particulier pour ce qui est de l'épandage des effluents d'élevage, est un thème de longue haleine, qui ne peut s'appréhender qu'à l'aide d'essais de longue durée et sous des conditions de sites différenciées et que les résultats d'essais ne sont transposables que sous conditions. A la suite de quoi, ils indiquaient le besoin de poursuivre un renforcement de recherches adaptées aux conditions locales.

Le cas particulier du maïs

Parallèlement à la discussion scientifique et très active ces derniers temps, il a été réalisé quantités d'études qui devaient tester l'applicabilité dans la pratique des résultats des recherches.

Ainsi, les travaux conduits en Suisse entre 1990 et 1993 sont très intéressants. Dans un projet de recherche pluridisciplinaire de l'institut fédéral de recherche en agro-écologie de Zürich-Reckenholz, différents itinéraires de conduite du maïs furent testés. Les effets induits par chaque système ont été relevés sur les caractéristiques physiques et biologiques du sol, sur le niveau d'atteinte de l'eau souterraine occasionnée par la fertilisation et la protection de la culture ainsi que sur le rendement. En Suisse, ces dernières années, la culture du maïs a fait l'objet de sévères attaques parce qu'elle ne respecterait pas, sous tous les aspects, les exigences posées en matière de respect de l'environnement. La forte part de maïs fourrage et d'élevage dans la surface agricole a également conduit à des questions analogues en Allemagne et en France.

Il a été également posé la question de l'effet sur l'érosion des sols. Des pratiques inadaptées peuvent favoriser l'érosion, le tassement des sols, le lessivage des nitrates en profondeur, les écoulements de surface des herbicides, le développement de mauvaises herbes résistantes ainsi que l'appauvrissement de la flore et de la faune des parcelles de maïs. Ainsi, le maïs a été mis au banc des cultures accusées de nuire à l'environnement. Ce travail suisse, ne prétend aucunement être parfait mais il est un des rares qui a entrepris un jugement complet de différents systèmes de culture. En même temps que l'approche environnementale, les aspects économiques ont été abordés dans les travaux. Pour ce qui est de la rentabilité, les pratiques conventionnelles s'en tirent le mieux. En ce qui concerne la protection contre l'érosion, la réduction de la charge en nitrates de l'eau qui draine, et d'autres aspects environnementaux, ce sont les pratiques qui intègrent un travail du sol réduit qui présentent les meilleurs avantages. En plus de cela, les expérimentateurs sont arrivés à la conclusion que les pratiques de travail du sol réduit laissent encore un grand champ d'optimisation, notamment pour ce qui est de l'époque d'application et des quantités de fertilisants. Ils notent aussi qu'un renforcement de la fertilisation azotée qui peut aller jusqu'à 40 kg N/ha est nécessaire pour atteindre le même rendement économique pour les pratiques de travail réduit du sol. Les chercheurs suisses restent cependant convaincus que les avantages écologiques du travail réduit du sol l'emportent sur le reste.

Les résultats de différentes études (dont on ne cite ici que des extraits) conduites sur ce thème à la demande du ministère de l'espace rural du Land (M.L.R.) ont attesté d'un besoin de recherche complémentaire : en effet, malgré les limitations imposées de certaines pratiques, les valeurs d'azote minéral relevées lors des prélèvements de sols d'automne pour le contrôle prévu par SchALVO, sont en moyenne supérieures à 50 kg N/ha sur les surfaces couvertes pour la période 1991-1996 (cf. annexe 3.1 : cultures et années). Une évaluation dans une région d'étude où des mesures particulières (par ex. l'épandage du lisier au delà des surfaces de l'exploitation, détermination des teneurs précises éléments fertilisants,...) ont été conduites dans le cadre de différents volets du projet, a toutefois montré que la valeur en reliquats d'azote

d'entrée hiver qui atteignait initialement 122 kg N/ha a pu être ramenée à 59 kg N /ha à la fin du projet. Par l'intermédiaire de ces mesures, la valeur seuil satisfaisante de 45 kg N/ha pour la teneur en azote minéral du sol à l'entrée de l'hiver ciblée par les défenseurs de la qualité de l'eau ne pouvait toutefois pas être atteinte à long terme (cf. annexe. " 3.2 " développement du lessivage potentiel en nitrates en périmètre de captage protégé d'Ebnet/ FEW, ex. des surfaces de maïs, moyenne arithmétique des valeurs en nitrates en kg/ha).

D'autres études (cf. annexes "3.3 et 3.4 ") ainsi que des résultats obtenus en France par l'ITCF contredisent toutefois dans leur conclusion la réflexion courante et relayée également par certains scientifiques (voir aperçu de bibliographie) que les effluents d'élevage et le maïs seraient la source de tous les maux en matière de protection des ressources naturelles.

Bien plus, on constate (cf. annexe " 3.5 ") que des hautes quantités de fertilisants sous la forme organique permettent souvent des hauts rendements sans être pour autant synonymes de risque renforcé pour la pratique en comparaison d'engrais purement minéraux, à la condition que l'on raisonne correctement les facteurs suivants : la date d'application, état et nature du sol, type et stade de la culture, besoins réels.

Un des principaux résultats de ces travaux fut que les valeurs d'azote minéral du sol sous monoculture de maïs étaient pour toutes les années étudiées toujours plus faibles que dans les situations avec rotation (cf. annexe 3.6). Ce qui signifie que les effluents d'élevage, engrais organiques bon marché et à la forte valeur fertilisante doivent trouver une valorisation satisfaisante sur l'exploitation.

4. Buts du projet

Le projet poursuit un objectif principal, produire des références régionales concernant une gestion des déjections animales respectueuse de l'environnement, en étudiant deux aspects techniques principaux :

- 1) l'évaluation de la valeur fertilisante des déjections animales en conditions réelles d'utilisation, - c'est à dire chez des agriculteurs - , dans la perspective d'établir des références régionales sur ce sujet, et dont l'application sera la recherche de l'ajustement des dates de l'apport d'une part, des doses d'engrais minéral d'autre part,
- 2) des tests de techniques culturales nouvelles, suggérées par leur intérêt potentiel pour une meilleure maîtrise de la minéralisation de l'azote du sol et des déjections animales, et combinées dans un itinéraire technique complet.

Par ailleurs, l'une des préoccupations au sujet de l'élevage concerne le poids que représente cette activité dans les risques de fuites de nitrates imputables à l'agriculture régionale, la place à accorder au public des éleveurs dans les actions de prévention, et les questions à aborder en pratique pour parvenir à une diminution significative des risques spécifiques.

5. Description du projet

Afin de pouvoir mieux aborder les différents problèmes qui se posaient au niveau national, le projet a été divisé en quatre sous parties :

- A. enquête sur l'élevage des régions Alsace (diagnostic régional élevage et environnement) et de la partie sud du Bade-Wurtemberg.
- B. valorisation de l'azote organique dans des conditions difficiles (partie Alsace : Haut Rhin)
- C. faisabilité d'apports de lisier à l'automne sur sol moyennement filtrant et sur sol peu filtrant (partie Alsace Bas Rhin)
- D. dynamique de l'azote sur des parcelles de maïs recevant des déjections animales (partie Bade Wurtemberg)

Par ce partage des tâches, on a également cherché à éviter une multiplication peu utile de travaux analogues chez les différents partenaires.

Par leur orientation sur différents points d'une même thématique, les différentes sous parties possèdent l'avantage de se bien compléter.

Ainsi, on arrive non seulement à l'échange souhaité d'informations et de résultats mais aussi, ce qui semble encore plus important, à l'exploitation mutuelle de références permettant la mise en œuvre d'une agriculture durable et respectueuse de l'environnement.

Partie A : enquête sur l'élevage des régions Alsace (diagnostic régional élevage et environnement) et sud du Bade-Wurtemberg

Partie conduite en Bade-Wurtemberg

Réalisateur : M. Kansy (IfUL)

A 1.1 Objectifs

- 1) Préciser le poids de l'élevage dans les risques de fuites de nitrates imputables à l'agriculture régionale, la place à accorder au public des éleveurs dans les actions de prévention et les questions à aborder en pratique avec eux pour parvenir à une diminution significative des risques liés à cette activité ;
- 2) Orienter les éventuelles recherches de références régionalisées encore nécessaires sur ce sujet, à partir du constat des problèmes actuels pour lesquels aucune solution n'est aujourd'hui disponible.

A 1.2 Méthodes

Les données rassemblées sur l'exploitation agricole du territoire du Bade-Wurtemberg sont issues de statistiques des services du Land pour l'année 1995 ainsi que de données propres au projet recueillies en 1996.

A 1.3 Résultats

Dans le Bade-Wurtemberg, on relevait en 1995 tout juste 100 000 exploitations qui exerçaient leur activité sur environ 1 460 000 ha de SAU.

Dans l'espace du Sud-Bade (Landkreise : Breisgau- Hochschwarzwald, Emmendingen, Ortenau, Lörrach), 18 358 exploitations agricoles étaient actives sur environ 158 680 ha de SAU, dont 10 430 exploitations comportaient des productions animales. Ces dernières représentent environ 57 % de toutes les exploitations du secteur concerné, alors que leur part moyenne dans le Land n'est que 39 %.

Environ 33 % de l'ensemble des exploitations sont conduites à plein temps par les agriculteurs. Leur taille moyenne est proche de 41 ha de SAU.

La part des surfaces toujours en herbe est de 40 % à l'échelle du Land.

Pour ce qui concerne les cultures arables, 14 % de la SAU sont consacrés à la culture du maïs (dont environ 63 % en maïs ensilage).

Dans le Sud-Bade, la part de la surface toujours en herbe atteint 50 % et celle du maïs dans la sole des cultures croît jusqu'à 51 % (Kreis d'Emmendingen) mais avec de manière concomitante une baisse de la part du maïs fourrage jusqu'à seulement 13 % (Landkreise Breisgau- Hochschwarzwald et Emmendingen).

L'élevage dans la plaine du Rhin supérieur Sud est à considérer de manière très circonstanciée. Avec un chargement moyen de 67 UGB / 100 ha de SAU, il est nettement moindre que dans le reste du Land (moyenne de 96 UGB / 100 ha de SAU). Ce rapport évolue toutefois fortement localement plus l'on se rapproche de la Forêt Noire, et l'on atteint ainsi dans la commune de Kirchzarten 125 UGB/ 100 ha et 224 UGB/ 100 ha dans celle de Stegen-Eschbach (selon des calculs personnels réalisés sur la base de 1995).

Les bilans en azote établis dans la région d'étude sont les suivants : les quantités d'azote à prendre en compte dans les calculs (après retrait des pertes moyennes à l'épandage) sont en moyenne de 51 kg /ha de SAU pour le Land de B.W. et de seulement 36 kg /ha pour le Sud-Bade. Dans les " Landkreise " concernés, la quantité d'azote est comprise entre 34 kg/ha de

SAU et 44 kg N/ha de SAU en Breisgau- Hochschwarzwald et 41 kg N/ha dans celui d'Emmendingen. Dans les communes du "Dreisamtal", les valeurs évoluent entre 33 kg N/ha à Oberried et 66 kg N/ha à Buchenbach et 67 kg à Stegen-Eschbach (cf. tab. A 3.3 en annexe).

En prenant en considération qu'environ 20 à 50 % de la surface agricole utile des communes concernées ne peut pas recevoir de déjections animales (source : estimation personnelle des auteurs du projet) pour différentes raisons :

- parcelle en pente,
 - parcelle trop éloignée de l'exploitation,
 - interdiction ou limitation d'épandage suivant l'application du décret SchALVO (déc. 1991)
- il convient de retenir que la quantité moyenne réelle d'azote apportée par les déjections animales sur un hectare "épandable" est plus élevée que la moyenne théorique calculée.

Il en résulte en moyenne 46 à 132 kg d'azote par hectare de surface "épandable" sur les exploitations avec élevage.

Rapportée en déjections animales, cela donne une application qui peut aller jusqu'à environ 25,5 T de fumier ou bien 55 m3 de lisier par hectare et par an (calculs effectués sur la base des normes retenues du côté allemand pour la teneur en azote des déjections animales : 5,2 kg N/tonne de fumier de bovin riche en paille et pour lequel on déduit 25 % de pertes de l'azote total et 2,4 kg N/ m3 de lisier de bovins pour lequel on a tenu compte de 10 % de pertes).

Par la même occasion, ce sont 85 kg de phosphore , 292 kg de potassium et environ 33 kg de magnésium (plus d'autres éléments fertilisants) qui sont apportés lors de l'épandage.

Ces considérations générales permettent de mieux comprendre la situation dans laquelle se trouve l'agriculture sur le terrain pour la problématique de la mise en œuvre d'une pratique respectueuse de l'environnement et des ressources naturelles. D'un autre côté, elles soulignent la signification des effluents d'élevage en temps que matières fertilisantes dignes d'intérêt pour l'alimentation des cultures, car riches en éléments fertilisants et bon marché.

Parmi les cultures conventionnelles, le maïs (ainsi que les cultures oléo-protéagineuses) suscite les préoccupations les plus vives pour ce qui concerne la préservation de la qualité de la nappe phréatique en raison de sa place dans les systèmes d'élevage. Les raisons à cela se trouvent aussi dans le fait que d'une part le maïs est une plante exigeante en éléments nutritifs mais que d'autre part il valorise aussi très bien les éléments fertilisants : ainsi, pour un rendement de 100 q/ha de MS, le maïs utilise environ 220 kg N, 110 kg P₂O₅, 250 kg de K₂O et 40 kg de MgO. Ces propriétés de la culture croisées avec la forte part de maïs dans les rotations ainsi que des capacités de stockage des effluents insuffisantes sur les exploitations conduisent souvent à des épandages sur les surfaces de maïs qui sont donc particulièrement sollicitées.

A 1.4 Conclusion

Les tailles des exploitations d'élevage varient énormément.

Ponctuellement, en raison de chargements très élevés, il peut y avoir des situations difficiles au niveau de capacité de stockage des effluents trop faibles ou bien de surfaces d'épandage insuffisantes. Ceci est particulièrement le cas en périmètres de captage protégés.

Partie conduite en Alsace

Réalisateur M. Koller ARAA

Synthèse du diagnostic régional élevage et environnement

Réalisation : ARAA et Institut de l'Élevage - Service Ingénierie de projets et Marketing -

Partenaires associés : Chambres Départementales d'Agriculture, Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt

Auteurs : Manuel LENORMAND*, Anne-Charlotte DOCKES*, Cyrille MOHRAIN*, Rémi KOLLER**, Marie-Line BURTIN**

Relecture : Florence KLING-EVEILLARD*,
(* : Institut de l'Élevage ; ** : ARAA)

A 2.1 Situation initiale et objectifs : un diagnostic régional pour mettre en synergie des actions locales

Au sein de l'agriculture régionale, les élevages constituent un ensemble caractérisé par la place importante des déjections animales dans la fertilisation des terres. L'objectif de limitation des fuites de nitrates d'origine agricole vers les eaux de surface ou souterraines les concerne donc. En effet, les déjections contiennent de l'ordre de 13.000 tonnes d'azote, pour environ 35.000 t d'azote minéral utilisées à l'échelle de la région Alsace (données 1996-1998).

Les élevages sont déjà concernés par plusieurs programmes visant la modification des installations d'élevage ou des pratiques agronomiques pour assurer la prévention des risques de pollution des eaux : programme national de prévention des pollutions d'origine agricole (PMPOA) et ses adaptations locales, mesures réglementaires du programme d'action de la directive nitrates, programmes agri-environnementaux, action de conseil FERTI-MIEUX pour l'amélioration volontaire des modalités de gestion de l'azote.

En l'absence d'une connaissance précise des problèmes liés aux différents systèmes d'élevage et aux modes de gestion des déjections animales, l'articulation et la complémentarité de ces diverses actions reste encore aujourd'hui incertaine.

Différents diagnostics locaux réalisés à l'occasion des opérations FERTI-MIEUX, ou plus ponctuels comme les premiers diagnostics individuels préalables à la mise en conformité des bâtiments d'élevage, ont montré, que dans la plupart des cas, l'azote des déjections animales pouvait être mieux géré et valorisé par l'éleveur, mais que les évolutions de pratiques souhaitables affectaient de nombreux aspects de l'exploitation agricole : bâtiments, matériel d'épandage, calendrier et organisation du travail. Ce constat souligne l'intérêt d'une bonne coordination des différents programmes pour les mettre en synergie.

Objectifs du diagnostic : identifier et hiérarchiser les problèmes, ébaucher des solutions

Le projet vise à établir un diagnostic régional des risques de pollution de l'eau par les nitrates dans les exploitations d'élevage, en priorité pour la zone vulnérable définie en application de la directive nitrates européenne. L'objectif est d'identifier et de hiérarchiser les principaux risques que les activités d'élevage font courir à l'environnement et d'apprécier les efforts à conduire par les différents types d'élevage pour limiter ces risques. Il doit fournir aux acteurs décisionnels des éléments objectifs pour la mise en cohérence des différentes politiques qui visent cette catégorie de producteurs.

La description de la situation initiale doit permettre de pronostiquer l'impact des politiques actuelles sur les plans économique, technique et environnemental. Des scénarios d'intervention pourront être évalués et proposés, en appui aux éléments de diagnostic propre à chacune des opérations FERTI-MIEUX.

Le constat doit permettre aussi l'orientation des travaux d'expérimentation agronomiques éventuellement nécessaires pour préciser les conditions d'épandage et de valorisation.

A 2.2 : Méthodes : un diagnostic en plusieurs étapes

Ces étapes répondent à la nécessité d'établir un constat des pratiques agronomiques des éleveurs à partir d'informations obtenues par enquête directe. Il s'agissait en effet de décrire ces pratiques à l'échelle de résolution spatiale qui convient à la description du risque de pollution diffuse, c'est à dire la parcelle ou îlot de culture. Les principales préoccupations qui ont guidé la méthode de réalisation ont été les suivantes :

- l'identification de la diversité des exploitations d'élevage au sein de la région : types, nombre, localisation géographique préférentielle, en vue de délimiter le champ de l'enquête,
- l'établissement d'un échantillon d'exploitations d'élevage significatives de la diversité des situations identifiées dans la région et retenus pour ce diagnostic,
- la mise au point d'une méthode d'enquête adaptée à l'étude des pratiques agronomiques des éleveurs en relation avec les risques de pollution diffuse,
- la nécessité d'aboutir à une restitution synthétique de l'information permettant d'une part une identification réelle des principaux problèmes restant à résoudre, d'autre part la proposition d'actions réalistes pour les résoudre.

Les étapes de réalisation du diagnostic ont été les suivantes :

- Un état des lieux pour cerner le contexte de l'élevage en Alsace, quantifier les enjeux liés à la gestion de l'azote par les élevages et en préciser la répartition géographique. Ce travail a été réalisé en utilisant principalement des fichiers d'exploitations gérés par l'administration pour l'attribution des différentes aides à l'agriculture, dans le respect du secret statistique. L'atlas de l'élevage en Alsace en est le produit. Il a aussi permis le choix de communes à enquêter pour représenter la diversité des exploitations d'élevage.
- Une analyse succincte des milieux naturels pour hiérarchiser la diversité dans la sensibilité des milieux aux risques de pollution par les élevages (risques de lessivage et de ruissellement). Elle a été réalisée par l'ARAA mais n'est pas diffusée. Elle a permis d'aider au choix des communes à enquêter.
- Une typologie des systèmes d'élevage pour comprendre les différents moyens de produire et pouvoir analyser les liens éventuels entre pratiques et systèmes. Cette typologie à elle seule constitue un résultat de ce projet. Elle a été élaborée selon une méthodologie proposée et conduite par l'Institut de l'Elevage, en s'appuyant sur la connaissance des

techniciens de l'élevage et sur des données préexistantes. Les résultats en sont présentés dans le " Document n°3, TYPOLOGIE DES SYSTEMES DE PRODUCTION, en particulier des systèmes d'élevage bovin (57 pages) ".

- Un diagnostic technique pour identifier les pratiques et les équipements à risque et comprendre les modes de raisonnement des éleveurs à leur sujet. Ce diagnostic s'est limité aux élevages bovins de la zone vulnérable. Il a été réalisé à partir d'enquêtes directes conduites auprès de 103 exploitations en 1997, en utilisant l'outil de diagnostic DEXEL adapté aux questionnements régionaux, avec l'encadrement de l'Institut de l'Elevage. L'Institut de l'Elevage a analysé les résultats des enquêtes en cherchant à dégager les principaux risques identifiables, en établissant, par analyse statistique des données, des classes d'exploitation sur les façons de gérer l'azote et en extrapolant quand cela était possible les résultats à l'ensemble de la zone vulnérable (tentative de quantification). Ces résultats ont été discutés et validés par les techniciens régionaux impliqués sur le sujet. Les pistes d'amélioration ou de résolution des principaux problèmes sont également appuyées sur les connaissances de ces techniciens.

Le diagnostic et ces propositions sont présentés dans le " Document n°4, DIAGNOSTIC TECHNIQUE sur les moyens et pratiques de gestion de l'azote d'origine animale et de la fertilisation minérale dans les élevages de la zone vulnérable.(43 pages) ".

A 2.3 Résultats obtenus

A 2.3.1 L'atlas de l'élevage en Alsace : une représentation cartographique de la diversité des situations dans l'espace régional

Ce document présente un ensemble de 12 cartes et des dénombrements et statistiques descriptives de la place de l'élevage en région Alsace, sur la base d'informations d'origine administratives permettant de dénombrer 8882 agriculteurs ayant déposé une déclaration de paiement compensatoire aux cultures arables (" prime PAC ") et exploitant au moins 1 ha de SAU. La SAU décrite est de 312650 ha, pour une SAU officielle de 330 000 ha (Agreste 1997). Les informations les plus importantes relatives à l'élevage sont les suivantes [*sources : DDAF67 et 68 (1996), IPG67 et 68 (1997), Coopératives de collecte (1997)*] :

- 148 300 UGB sont détenues en Alsace, dont 91% sont des UGB bovins et 60% des UGB vaches laitières ou génisses. Les élevages hors sol (porcs et volailles) ne représentent que 9% des UGB.
- 3060 éleveurs ont été recensés (34% de exploitants) utilisant 51% de la SAU totale.
- La pression moyenne en UGB par ha de SAU des éleveurs est de 0,9 UGB/ha. En moyenne communale, les pressions sont globalement inférieures à 1,5 UGB/ha de SAU des éleveurs. Il n'existe pas de problème d'excédent structurel pour la gestion des déjections animales : 3 communes seulement dépassent le seuil de 2,3 UGB/ha de SAU (soit 170 kg N d'origine animale par ha de SAU qui constitue le seuil réglementaire de la directive nitrates à l'échelle de l'exploitation).
- Le maïs occupe 45% de la SAU régionale, avec des différences intra-régionales importantes. Il peut représenter 60 à 80% de la SAU dans la Hardt et en plaine du Rhin au nord de Strasbourg. Sur la zone vulnérable, sa part n'est jamais inférieure à 40% de la SAU. Il occupe par ailleurs 32% de la SAU des éleveurs.
- L'herbe occupe 23% de la SAU, et représente 39% de la SAU des éleveurs.
- Les céréales à paille occupent 17% de la SAU totale comme de la SAU des éleveurs.

- La diversité de répartition des élevages en Alsace a conduit à présenter une carte représentant les communes de la zone vulnérable classées selon une typologie établie à partir des systèmes de production dominants dans la commune :
 - petites structures sans élevage bovin,
 - grandes structures céréalières sans élevage bovin,
 - élevages laitiers et exploitation sans élevage,
 - exploitations de polyculture-élevage,
 - exploitations laitières avec herbe,
 - élevages de viande bovine,
 - exploitations non typées, pas d'activité dominantes.

Les résultats de cette analyse nous ont conduit à centrer le diagnostic sur les seuls élevage bovins. En effet, d'une part les élevages hors sol ne représentent qu'une faible part des UGB totales, et d'autre part, du fait de leur taille unitaire, ils sont déjà l'objet, pour la plupart, de procédures d'encadrement dans le domaine environnemental (procédures Installations Classées, inscription dans le Programme de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole).

A 2.3.2 La typologie des systèmes de production, en particulier des systèmes d'élevage bovin : un outil commun pour de multiples usages

La typologie des systèmes de production permet de caractériser la diversité des exploitations agricoles d'une région et constitue un outil de base pour la connaissance de l'agriculture et la définitions d'actions collectives. Une typologie permet la structuration de référentiels techniques ou économiques, le ciblage des actions de conseil, une réflexion sur l'avenir des systèmes, l'analyse de l'impact de politiques d'intervention publiques,...La typologie réalisée ici peut donc être utile bien au delà de cette étude sur les relations entre élevage et environnement en Alsace.

La typologie entreprise a pour fondement la description des différentes manières de produire, dans une logique de fonctionnement de l'exploitation agricole. Le fonctionnement présent est la conséquence de nombreux facteurs : milieu naturel, pression foncière, contexte économique régional et local, histoire de l'exploitation, savoir faire et capacités de l'exploitant et de son entourage, ...Il constitue aussi la base et le potentiel d'évolution de l'exploitation en réponse à des évènements futurs : évolution de la famille, du contexte économique, des politiques d'intervention économiques ou de conseil,...La typologie disponible a été réalisée "à dire d'expert", en alternative à d'autres méthodes utilisées pour des échelles de territoire plus réduites et basées sur des enquêtes directes. Elle a cependant bénéficié des typologies locales réalisées en Alsace par cette méthode depuis 1986 sur 9 petites régions naturelles.

Elle a aboutit à la présentation de 3 typologies consacrée chacune à des régions fortement différenciées par leur milieu naturel :

- la Plaine d'Alsace et le Sundgau,
- l'Alsace Bossue
- la Montagne Vosgienne

ZONE	% des agriculteurs de la région	% de la SAU de la région	% des UGB de la région	% des éleveurs dans la zone	% d'herbe dans la SAU de la zone	% de maïs dans la SAU de la zone	Types identifiés
Alsace Bossue	5	8	11	71	60	13	27 types identifiés
Plaine d'Alsace	90	87	82	30	16	50	9 types lait 11 types viande bovine 2 types hors sol 1 type ovin-caprin 2 types avec peu ou sans animaux
Montagne Vosgienne	5	5	7	73	95	2	11 types identifiés

A 2.3.3 Diagnostic technique sur les moyens et pratiques de gestion de l'azote dans les élevages de la zone vulnérable : une description des problèmes les plus fréquents et des suggestions pour les aborder

Les risques liés aux bâtiments sont faibles dans l'ensemble.

- Les systèmes sur fumier sont dominants et les systèmes lisier sont plutôt présents dans les élevages importants. Les lisiers sont quantitativement dominants sur seulement 17,5% des exploitations enquêtées.
- 18% des exploitations enquêtées présentent un risque de pollution moyen pour les eaux blanches et vertes (absence de collecte). Dans les autres cas, elles vont souvent au réseau d'assainissement.
- 33% des exploitations enquêtées présentent un risque moyen pour les silos (absence de collecte des jus de silos de drèches de brasserie et parfois d'herbe).
- Les risques sont minimes pour les dépôts au champ (rares retours sur le même site ou dépôts en zone interdite).
- Les niveaux de risque liés aux bâtiments eux-mêmes sont faibles et concernent surtout les stabulations libres. Or 50% des élevages sont en étable entravée.

0En revanche, les capacités de stockage sont trop réduites par rapport à ce qui serait nécessaire.

- 50% des ouvrages de stockage des fumiers présentent un risque fort aggravé par des capacités de stockage insuffisantes (étanchéité défectueuse, non récupération des écoulements, capacité limitée à 1 mois en moyenne).
- Les ouvrages de stockage de lisier présentent un risque fort dans 50% des cas, lié à la capacité de stockage (3 mois ou moins, à peine plus de 2 mois en moyenne).
- L'impact des programmes conduits depuis 1992 dans le Sundgau est significatif sur les capacités de stockage : 30% des exploitations ont des capacités entre 2 et 6 mois, 20% des capacités supérieures à 6 mois.

La gestion des épandages d'azote d'origine animale

- Si 80% des déjections animales sont épandues dans les périodes recommandées, il reste 20% des déjections épandues en dehors de celles-ci et ce pourcentage est plus élevé pour les systèmes intensifs.
- Il n'y a pas de relation entre augmentation des capacités de stockage et respect des recommandations du CBPA pour les dates d'épandage (l'arrêté préfectoral interdépartemental instituant un calendrier restrictif des épandages n'était pas en vigueur à la date de l'enquête)
- les déjections sont réparties sur des surfaces réduites et les apports par hectare sont élevés, surtout dans les systèmes intensifs également.
- Les périmètres réglementaires ne sont pas pris en compte ; heureusement, les surfaces interdites sont souvent modestes.
- Les prairies sont souvent exclues par les éleveurs des surfaces épandables, fréquemment à cause de l'éloignement des parcelles.
- L'épandage sur prairie est le plus souvent pratiqué par des exploitations de petite taille ou des élevages allaitants avec beaucoup d'herbe ainsi que par quelques systèmes lisier. 12% de l'azote d'origine animale produit sur les exploitations enquêtées est épandu sur les prairies qui représentent en moyenne 32% de la SAU des exploitations.

Le maïs constitue un point sensible des systèmes d'élevage

- Il représente en moyenne 38% de la SAU des élevages enquêtés et il est quasi systématiquement surfertilisé.
- Les 2/3 des engrais de ferme vont sur le maïs.
- Mais la fertilisation minérale ne tient compte ni du sol ni des apports d'engrais de ferme. Elle s'appuie surtout sur une norme locale ("dose repère"). Les éleveurs de la région du Sundgau semblent s'appuyer sur une dose repère plus élevée que dans les autres régions : 180 kg N/ha contre 100 à 150 kgN/ha chez les éleveurs du centre et nord Bas-Rhin, pour des sols à fourniture d'azote et potentiels de rendement équivalents.
- Le maïs reçoit une part importante des engrais de ferme en particulier en été avant interculture longue sans couvert végétal d'automne et d'hiver.

Une classification des éleveurs selon leurs pratiques de gestion de l'azote

5 groupes d'éleveurs peuvent être distingués à partir de leurs pratiques de gestion de l'azote.

Les 3 groupes principaux sont les suivants :

- classe B : des éleveurs modérément intensifs maîtrisant bien leurs pratiques de fertilisation (23% des élevages enquêtés)
- classe D : des élevages avec une répartition déséquilibrée des engrais de ferme, forte dose sur des faibles surfaces et non respect des surfaces et des périodes déconseillées par le CBPA (39% des éleveurs enquêtés). C'est la classe dominante.
- classe E : des élevages laitiers intensifs avec une forte surfertilisation et également une mauvaise répartition des effluents (24% des élevages enquêtés).

Les 2 autres groupes sont constitués d'une part d'exploitations d'éleveurs peu intensifs valorisant des engrais de ferme sur prairie (classe A : 8% des enquêtes) et des exploitations de tous types disposant d'une faible surface potentielle d'épandage et qui de ce fait réalisent plus d'épandages dans des zones non autorisées (classe C : 7% des enquêtes).

Cette classification fait apparaître que le lien entre système de production (tel que décrit dans la typologie précédente) et classes de gestion de l'azote n'est pas systématique. Elle montre aussi que certains problèmes sont communs à toutes les classes, comme la surfertilisation minérale du maïs et le non respect des périmètres d'épandage. Elle confirme le fait que les chargements sont faibles par rapport aux limites réglementaires (exprimés en kg N / surface potentiellement épandable) sauf pour certains éleveurs intensifs de la classe E.

A 2.4 Conclusion : les perspectives d'usage du diagnostic régional

A partir de ce constat et en tenant compte des problèmes posés par les pratiques identifiées caractéristiques de chaque groupe, des pistes sont proposées pour l'amélioration des pratiques. Cependant, la diversité des situations rencontrées due à la combinaison des systèmes de production et des manières de gérer l'azote d'origine animale ne permet pas de décrire des cas type d'exploitation d'élevage bovin vus sous l'angle de l'impact environnemental. Ces cas seraient trop nombreux et il faudrait de plus tenir compte de la diversité au sein de la région.

Les conclusions tirées sont donc globales pour l'ensemble de la zone vulnérable. Les principaux problèmes qui sont à résoudre au plan des pratiques agronomiques et les pistes de travail à approfondir sont les suivantes.

Problèmes retenus (par ordre d'importance)	Public cible	Les pistes de travail
Concentration des apports d'origine animale	Les éleveurs sont déjà sensibilisés mais n'appliquent pas Publics D et E de la classification.	<p>→ Des actions de conseil ont donné des résultats (Fert'ILL) mais il reste des marges de progrès. Insister sur l'augmentation des surfaces d'épandage et <u>montrer</u> que c'est possible.</p> <p>→ L'épandage sur prairie peut se développer sur certains secteurs (Sundgau par ex.). Le programme de mise aux normes de bâtiments d'élevage peut constituer une occasion de relayer ce message</p>
Surfertilisation azotée du maïs	Tous les publics. Mais les méthodes doivent être adaptées aux différents publics.	<p>→ Continuer la diffusion des références avec des messages simples. Proposer d'autres "doses repère".</p> <p>→ Créer des références pour des successions culturales en liaison avec les états de structure du sol sur les sols sensibles à l'excès d'eau et au tassement.</p>
Absence de respect des calendriers d'épandage et insuffisance des capacités de stockage	Tous les publics. Mais les classes D et E sont prioritaires. Sont également concernés des élevages dont l'agrandissement les conduit à passer en système lisier.	<p>→ La mise aux normes constitue une opportunité d'agrandir ces capacités de stockage. 4 mois est un minimum, 6 mois permet de mieux gérer avec un assolement où le maïs est important</p> <p>→ Accompagnement de ce programme d'une information/formation sur les bonnes pratiques de gestion des déjections, avec utilisation des références précédentes</p> <p>→ Développement des cultures intermédiaires</p>

Par ailleurs, ce travail montre la possibilité, au plan méthodologique, de conduire des diagnostics à une échelle régionale. Les phases de quantification restent cependant les plus délicates à conduire. Elles reposent en partie sur la possibilité d'utiliser - sous contrôle et respect du secret - des fichiers descriptifs de certaines caractéristiques des exploitations agricoles détenues par l'administration ou des établissements publics.

L'intérêt de diagnostic généraux comme celui-ci est de proposer aux acteurs socio-économiques une vision globale des questions à résoudre pour une problématique donnée et d'aider à la construction du dialogue et aux choix des actions à conduire. Une répétition dans le temps d'un diagnostic conduit sous une forme similaire permettrait en outre de mesurer les effets des actions décidées et réalisées. Dans le domaine environnemental en particulier, l'élaboration d'outils d'appréciation des risques de pollution diffuse d'origine agricole à différents échelles de territoire (bassin versant, région, ...) reste un objectif à atteindre pour aider à la recherche de solutions acceptables par tous les acteurs de la problématique.

Autres documents disponibles :

- Document n°1, METHODOLOGIE
- Document n°2, ATLAS : l'élevage en Alsace (46 pages)
- Document n°3, TYPOLOGIE des systèmes de production, en particulier des systèmes d'élevage bovin (57 pages)
- Document n°4, DIAGNOSTIC TECHNIQUE sur les moyens et pratiques de gestion de l'azote d'origine animale et de la fertilisation minérale dans les élevages de la zone vulnérable.(43 pages)

A 3 Conclusion générale

Les données statistiques disponibles pour chaque pays sont délicates à comparer : en effet, les bases méthodologiques diffèrent (3 sources différentes), de même que les découpages administratifs disponibles. Ces derniers associent des zones de plaine et de montagne de façon différente entre les deux régions, alors que la localisation géographique est un facteur structurant de la distribution des élevages : ceux-ci sont proportionnellement beaucoup plus nombreux dans les zones de montagne qu'en plaine du Rhin.

Relevons simplement qu'à l'échelle de statistiques communales, les situations d'excédent structurel pour les déjections animales (plus de 2.3 UGB / ha de SAU, soit plus de 170 kg /ha SAU d'azote d'origine animale) sont véritablement marginales, et que les ordres de grandeur des chargements par rapport à la SAU totale disponible sont compris entre 0,4 et 0,7 UGB/ha entre Alsace et Bade du Sud.

Les surfaces agricoles disponibles sont suffisantes pour assurer une gestion optimisée des déjections animales.

Dans les deux régions, le maïs est entré dans les systèmes de culture des exploitations d'élevage et est mis largement à contribution pour assurer la valorisation des déjections animales. En Alsace, il reçoit aussi 2/3 des engrais de ferme (enquêtes sur la zone vulnérable), et la fertilisation azotée minérale complémentaire qu'il reçoit est excédentaire. L'établissement de références agronomiques concernant la valeur fertilisante des déjections animales pour la culture du maïs est pleinement justifiée, ainsi que la recherche des techniques culturales complémentaires destinées à maîtriser les risques de fuites de nitrates dans les deux systèmes de culture concernés.

Le diagnostic réalisé en Alsace montre cependant la nécessité d'établir, en relation avec les agriculteurs, de nouveaux schémas de gestion et d'épandage des déjections animales permettant une meilleure utilisation de l'azote qu'elles contiennent. Pour épandre sur des surfaces supplémentaires et modifier les dates d'épandage, il faut imaginer de nouvelles organisations pour le stockage et les chantiers d'épandage, porter attention au travail du sol dans les situations sensibles au tassement, réfléchir à l'utilisation des prairies dans certains cas. Toute l'organisation du travail de l'éleveur est ainsi concernée, et sa participation est indispensable à la conception de ces nouveaux schémas.

Partie B.- Valorisation de l'azote en situation difficile et consolidation de la grille régionale dans les systèmes d'élevage

Maîtriser et éviter la surfertilisation dans le cadre de l'utilisation de déjections animales suppose une bonne connaissance de la valeur agronomique réelle de ces déjections.

En situation de sol sain, la valorisation de l'azote des fumiers et lisiers est suffisamment connue et quantifiée pour permettre sa prise en compte effective dans les conseils de fertilisation adressés aux éleveurs (données régionales et tables de valeur nationale).

En revanche, des problèmes de mauvaise valorisation de l'azote apporté par les déjections et de l'engrais azoté ont été détectés dans les situations de sol hydromorphe (notamment dans les lehms du Sundgau - région classée zone vulnérable- du sud de l'Alsace)

De même il est important d'évaluer les risques liés aux modalités d'apport et une meilleure gestion dans les dates d'épandage est nécessaire pour concilier capacité de stockage et protection de l'environnement.

Cette partie du projet comporte deux volets :

1.1 - la valorisation de l'azote en situation difficile.

1.2 - la consolidation de la grille régionale de fourniture dans les systèmes d'élevage.

B 1 OBJECTIFS

L'expérimentation française s'est attachée à étudier la valeur agronomique des déjections animales sous 2 angles pour lesquels les références acquises jusqu'alors étaient peu nombreuses.

- Estimer et comprendre la valorisation de l'azote du fumier apporté devant maïs en condition de terrain difficile, en particulier dans les sols de limons acides et hydromorphes nécessitant un labour tardif de printemps. Cette situation se rencontre dans de petites régions d'Alsace où l'élevage bovin est encore développé, et où il a été constaté depuis quelques années déjà une mauvaise valorisation des déjections animales (Sundgau, arrière-Kochersberg et Pays de Hanau). Des problèmes d'accidents de structure sont supposés.

Pour des raisons de capacité de stockage insuffisante, il s'agit généralement de fumier frais produit sur l'exploitation pendant l'hiver et apporté au moment du labour.

- Consolider la grille régionale de fourniture qui sert de référence et sur laquelle est basé le conseil Ferti-Mieux. Cette grille a été établie grâce à de nombreuses références " témoins zéro " acquises sur différents types de sol et situations variées bien identifiées depuis 1987 sur l'ensemble de l'Alsace. Elle donne, en fonction du type de sol, les niveaux de fournitures en azote minéral sur lesquelles on peut compter en situation non fertilisée.

B 2 METHODES ADOPTEES

Les références ont été acquises dans deux types de réseaux :

- 1.1) Des couples de parcelles où l'on compare, dans une même parcelle, 2 bandes de maïs, l'une ayant reçu du fumier ou du lisier de bovin, l'autre non. La comparaison est faite à travers des témoins sans engrais azoté minéral. Ceux-ci sont localisés particulièrement là où les valeurs annoncées dans les tables étaient mises en défaut, sols limoneux acides et hydromorphes du Sundgau surtout et de l'arrière-Kochersberg. Les parcelles étudiées reçoivent régulièrement des déjections animales. La dose appliquée est celle habituellement appliquée par l'éleveur.

Protocole suivi :

- Taille de la parcelle témoin sans engrais azoté : une largeur d'épandeur minéral x 30m de long, dans chaque partie avec et sans fumier. Ces 2 parcelles sont proches ou contiguës.
 - Identification du type de sol par un sondage à la tarière et une analyse de terre par la SADEF
 - Analyse de l'azote minéral du sol sur 3 horizons (0-30 ; 30-60 ; 60-90 cm) dans chacun des témoins à la récolte.
 - Récolte au stade ensilage de 4 placettes de 10m de long sur 4 rangs voisins : pesée, détermination de la teneur en MS et en azote total des épis et des tiges et feuilles afin de mesurer l'efficacité de l'apport de fumier dans chacune des parcelles (analyses par le laboratoire SADEF).
 - Un profil d'enracinement et des observations de la structure du sol ont été réalisés dans certains sites pour détecter les éventuels obstacles à la pénétration des racines et tenter d'expliquer la mauvaise valorisation de l'azote du fumier.
- N.B. : Du fait de la charge de travail des différents partenaires et de la contrainte liée à l'ouverture d'une fosse pour réaliser les observations, un seul profil a été fait.

- 1.2) Des " témoins zéro azote " conduits sans engrais azoté minéral dans des systèmes de culture comportant des déjections animales apportées, soit pendant l'année de la culture de façon à pouvoir mesurer un effet direct, soit l'année d'avant pour pouvoir estimer l'arrière-effet.

Ces parcelles viennent en complément au réseau " témoins zéro " traité dans le projet ITADA A1.4.

L'expérimentation est conduite de la manière suivante :

- * Choix d'une parcelle avec apport organique (déjections animales) sur la rotation.
- * Surface : 1 ou 2 largeurs d'épandeur sur 30 à 40 m.
- * Culture conduite à l'optimum, c'est-à-dire sans facteur limitant hormis l'azote : cela est vérifié par différentes observations (enherbement, incidence pyrale ...).
- * Variété : indifférente.
- * Analyse physico-chimique du sol et vérification du type par fosse ou sondage tarière.
- * Mesure du reliquat d'azote dans le sol au stade 6 feuilles du maïs (et non avant le semis). Pour les sols caillouteux, cette mesure n'est pas obligatoire.
- * Rendement en tonnes de matière sèche par hectare et teneur en azote des plantes (tige + feuilles d'une part, épis d'autre part) : ceci permet de calculer les unités d'azote prélevées par hectare (en estimant la part contenue dans les racines à 10%).

B 3 RESULTATS

B 3.1 - LA VALORISATION DE L'AZOTE EN SITUATION DIFFICILE.

Pendant la durée du programme, entre 1996 et 1998, 12 couples ont été mis en place et suivis par les 2 Chambres départementales d'Agriculture, en collaboration avec l'ARAA.

Les quantités de fumier ou lisier indiquées n'ont pas fait l'objet d'une mesure précise ; elles n'ont donc qu'une valeur indicative mais correspondent à la pratique courante de la région. De même, les déjections n'ont pas été analysées et on ne connaît donc pas leur composition exacte.

Les résultats sont répertoriés dans le tableau 1 suivant :

TABEAU 1 : VALORISATION DE L'AZOTE EN SITUATION DIFFICILE AVEC ET SANS FUMIER/LISIER

Lieu et type de sol (selon typologie régionale)	Traitement	Rendement TMS/ha	Azote prélevé par la plante kg N/ha -	Azote prélevé par la plante U/TMS -	Reliquats azote après récolte kg N/ha (N total)	Effet fumier/lisier - (Nabs fumier - Nabs 0N) kg N/ha	Augmentation RAR par rapport au traitement sans fumier/lisier
1996							
Seppois le bas (68) lehm hydromorphe	0 N	10.9	118	10.8	37.3		
	fumier (60T/ha)	14.4	190	13.2	66.3	+ 72	+29
Fulleren(68) lehm hydromorphe	0 N	14.5	165	11.4	38.6		
	fumier (60T/ha)	16	205	12.8	102.1	+ 40	+63.5
Schwenheim (67) lehm hydromorphe	0 N	13	141	10.8	117.2	0	- 26.9
	fumier (100T/ha)	12.1	140	11.6	90.3		
Menchhoffen sol non identifié	0 N	13.3	117	8.8	non		
	fumier	12.9	126	9.8	mesuré	+ 9	
1997							
Seppois le bas (68) lehm hydromorphe	0 N	13,1	165	12.6	49		
	fumier (35T/ha)	12,2	133	11	43	- 32	- 6
Altkirch (68) loess	0 N	17.4	175	10	26.8		
	fumier (40T/ha)	14.3	146	10.2	26.5	- 29	0
Michelbach haut (68) lehm sur loess	0 N	14	162	11.6	38.5		
	lisier (40m ³ /ha)	14.8	166	11.2	37.3	+ 4	- 1
Schwenheim (67) lehm hydromorphe	0 N	14.3	124	8.7	24.6		
	fumier (50T/ha)	13	105	8	30.9	- 19	+ 6.3
1998							
Obermorschwiller (68) lehm sain	0 N	18	181	10	32		
	lisier épais (50m ³ /ha)	17	162	9.5	88	- 19	+ 56
Ballersdorf (68) lehm sain	0 N	19	190	10	76		
	fumier pailleux (50T/ha)	20	249	12.4	122	+ 59	+ 46
Gommersdorf (68) lehm sain	0 N	18	178	9.9	54		
	fumier pailleux (50T/ha)	20	222	11.1	98	+ 44	+ 44
Michelbach haut (68) lehm sain sur loess	0 N	10	95	10.2	22		
	lisier dilué (50m ³ /ha)	13	118	13	22	+ 23	0

L'examen des résultats indique :

☛ Des niveaux de rendement obtenus par les témoins zéro, sans apport de déjections l'année de la culture, tout à fait honorables et même de haut niveau parfois. Ceci témoigne de fortes fournitures en azote par le sol dans ces parcelles qui reçoivent régulièrement du fumier ou du lisier. Ces pratiques contribuent à enrichir le sol en matière organique qui se minéralise en nitrates sous l'effet des conditions climatiques. Ceux-ci deviennent alors disponibles pour l'alimentation en azote de la culture. Ces situations illustrent la fourniture d'azote d'arrière-effet.

☛ L'effet direct des déjections animales sur la production de biomasse du maïs est faible, dans certains cas même dépressif, par rapport au rendement obtenu en parcelle sans fertilisant organique.

Sur les 12 situations répertoriées dans le tableau,

- 5 cas indiquent un effet positif du fumier/lisier ; le gain de rendement est supérieur ou égal à 1 tonne de matière sèche à l'hectare.
- 3 cas indiquent un effet pratiquement nul.
- 4 cas indiquent un effet négatif, mais dans 2 situations seulement la différence est supérieure à 1 TMS/ha.

On est quand-même agréablement surpris de constater qu'il existe des cas de bonne valorisation de l'azote des déjections alors que l'on s'attendait à de mauvais résultats partout.

☛ Dans les situations à arrière effet (0 N), et les cas où le fumier n'a pas eu d'effet positif, les consommations d'azote par le maïs sont de l'ordre de 10kg par tonne de matière sèche. Alors que dans certaines situations, quand on apporte du fumier, cette consommation augmente et avoisine les 13 kg/TMS ce qui témoigne d'une situation plus confortable.

☛ L'année 97 semble se distinguer des 2 autres, car de façon unanime on observe une non-utilisation de l'azote du fumier alors que les sites ne sont pas toujours sur sol hydromorphe.

☛ La mauvaise valorisation de l'azote des déjections ne s'observe pas qu'en sol hydromorphe. A contrario, il existe des situations hydromorphes où cet azote est valorisé.

☛ Des reliquats après récolte supérieurs dans les parcelles ayant eu des déjections dans 50% des cas seulement.

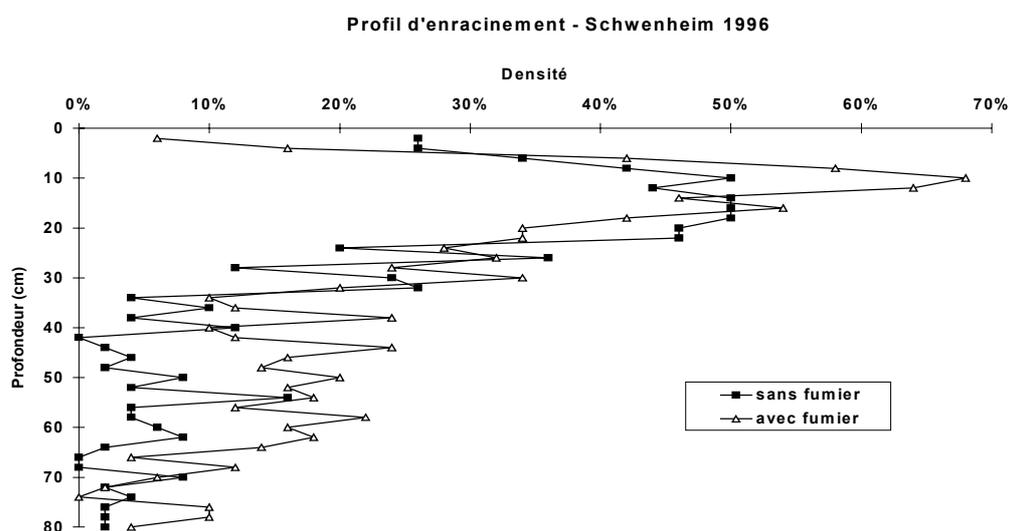
☛ Dans les situations où les déjections ont été en partie valorisées ou laissent des reliquats post-récolte assez importants, on peut faire un bilan, " azote absorbé issu du fumier + supplément de RAR dans les parcelles avec fumier ", et le comparer à la valeur fertilisante théorique* que nous donnent les tables éditées par ITCF/ITEB/ITP dans la brochure " Engrais de ferme " de 1991 (cf. annexe). De cette valeur, tout n'est pas utilisable par la culture : on estime le CAU à 0.6.

Lieu - année	Azote absorbé issu du fumier kg N/ha	Différence de RAR par rapport au traitement sans DA	Total Azote issu du fumier retrouvé kg N/ha	Valeur fertilisante théorique x CAU (= 0.6) kg N/ha
Seppois le bas - 96	72	29	101	99
Fulleren - 96	40	63.5	103.5	99
Obermorschwiller - 98	-19	56	37	91
Ballersdorf - 98	59	46	105	83
Gommersdorf - 98	44	44	88	83

* : Pour calculer la valeur théorique on se place en situation d'apport régulier tous les 2 ans au printemps.

Dans ces 5 situations, on retrouve l'ordre de grandeur théorique, sauf à Obermorschwiller en 98. L'azote du fumier se retrouve soit dans la plante, soit dans les reliquats après récolte. Compte tenu de la faible précision des mesures (tonnage épandu approximatif, composition des fumiers non réellement connue), ce bilan paraît tout à fait positif. Ce n'est malheureusement pas le cas des autres situations où les déjections ne sont pas valorisées et où l'on note un défaut de bilan parfois important.

☛ Des observations du système racinaire réalisées à un moment où l'appareil végétatif est complètement développé (autour de la floraison ou pendant la maturation) indiquent clairement une zone compacte dans le fond de labour provoquant un enracinement superficiel, surtout concentré dans les 30 premiers cm. Sous le labour le sol est donc très peu colonisé par les racines. Cette colonisation est généralement moins bonne dans la partie ayant reçu du fumier, (cf. profil racinaire à Schwenheim 96). On observe dans ces parcelles des paquets de fumier non décomposé sur le fond du labour qui constituent un obstacle supplémentaire à la progression en profondeur des racines.



☛ Dans certaines parcelles du Sundgau, les couples ont été complétés par des traitements 'dose croissante d'azote minéral'. Les mêmes mesures ont été réalisées, soit rendement, azote absorbé et reliquats post-récolte (cf. rapport 97).

On constate là aussi une mauvaise utilisation de l'azote en provenance de l'engrais. Il semblerait, qu'en présence du fumier, il faille augmenter fortement la dose d'engrais minéral pour que celui-ci soit valorisé. Tout se passe donc comme si le fumier consommait pour sa dégradation une partie de l'engrais, en le rendant par conséquent moins disponible pour la culture.

Cette hypothèse demande à être vérifiée par des essais complémentaires, mais paraît plausible dans la mesure où les fumiers épandus en fin d'hiver sur maïs sont souvent pailleux et peu évolués.

Cette hypothèse viendrait aussi conforter les constatations de mauvaise valorisation des fumiers. Ceux-ci sont trop frais pour offrir à la culture de l'azote sous forme minérale quand elle en a besoin.

Il faut mentionner aussi un problème d'enfouissement du fumier puisque celui-ci se retrouve par plaques sur le fond de labour.

De plus, la structure des sols étudiés est mauvaise avec des séquences d'hydromorphie et un durcissement en cas de période sèche, ce qui n'est pas favorable non plus à une bonne installation du système racinaire.

B 3.2 - CONSOLIDATION DE LA GRILLE REGIONALE DE FOURNITURE DANS LES SYSTEMES D'ELEVAGE.

Dans le cadre de la mise en place de références pour une meilleure gestion de la fertilisation azotée du maïs en Alsace, l'ARAA a piloté depuis 1987, un programme de " témoins zéro ". Ces parcelles non fertilisées l'année de l'expérimentation ont pour but de mesurer les fournitures du sol dans une grande variété de situations clairement identifiées et à établir une série de valeurs de référence concernant les fournitures. Par ailleurs, elles servent de support à l'animation des diverses opérations FERTI-MIEUX

Cet aspect a été développé dans le cadre du projet ITADA A1.4.

Les expérimentations mises en place depuis 1987 et plus spécifiquement de 96 à 98, devaient intégrer des situations en système d'élevage où des déjections animales étaient apportées l'année de la culture ou l'année d'avant de façon à mesurer un effet direct du fumier ou un arrière-effet et de l'intégrer dans le conseil de fumure.

Une analyse de la base de données constituée par l'ARAA entre 1987 et 1998 a été réalisée, plus spécifiquement sur ces situations, soit 210 résultats de témoins zéro, dont 116 concernent des apports sur la culture et 88 des apports dans le cadre de la rotation.

Les témoins 96 à 98 sont au nombre de 25 (6 en 96, 10 en 97, 9 en 98, cf. annexes rapport A1.4).

154 situations ont pu être exploitées par type de sol car suffisamment nombreuses.

L'analyse de la base de données est présentée dans le tableau 2 suivant qui donne, en fonction du type de sol, les valeurs de fourniture en azote selon qu'il s'agisse d'un effet direct ou d'un arrière effet. Dans les situations où le nombre de références était suffisamment grand, la distribution des résultats a été analysée par quintile. Les valeurs obtenues sont comparées aux valeurs médianes de la grille régionale de références en système sans déjections animales de façon à en quantifier l'effet.

Les résultats sont représentatifs pour 5 types de sol (nombre de témoins zéro > 10) et pour 3 d'entre eux, les loess, lehms, et lehms sur loess, on peut distinguer des situations bas-rhinoises et haut-rhinoises.

NB : les types de sol sont moins nombreux que pour l'ensemble des références " témoins zéro " mais représentatifs des secteurs d'élevage en plaine alsacienne.

Les cas avec précédents particuliers (choux, tabac, betterave...) n'ont pas été pris en compte (références trop peu nombreuses) ; nous nous sommes attachés aux systèmes céréaliers (céréales à paille, maïs grain ou fourrage).

L'arrière effet (AE) est mesuré au travers de l'absorption d'azote d'un 'témoin zéro' qui ne reçoit ni déjections animales ni engrais minéral l'année de la culture, mais qui se situe sur une parcelle qui en reçoit régulièrement (tous les 2 ans).

AE s'obtient en déduisant de cette valeur, la quantité d'azote absorbé par un 'témoin zéro' qui ne reçoit jamais de déjections.

L'effet direct (ED) est mesuré au travers de l'absorption d'azote d'un témoin zéro qui reçoit des déjections animales mais pas d'engrais minéral l'année de la culture.

ED s'obtient en déduisant de cette valeur, la quantité d'azote absorbé par un 'témoin zéro' qui se situe sur une parcelle qui reçoit régulièrement des déjections mais qui n'en a pas reçu l'année de la culture.

☛ Les valeurs élevées d'écart-type indiquent une grande variabilité des résultats liée à un outil de mesure " grossier " : les fumiers et lisiers sont considérés comme équivalents et on ne tient pas compte de la date d'apport.

Parfois les références sont peu nombreuses et l'écart entre les valeurs observées est encore plus important.

☛ L'effet direct est généralement plus important que l'arrière effet sauf dans les loess bas-rhinois où l'azote des déjections animales semble se minéraliser plus lentement et rester disponible plus longtemps.

☛ Hormis les lehms sur loess et les loess du Haut-Rhin, sur lesquels les déjections animales ne sont pas bien valorisées, confirmant certains résultats du chapitre précédent, on peut compter sur au moins 30 unités quand les apports se font juste avant la culture dans des parcelles qui reçoivent régulièrement des déjections.

A l'inverse, dans les mêmes situations, les lehms du Haut-Rhin procurent des fournitures importantes d'azote, et confirment certaines " bonnes valorisations " des fumiers observées dans les couples du chapitre précédent (ex : Seppois et Fulleren 96).

Cette disparité de résultats pour les sols du Sundgau confirme celle des couples 'avec et sans fumier' étudiés plus haut (cf. tableau 1).

TABLEAU 2 : valeurs de fournitures de sol mesurées dans les témoins zéro exprimées en kg N/ha ou Unités :

Type de sol	Code sol local	Arrière effet/Effet direct	Nombre de résultats	Minimum	Q1	Médiane	Q4	Moyenne	Ecart-type	ED médian	Valeur grille médiane sans DA	AE médian/grille médiane sans DA	AE + ED médian/grille médiane sans DA
Ried brun caillouteux	111	ED AE	15 3	108 153	153	171 166	225	186 185	53 45	+5	130	+36	+41
Basse Plaine rhénane	120	ED AE	12 6	69 69	130	174 158	230	174 155	51 71	+16	126	+32	+48
Loess Bas-Rhin	210	ED AE	22 8	138 169	150 170	179 189	206	183 190	34 26	-10	151	+38	+28
Loess Haut-Rhin	210	ED AE	3 6	84 86		110 127		113 126	31 32	-17	103	+24	+7
Lehm/Loess Bas-Rhin	214	ED AE	6 7	206 147		210 178		217 183	16 24	+32	175	+3	+35
Lehm/Loess Haut-Rhin	214	ED AE	4 5	111 95		140 99		139 126	29 42	+41	123	-24	+17
Lehms Bas-Rhin	220	ED AE	8 5	52 92	77	140 124		134 128	46 38	+16	107	+17	+33
Lehms Haut-Rhin	220	ED AE	17 27	96 70	126 108	189 140	222 174	179 142	46 38	+49	107	+33	+82
<i>M o y e n n e</i>												+20	+36
<i>M é d i a n e</i>												+29	+34

ED = effet direct AE = arrière effet
Q1 = 1er quintile Q4 = 4ème quintile

N.B. : La distinction Bas-Rhin, Haut-Rhin se fait sur des critères climatiques.

Ex : les lehms du Sundgau (68) se situent à 300-500m d'altitude et sont soumis à une pluviométrie plus importantes que leurs homologues du Bas-Rhin plutôt à 200-300m d'altitude.

☛ L'arrière-effet est moins variable que l'effet direct. Hormis les situations en lehm sur loess où il ne reste apparemment plus d'azote disponible en provenance des déjections et les lehms du Bas-Rhin, on peut également compter sur 30 unités sous l'influence de l'arrière-effet.

☛ Les éleveurs qui font des apports réguliers de fumier ou de lisier sur leurs parcelles peuvent donc compter sur une fourniture supplémentaire de l'ordre de 35 unités par rapport à la valeur médiane de la grille régionale.

C'est donc autant de kg d'azote à l'hectare qu'il faudra déduire dans le calcul de la dose d'engrais à apporter pour ne pas créer des situations de surfertilisation et faire prendre des risques à la qualité de l'eau.

B 4 CONCLUSION :

B 4.1 CONCLUSION SUR LA VALORISATION DE L'AZOTE EN SITUATION DIFFICILE

Les essais conduits dans le cadre de ce projet indiquent effectivement, comme on l'avait observé par le passé, qu'il existe des cas où apparaît une mauvaise valorisation de l'azote des déjections animales dans les sols limoneux, sensibles au tassement et parfois hydromorphes du Sundgau et de l'arrière Kochersberg. Celle-ci n'est cependant pas systématique et ce phénomène ne semble pas forcément lié à la présence d'hydromorphie puisqu'il a été constaté dans des situations saines également. Les résultats ont un caractère aléatoire que l'on ne sait pas expliquer.

En absence de facteurs explicatifs bien clairs, il semble que l'on peut trouver une réponse à ce phénomène dans les points communs entre les parcelles suivies :

- ☛ Une zone de sol tassé à 30 cm et une mauvaise colonisation du sol par le système racinaire au delà.
- ☛ Un labour tardif (avril) et des apports tardifs de déjections peu évoluées. L'azote contenu dans le fumier ou le lisier n'est pas suffisamment minéralisé pour être valorisé par le maïs au moment où il en a besoin. De ce fait aucune différence n'apparaît par rapport à un maïs qui n'a à sa disposition que les fournitures du sol.

Le fumier faiblement décomposé au printemps peut également représenter un obstacle au développement et à la migration en profondeur des racines.

Des expérimentations devraient se poursuivre sur ce thème avec une comparaison entre fumier frais et fumiers évolués.

Une question reste toutefois posée : à quel moment l'azote des déjections animales se minéralise-t-il ?

Cet azote, qui semble être bloqué en partie dans la matière organique du sol, est susceptible de se minéraliser lors d'un hiver doux, et peut présenter un risque d'entraînement vers les eaux.

Ces essais montrent les limites de l'approche classique du conseil de fertilisation azotée.

En présence de déjections animales dans ces petites régions, celui-ci ne peut se contenter de se baser sur une " valeur fertilisante " que multiplie un certain tonnage, mais doit intégrer d'autres paramètres, en particulier la structure du sol et la date d'épandage.

De telles expérimentations méritent donc d'être poursuivies, en intégrant l'organisation du travail, de façon à sécuriser le conseil dans de telles situations. En effet si le fumier était

apporté sur des terres mieux structurées et dans de meilleures conditions le conseil serait peut-être plus aisé.

De plus on peut également évoquer une certaine perte sur le plan économique au travers de la non-valorisation de l'azote des déjections et le "manque à gagner" en rendement, non chiffrable avec les références actuelles, mais que l'on pourrait atteindre si le fumier était apporté dans de meilleures conditions.

Actuellement ce sont des contraintes liées au système d'exploitation d'un grand nombre d'agriculteurs de ces zones d'élevage, qui les obligent à effectuer des labours tardifs et des apports de fumier frais au printemps.

Dans ces secteurs, la solution passerait sans doute par un changement de pratiques : stockage du fumier produit en fin d'hiver jusqu'en été pendant l'été, de façon à le faire évoluer ; labours plus précoces pour améliorer la structure. Ce changement suppose des contraintes en terme de capacité de stockage, manipulation pour la reprise, équipement en matériel et temps de main d'oeuvre, que bien des éleveurs ne sont probablement pas prêts à assumer.

Quant à la date d'épandage, l'absence de référence sur l'apport d'un fumier composté au printemps ne nous permet pas de conclure.

B 4.2 CONCLUSION SUR LA CONSOLIDATION DE LA GRILLE REGIONALE DE FOURNITURE DANS LES SYSTEMES D'ELEVAGE.

Les déjections animales épandues sur maïs constituent une source d'azote minéral pour la culture. Beaucoup d'agriculteurs n'en tiennent pas encore suffisamment compte pour le calcul de la fertilisation azotée et contribuent ainsi à la pollution nitratée de la nappe phréatique.

La valorisation de la base de données, obtenue grâce aux expérimentations menées en Alsace depuis 1987, permet d'affiner le conseil dans les systèmes d'élevage.

Les résultats indiquent des fournitures en azote du sol plus importantes en système d'élevage. C'est une tendance dont on pourrait chiffrer l'importance grâce à des outils d'évaluation plus fins (analyse des déjections, date d'apport...) mais dont on ne dispose pas ici.

La grande variabilité des résultats ne permet pas de faire un conseil global. On pourrait l'orienter vers une réduction des apports d'engrais minéral mais il reste difficile et aléatoire de chiffrer cette réduction.

Le conseil diffusé actuellement, soit une diminution de 35 U quand on peut compter sur un arrière effet et de 40 U quand il y a un effet direct, a été établi d'après des références acquises en sols de Ried brun et en prenant la valeur 'moyenne - écart-type'.

Le tableau ci-dessus qui prend en compte des références plus nombreuses et sur des situations pédo-climatiques plus variées bouscule en partie ce conseil.

Ces résultats amènent donc à reconsidérer le conseil Ferti-mieux dans certaines situations.

Il faudrait avoir caractérisé l'état structural des témoins pour analyser des groupes à la variabilité plus réduite. Cette opération est contraignante et lourde à réaliser et n'a pas été faite complètement comme le prévoyait le protocole.

Dans les situations variables et à problème il faudrait donc poursuivre l'acquisition de références de façon plus fine afin de pouvoir divulguer un conseil adapté et plus solide.

Partie C - Faisabilité des apports d'automne en lisier sur sol moyennement filtrant et sur sol peu filtrant

C 1 Introduction

L'opportunité d'épandre des lisiers dès l'automne pour une culture implantée au printemps suivant est remise en cause dans les textes réglementaires : Code des Bonnes Pratiques Agricoles côté français et la Dünge-Verordnung, côté allemand.

En effet, le Code des Bonnes Pratiques Agricoles n'autorise l'épandage des fertilisants azotés de type II, ($C/N < 8$, dont lisiers) avant cultures de printemps qu'à partir du 15 janvier. Sous l'hypothèse d'un climat semi-continental froid et peu pluvieux à l'entrée de l'hiver, et de sols à sensibilité très variée par rapport aux risques de lessivage, on peut se demander si le risque de pertes élevées de nitrates liées à des apports de lisier en automne est systématique. C'est pourquoi une dérogation a été demandée par la profession agricole alsacienne et accordée, en ramenant cette date au 1^{er} novembre.

C 2 But

Le but du suivi expérimental est de vérifier que la pratique dérogatoire, admise en Alsace, n'augmente pas le risque de pertes de nitrates par rapport à la pratique autorisée. On s'attache donc à tester différentes propositions techniques permettant de vérifier si des apports de lisier en novembre aggravent les risques de pollution par les nitrates.

C 3 Méthodologie et suivi mis en place

Le choix des situations et motivation

Les moyens humains et financiers ne permettant pas de suivre toutes les situations pédoclimatiques alsaciennes, il apparaissait néanmoins important de vérifier le niveau de risque pris dans des situations pédologiques très contrastées et nous avons choisi d'étudier l'épandage de fertilisants de type lisier, d'une part sur **sol à sensibilité moyenne à élevée** de pertes de nitrates, d'autre part sur **sol à sensibilité très limitée**.

➔ Finalement on a retenu les **sols à sensibilité moyenne à élevée** (plutôt que ceux à sensibilité très élevée) car :

* en Alsace, les sols à sensibilité très élevée de pertes de nitrates sont principalement des sols très caillouteux et peu épais dans lesquels il n'est pas possible de faire de prélèvements de terre et donc d'obtenir des mesures. Les sols très sableux qui sont aussi à sensibilité très élevée sont peu fréquents dans la zone vulnérable (sables de la basse plaine rhénane le long du Rhin ou pliocène de Haguenau) ; de plus, la minéralisation des matières organiques y est particulière, car très rapide, et donc non représentative des autres types de sols.

* on peut trouver dans les sols à sensibilité élevée des sols suffisamment profonds (au moins 60 cm) pour que les mesures réalisées soient significatives.

* on peut estimer que les sols à sensibilité élevée représentent 15 à 20% des sols de la zone vulnérable ; les sols à sensibilité très élevée représentant à peu près la même chose.

➔ Les **sols à sensibilité très limitée**, c'est-à-dire des sols dont la réserve utile est supérieure à 180 mm, ont quant à eux été retenus, pour vérifier l'hypothèse selon laquelle ils présentent des risques plus faibles de pertes de nitrates.

Le protocole prévisionnel en sol à sensibilité moyenne à élevée

Dans un sol moyennement sensible au lessivage des nitrates, on compare différentes dates d'apports de lisier associées à différentes modalités de couverture et de travail du sol.

a. Choix de la parcelle

La parcelle doit avoir une réserve utile comprise entre 80 et 120 mm, ce qui combine une sensibilité moyenne au lessivage et une possibilité de mise en évidence du phénomène. En effet, sur des sols à réserve beaucoup plus faible, le lessivage peut être important et brutal et échapper ainsi aux mesures. Il est souhaitable que le sol soit le plus homogène possible : un sol sablo-limoneux à limono-sableux profond conviendrait bien.

La parcelle est cultivée en maïs grain l'année de la mise en place de l'essai et l'année suivante. La parcelle reçoit des déjections animales tous les 2 ou 3 ans.

b. Traitements à comparer

1. Témoin sans lisier sur sol nu (débarrassé des cannes de maïs) et labour en Novembre
2. Apport de lisier sur sol nu le 1/11 et labour de Novembre
3. Apport de lisier sur cannes le 1/11 et labour de Novembre
4. Témoin sans lisier avec cannes de maïs et labour en Novembre
5. Apport de lisier sur cannes de maïs après le 15/1 et après labour de Novembre
6. Apport de lisier sur cannes de maïs après le 15/1 suivi d'un labour tardif
7. Témoin sans lisier avec cannes de maïs et labour tardif (après le 15 janvier)

c. Dispositif expérimental

Chaque traitement sera constitué d'une bande de la longueur de la parcelle et de la largeur de l'épandeur à lisier (ou d'un multiple de celle-ci).

Avant épandage, le lisier sera homogénéisé dans la fosse.

La dose de lisier sera calculée de façon à représenter environ 200 unités d'azote. On utilisera le Quantofix pour déterminer la teneur en azote du lisier au moment de l'épandage.

Le lisier sera également prélevé et envoyé pour analyse à la SADEF.

La dose apportée sera recalculée en pesant l'épandeur avant et après épandage.

Pour les traitements "sur cannes", celles-ci seront broyées.

d. Suivi expérimental

Une mesure de l'azote minéral du sol sera réalisée vers les 1/11, 1/12, 15/01 et 15/03 dans toutes les bandes ayant subi des traitements différents à la date de la mesure (voir tableau récapitulatif).

L'année suivante, un témoin zéro (sans apport d'engrais azoté minéral) sera mis en place dans chacune des bandes dans la culture de maïs, afin de mesurer la valorisation du lisier par le maïs.

Tous les échantillons de terre et de maïs des témoins zéro seront envoyés à la SADEF pour analyse.

e. Tableau récapitulatif

N° trait.	1	2	3	4	5	6	7
Couverture sol	sol nu	sol nu	cannes broyées				
Apport lisier	non	oui	oui	non	oui	oui	non
Date apport lisier	-	1/11	1/11	-	15/01	15/01	-
Date labour	10/11	10/11	10/11	10/11	10/11	16/01	16/01
Reliquats 1/11 (avant apport lisier)		X	X				
Reliquats 1/12	X	X	X	X			X
Reliquats 15/01	X	X	X	X	X	X	X
Reliquats 15/03	X	X	X	X	X	X	X
Témoin 0N	X	X	X	X	X	X	X

Le protocole prévisionnel en sol à sensibilité très limitée

En sol profond, peu sensible au lessivage des nitrates, on cherche à déterminer la dose de lisier à ne pas dépasser à l'automne, pour ne pas augmenter significativement les pertes de nitrates.

a. Choix de la parcelle

On retiendra une parcelle cultivée en monoculture de maïs, à sol limoneux, profond, et où les apports de lisier ont lieu tous les 2 ou 3 ans. Il faut éviter les parcelles trop "chargées".

b. Traitements à comparer

1 Témoin sans lisier

2 Apport d'une dose faible de lisier en novembre

3 Apport d'une dose moyenne de lisier en novembre

4 Apport d'une dose forte de lisier en novembre

Le niveau des doses faible, moyenne et forte sera choisi en fonction de la composition du lisier et de l'épandeur disponible. Ce pourra être 20-40 et 60 m³ ou 30-45 et 60 m³. La dose moyenne devrait correspondre à environ 200 unités d'azote apportées.

c. Dispositif expérimental

Chaque traitement sera constitué d'une bande de la longueur de la parcelle et de la largeur de l'épandeur à lisier (ou d'un multiple de celle-ci)

Avant épandage, le lisier sera homogénéisé dans la fosse.

On utilisera le Quantofix pour déterminer la teneur en azote du lisier au moment de l'épandage.

Le lisier sera également prélevé et envoyé pour analyse à la SADEF.

La dose apportée sera recalculée en pesant l'épandeur avant et après épandage.

La parcelle sera labourée juste après l'épandage du lisier.

d. Suivi expérimental

Une mesure de l'azote minéral du sol sera réalisée vers les 1/11, 1/12, 15/01 et 15/03 dans toutes les bandes ayant subi des traitements différents à la date de la mesure (voir tableau récapitulatif).

L'année suivante, un témoin zéro (sans apport d'engrais azoté minéral) sera mis en place dans chacune des bandes dans la culture de maïs, pour mesurer la valorisation du lisier par le maïs. Tous les échantillons de terre et de maïs des témoins zéro seront envoyés à la SADEF pour analyse.

e. Tableau récapitulatif

N° traitement	1	2	3	4
Couverture sol	cannes broyées	cannes broyées	cannes broyées	cannes broyées
Apport lisier	non	oui	oui	oui
Date apport lisier	-	début Novembre	début Novembre	début Novembre
Dose lisier	nulle	faible	moyenne	forte
Reliquats 1/11 (avant apport lisier)	X			
Reliquats 1/12	X	X	X	X
Reliquats 15/01	X	X	X	X
Reliquats 15/03	X	X	X	X
Témoin 0N	X	X	X	X

C 4 Les résultats des expérimentations

C 4.1. L'essai 96/97 en sol à sensibilité moyenne à élevée

Lieu : Friesenheim (67)

Type de sol : sol sableux profond - RU = 80 mm

Type de déjections apportées : lisier de porc

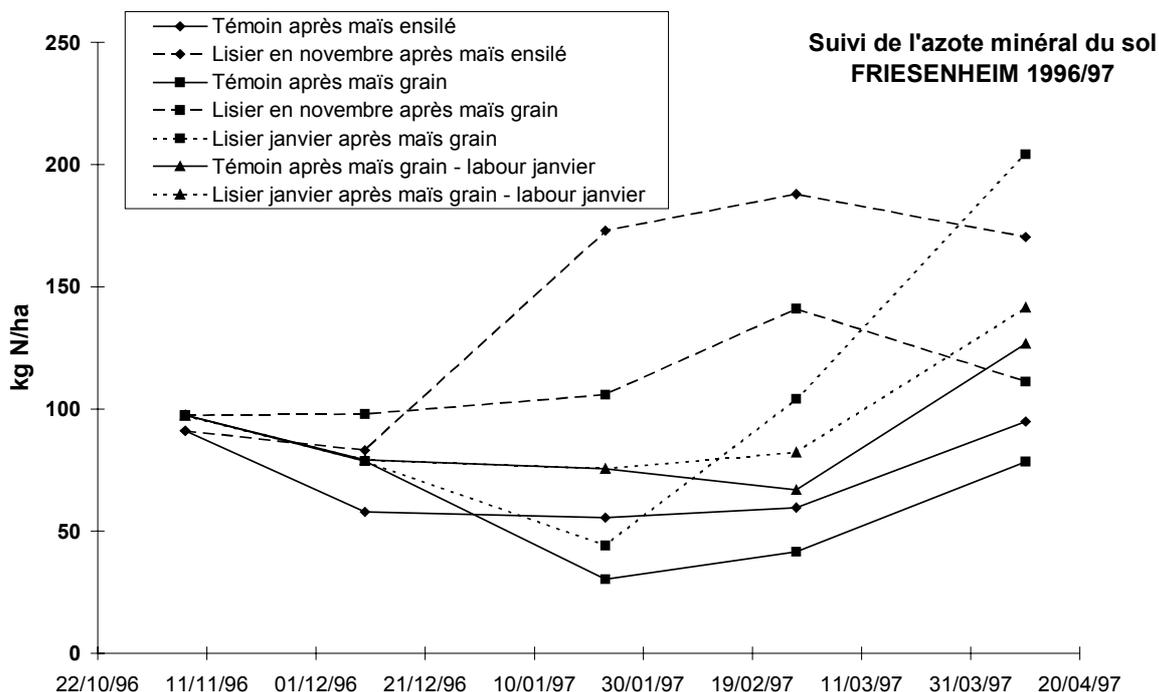
Teneur en N total : 5,3 kg N/m³ dont 3 kg sous forme ammoniacale pour l'apport de novembre; 3,6 kg/m³ dont 1,7 kg sous forme ammoniacale pour l'apport de janvier

Quantités apportées : 65 m³/ha, soit 344 kg N total en novembre et 234 kg N total en janvier

Dates d'apport du lisier : 7 novembre et 24 janvier

Remarque : une mauvaise interprétation de la mesure réalisée au Quantofix a conduit à apporter une dose de lisier trop élevée en Novembre, soit 344 U au lieu de 200.

Les résultats sur l'azote nitrique du sol



Les résultats détaillés des mesures figurent à l'annexe 1.

Sur les témoins sans lisier

On observe une baisse des quantités d'azote minéral du sol entre novembre et janvier. Des pertes de nitrates par lessivage se sont probablement produites en novembre : dans les 2 témoins, maïs ensilé et maïs grain, on passe respectivement de 91 à 58 et de 97 à 78 kg d'azote par hectare. Or le mois de novembre a été très arrosé (141 mm sur le poste météo de Diebolsheim), en particulier au cours de la deuxième décade (85 mm), et le sol de la parcelle est plutôt filtrant. Le bilan hydrique réalisé (annexe 2) confirme ces hypothèses : le drainage débute dès la mi-novembre et peut commencer à emmener des nitrates dès ce moment.

Pour le reste de l'hiver, les 2 témoins manifestent des comportements divergents. Après maïs grain, on observe une diminution de la quantité d'azote minéral du sol, alors que les pluviométries sont faibles et les températures très basses en janvier : les quantités d'azote minéral devraient peu varier.

En résumé, sur la période du 7/11 au 23/01, on observe, sur le témoin maïs ensilé des pertes de nitrates par lessivage en novembre, de l'ordre de 30 U, alors qu'elles sont nulles pendant la période froide et sèche qui a suivi.

Sur le témoin maïs grain, les pertes par lessivage sont moins importantes, avec un probable blocage de l'azote dans les pailles.

Dans ces 2 témoins sans apport de lisier, les teneurs remontent de façon significative en avril à la suite d'un mois de mars "chaud" et favorable à la minéralisation de la matière organique du sol.

Sur le témoin labouré en janvier, on note une baisse de la quantité d'azote minéral du sol, sans doute due à la réorganisation de l'azote des pailles, puis une augmentation. En avril, c'est sur ce témoin que la quantité d'azote minéral est la plus élevée.

Sur les traitements avec lisier

On observe qu'une grande partie de l'azote contenu dans le lisier ne se retrouve pas dans le sol immédiatement après l'apport. Or celui-ci est épandu en surface : on s'attendrait donc à retrouver plus d'azote minéral, au moins dans les premiers horizons. Une volatilisation se serait-elle produite ?

Néanmoins, dès janvier, une grosse partie de l'azote du lisier se retrouve dans les différents horizons et est susceptible d'être lessivée. C'est d'ailleurs ce qui a dû se produire entre la mesure du mois de février et celle d'avril.

Là aussi, le fait de laisser les cannes de maïs est favorable à la réorganisation par rapport au sol nu : on retrouve moins d'azote minéral dans le traitement après maïs grain que dans le traitement après maïs ensilé aux différentes dates de prélèvement.

L'apport de lisier en janvier fait augmenter de façon très significative les quantités d'azote minéral du sol, mais à une période moins susceptible de drainage. L'apport suivi du labour provoque une augmentation moins rapide : l'azote du lisier commence par servir à décomposer les pailles de maïs qui n'avaient pas encore été enfouies.

En définitive, dans le contexte climatique de l'hiver 1996 et du printemps 1997, il apparaît qu'un épandage de lisier sur cannes de maïs broyées apporte au sol un stock d'azote dont les possibilités de minéralisation, et donc le risque de lessivage, semblent plus importants quand celui-ci est épandu en automne et immédiatement suivi d'un labour.

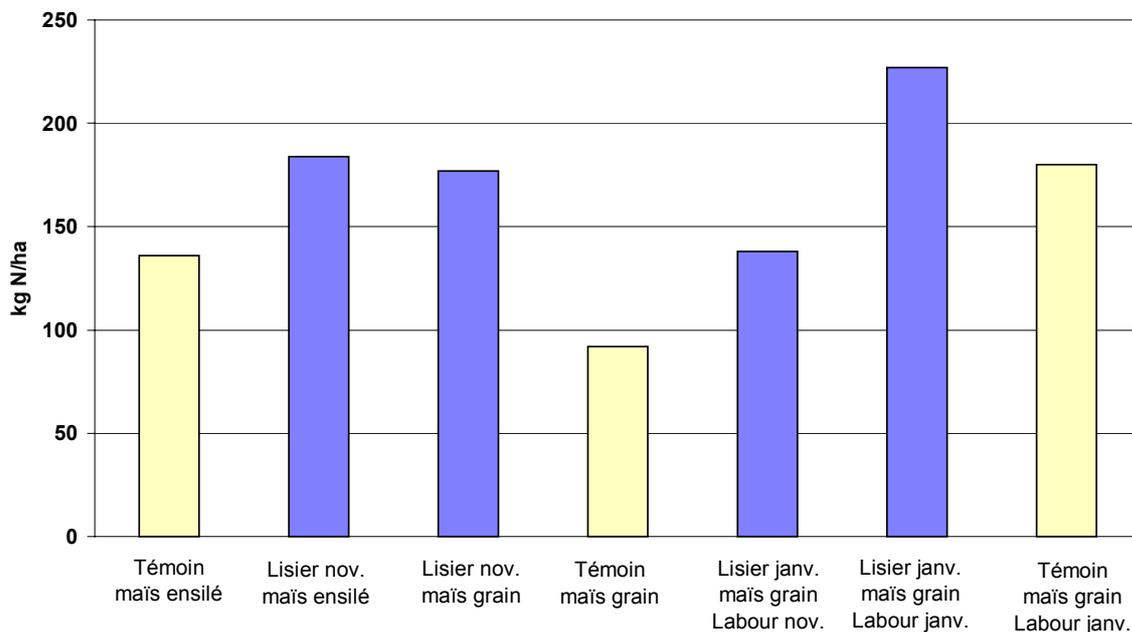
Dans le cas d'un apport de lisier en janvier, le labour d'automne semble favoriser la réorganisation dans un premier temps, mais un relargage assez massif d'azote minéral apparaît par la suite au printemps. Alors que si le labour intervient lui aussi en janvier, juste après l'épandage, le phénomène de réorganisation semble avoir lieu également mais avec un décalage dans le temps, et au début du printemps lorsque les températures remontent une partie de cet azote reste encore piégé dans la matière organique, présentant par conséquent moins de risques d'être lessivée.

Les résultats sur la culture de maïs suivante

Le graphique ci-dessous montre la quantité d'azote absorbé par un maïs cultivé sans engrais minéral après chacun des traitements. On observe que les 2 témoins après maïs ensilé et maïs grain donnent les résultats les plus faibles. Le témoin labouré en janvier fournit près de 90 unités de plus que son homologue labouré en novembre.

Là où on a apporté du lisier, les fournitures du sol sont supérieures à celles enregistrées sur le témoin correspondant : cela indique que le lisier est en partie valorisé par le maïs. Cette valorisation varie de 46 à 85 unités d'azote et représente de 14 à 25% de l'azote total apporté par le lisier.

**Quantité d'azote absorbé par le maïs
FRIESENHEIM 1996/97**



Le détail des résultats figure à l'annexe 3.

C 4.2. L'essai 97/98 en sol à sensibilité moyenne à élevée

L'essai

Lieu : Mommenheim (67)

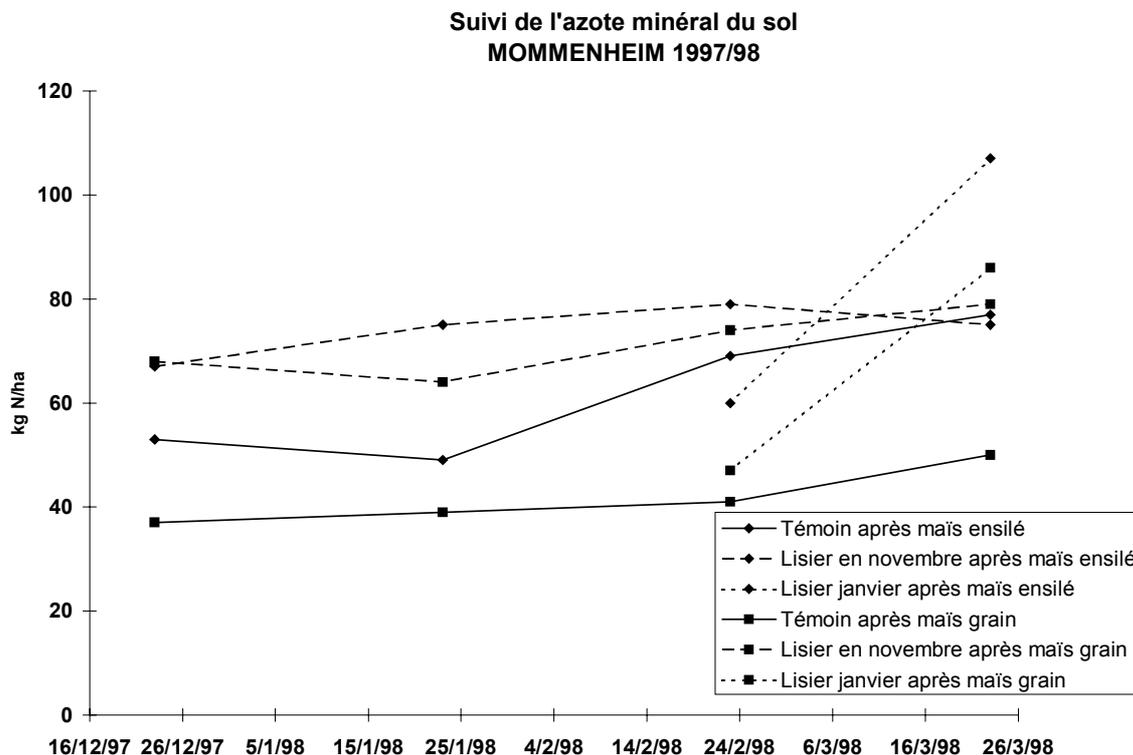
Type de sol : limon argilo-sableux hydromorphe ; RU = 130 mm

Type de déjections apportées : 50 m³ de lisier de bovins - Teneur en N total : 2,1 kg/m³ dont 1,0 sous forme ammoniacale, soit un apport de 105 unités d'azote

Dates d'apport du lisier : 24/11/97 et 23/01/98

Remarque : le protocole a été modifié en supprimant les traitements 5 (apport de lisier après maïs grain labouré en novembre) et 7 (témoin après maïs grain labouré en janvier), et en ajoutant un traitement 6bis, apport de lisier en janvier après maïs ensilé.

Les résultats sur l'azote nitrique du sol



Les résultats détaillés figurent à l'annexe 4.

Sur les témoins sans lisier

La courbe "témoin après maïs grain" se situe au niveau le plus faible ; elle est relativement stable au cours de l'hiver. La répartition de l'azote minéral entre les 3 horizons est peu modifiée au cours du temps. On peut estimer qu'il y a eu peu de lessivage au cours de l'hiver. Cette hypothèse est confirmée par l'analyse du bilan hydrique de la parcelle (annexe 5) qui fait apparaître un excédent de 105 mm. Dans le type de sol étudié, le modèle de Burns prédit un lessivage de 25% des nitrates répartis dans le profil et 6% des nitrates apportés en surface. Des températures relativement douces de l'hiver ont sans doute permis la minéralisation, surtout en février.

La courbe "témoin après maïs ensilé" se situe à un niveau supérieur à la précédente et montre une évolution quasi parallèle. L'écart d'une vingtaine d'unités entre les 2 courbes est dû à l'immobilisation d'une partie de l'azote du sol par les microorganismes qui l'utilisent pour décomposer les cannes de maïs. On peut noter pour ce traitement que la répartition de l'azote dans le profil se modifie avec un enrichissement des horizons profonds entre décembre et février, et au contraire une augmentation dans l'horizon de surface en mars. Cela confirme un lessivage modéré des nitrates au cours de l'hiver et une reprise de la minéralisation dès février.

Sur les traitements avec lisier

A la suite de l'apport de lisier en novembre après maïs grain, on observe que le niveau d'azote minéral du sol est supérieur à celui du témoin d'une trentaine d'unités et suit une évolution similaire. La relative sécheresse de l'hiver a sans doute conduit à des pertes très faibles par lessivage. Il est à noter que l'apport d'azote total a été relativement modéré (100 unités).

L'analyse de la courbe "lisier en novembre après maïs ensilé" montre une évolution plus défavorable des profils d'azote minéral du sol, avec un enrichissement en profondeur qui semble indiquer une descente des nitrates. Cela peut s'expliquer par un bilan hydrique différent (drainage plus important après maïs ensilé qu'après maïs grain) et par l'absence d'utilisation de l'azote pour la décomposition des pailles.

L'apport de lisier en janvier se traduit par une forte augmentation des quantités d'azote minéral dans le sol : fin Mars, on atteint 100 unités. S'il n'y a pas d'excès pluviométrique en avril et mai, cet azote sera immédiatement disponible pour l'alimentation de la culture.

Conclusions

Sur cette parcelle, on observe que l'enfouissement des cannes de maïs a immobilisé une vingtaine d'unités d'azote et que l'apport d'un lisier même peu chargé en azote a augmenté le niveau d'azote minéral dans le sol à l'entrée de l'hiver.

L'hiver 97/98 a été peu pluvieux : dans ce sol dont la réserve utile a été estimée à 130 mm, le drainage n'a pas dépassé 105 mm, ce qui ne provoque qu'un lessivage modéré des nitrates.

Fin février, il y a plus d'azote minéral dans le sol dans les traitements ayant reçu du lisier en novembre que dans ceux en ayant reçu en janvier.

L'apport de lisier sur cannes de maïs est moins risqué que l'apport après maïs ensilé.

Les résultats sur la culture de maïs suivante

La parcelle de l'essai a été victime d'un violent orage le 1/5/98, quelques jours après le semis du maïs. Cet orage a créé un fort ruissellement qui a entraîné des graines de maïs et obligé l'agriculteur à ressemé une partie de la parcelle, d'où des rangs de double densité et d'autres à densité simple. Cela rend les mesures de biomasse à la récolte très peu fiables et nous empêche de les exploiter.

C 4.3. L'essai 96/97 en sol à sensibilité très limitée

L'essai

Lieu : Ittenheim (67)

Type de sol : sol limoneux profond - RU = 180 mm

Type de déjections apportées : lisier de porc - Teneur en N ammoniacal : 2,4 kg/m³

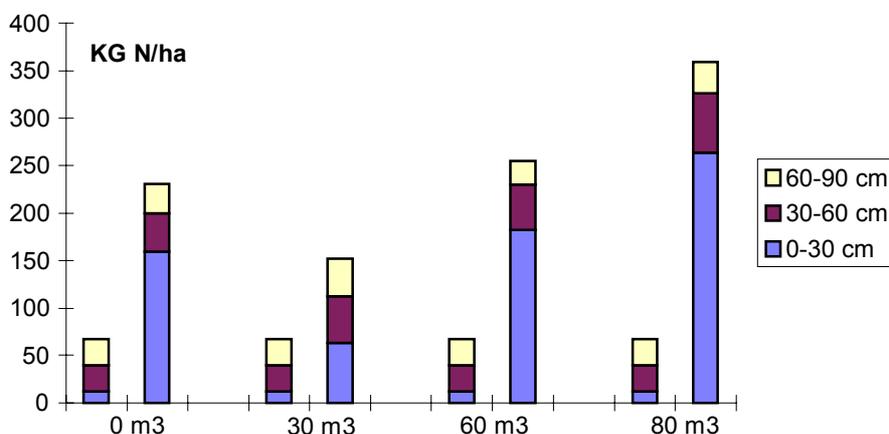
Doses de lisier apportées : 0, 30, 60 et 80 m³

Dates d'apport du lisier : 10 décembre

Remarque : le suivi de l'azote minéral du sol en hiver n'a pas été réalisé.

Les résultats sur l'azote du sol

Evolution entre le 10/12/96 et le 16/06/97 ITTENHEIM 96/97



Le détail des mesures figure à l'annexe 6.

On constate, entre les 2 dates, une forte augmentation de la quantité d'azote minéral du sol, essentiellement dans l'horizon superficiel : cela est principalement dû à la minéralisation printanière.

La relative stabilité de la quantité d'azote minéral de l'horizon profond laisse supposer qu'il n'y a sans doute pas eu de lessivage important de l'azote nitrique. Cette hypothèse est confirmée par le bilan hydrique (annexe 7) qui laisse apparaître sur l'hiver un excédent de 74 mm qui, dans ce type de sol, crée un lessivage très faible. Il est à noter que l'hiver 96/97 a été plutôt humide : la somme des pluies d'octobre à février a été de 300 mm à Wiwersheim alors que la moyenne d'Entzheim est de 204 mm.

Les résultats sur la culture de maïs suivante

Traitement	0 m ³	30 m ³	60 m ³	80 m ³
Rendement grain (q/ha)	109,7	120,8	124,2	120,0
% humidité	26,8	27,0	26,4	25,7
Biomasse produite	20,19	-	-	-
Quantité d'azote absorbé (kg N/ha)	225	-	-	-
kg N/q grain	2,05	-	-	-
kg N/t MS	11,15	-	-	-

La biomasse n'a été mesurée que sur le traitement sans lisier. Par contre, le rendement grain a été mesuré sur les 4 traitements.

Sans apport de lisier, le rendement atteint 110 q/ha et les fournitures d'azote par le sol sont très élevées, 225 unités. L'apport de 30 m³ de lisier permet d'augmenter le rendement de 11 quintaux. On ne peut affirmer que l'augmentation supplémentaire de 3 quintaux obtenue avec les 60 m³ de lisier soit significative. Pour cet essai, la dose maximale de lisier est sans doute proche de 30 m³.

Cet essai, bien qu'incomplet, montre que l'apport d'une dose modérée de lisier à l'automne sur un sol profond n'augmente pas sensiblement les pertes de nitrates par lessivage. Ce lisier est valorisé par le maïs suivant.

C 4.4. L'essai 97/98 en sol à sensibilité très limitée

L'essai

Lieu : Pfulgriesheim (67)

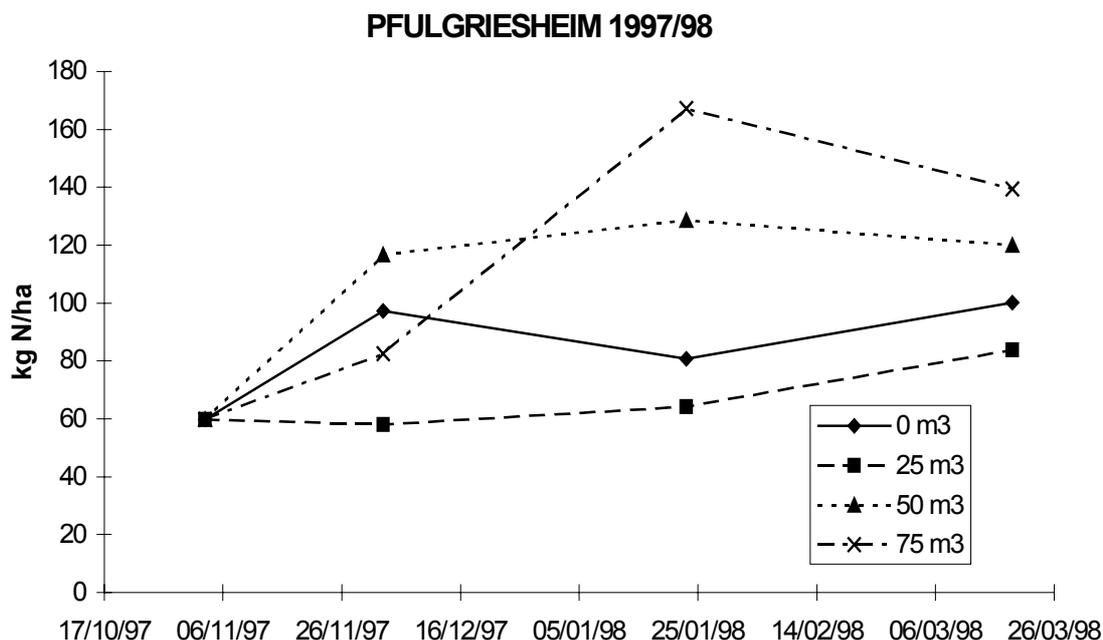
Type de sol : sol limoneux profond - RU = 180 mm

Type de déjections apportées : lisier de porc - Teneur en N total : 4,2 kg/m³ dont 2,3 sous forme ammoniacale

Doses de lisier apportées : 0, 25, 50 et 75 m³ soit 0, 105, 210, 315 kg N total/ha ou 0, 57, 114, 172 kg N ammoniacal/ha

Dates d'apport du lisier : 3 novembre

Les résultats sur l'azote du sol



La quantité d'azote minéral du sol a plutôt tendance à augmenter au cours de l'hiver, sans doute par la minéralisation des matières organiques du sol et du lisier. Le fait que la courbe correspondant à l'apport de 25 m³ de lisier soit au-dessous de la courbe 0 m³ est difficilement interprétable.

L'analyse de la répartition du reliquat entre les différents horizons (voir annexe 8) montre une descente de l'azote nitrique vers les horizons profonds, mais à une profondeur accessible par les racines de la culture suivante.

L'hiver a été relativement sec et le drainage faible (annexe 9) : il n'y a pas eu de pertes de nitrates par lessivage.

Les résultats sur la culture de maïs suivante

Traitement	Rendement grain q/ha	Biomasse produite t/ha
0 m ³ lisier	115	21,6
25 m ³ lisier	96	18,2
50 m ³ lisier	111	18,7
75 m ³ lisier	115	18,0

Le témoin sans apport de lisier fournit le rendement maximal, que ce soit en grain ou en matière sèche. L'apport de lisier ne permet pas d'améliorer la productivité. On retrouve sur le traitement "25 m³ de lisier" l'effet négatif apparent, constaté sur les reliquats, de l'apport d'une faible dose de lisier.

L'azote apporté par le lisier ne semble pas avoir été perdu par lessivage mais il ne profite pas non plus à la culture en place. Des pertes par volatilisation ont-elles eu lieu ? C'est probable mais n'explique sans doute pas tous les écarts.

C 5. Conclusion

En sol sensible à très sensible au lessivage des nitrates, l'apport de lisier en novembre tend à faire augmenter le stock d'azote minéral du sol. Ce stock peut en partie être perdu par lessivage si l'hiver est pluvieux.

Dans ces situations on augmente donc significativement le risque.

L'apport sur cannes de maïs est moins défavorable que l'apport après maïs ensilage, car de l'azote est retenu pour la décomposition des pailles. On peut en chiffrer la quantité à une trentaine d'unités.

En sol à sensibilité très faible de pertes de nitrates, l'apport de lisier en novembre ou décembre n'augmente pas significativement les pertes de nitrates dans les conditions moyennes de l'hiver alsacien, avec une pluviométrie entre octobre et février comprise entre 200 et 300 mm. Il faut simplement veiller à limiter les apports pour ne pas dépasser les capacités d'absorption de la culture qui suit. Avec du lisier de porcs (cas traité ici), une trentaine de m³ représentant 100 à 120 unités d'azote total semble être une quantité recommandable.

Partie D : dynamique de l'azote dans des parcelles de maïs fourrage recevant des déjections animales

D 1 Objectifs :

- complément des bases agronomiques pour l'optimisation de l'utilisation des effluents d'élevage dans des conditions pédoclimatiques peu favorables,
- introduction éventuelle de meilleures pratiques d'implantation du maïs telles que le semis direct, le semis après fraissage du rang, semis dans un mulch,
- introduction de ces pratiques dans un nouveau système de production de maïs ensilage,
- étude de la dynamique de l'azote du sol grâce à des suivis réguliers, acquisition d'un référentiel fiable (par des suivis pluriannuels) sur la dynamique de l'azote de parcelles de maïs fertilisées avec des déjections animales,
- étude de la structure du sol sous ces conditions de culture modifiées en comparaison des pratiques courantes,
- ancrage dans les périmètres de captage protégés (WSG) de pratiques culturales respectueuses de l'environnement pour le maïs fourrage.

D 2 Méthodes :

Pour la réalisation des travaux prévus dans la sous partie 4 du projet ITADA, le périmètre de captage protégé du Dreisamtal (3 385 ha), placé immédiatement à l'Est de l'agglomération de Freiburg a été retenu.

Plusieurs critères ont été pris en compte pour le choix effectué :

1. Chargement en animaux relativement élevé, localement jusqu'à 2 ,0 UGB/ha de SAU
2. Rotation courte (maïs, céréales, cultures fourragères) avec une proportion très élevée de maïs entre 42% et 77%.
3. Caractéristiques des sols : sols brun moyennement profond à profond sur graviers de glacis de la Forêt Noire, dotés de capacité au champ moyenne à forte et une tendance légère à l'hydromorphie (cf. en annexe la description détaillée d'un site sous la forme d'une expertise des caractéristiques du sol en 1996).
4. Données déjà disponibles provenant du projet : " surexploitation des surfaces de maïs " ou encore du programme NID du Land B.W., qui ont été conduits dans ce périmètre de captage protégé entre 1992 et 1995.
5. La forte importance de cette zone protégée du Dreisamtal pour l'alimentation en eau potable de la communauté de Freiburg (environ 220 000 habitants)
6. La forte fréquentation touristique de la région
7. La proximité de Freiburg, la ville la plus " écologique " d'Allemagne, et le rôle de zone de détente et de repos du Dreisamtal
8. La forte sensibilité des représentants de la profession agricole pour des questions relatives à l'environnement et l'acceptation à participer à de l'expérimentation appliquée
9. Une équipe présente sur le terrain, composée de représentants des élus et des entrepreneurs et aussi d'agriculteurs motivés par le projet, qui permette de sécuriser la conduite d'un projet de longue durée comportant de nombreuses questions.

Le dispositif expérimental a été constitué d'essais placés sur des exploitations appartenant aux sept communes du Dreisamtal et réalisant des épandages de déjections animales sur des parcelles de maïs ensilage. Sur chaque exploitation, il a été retenue des sites de monoculture de maïs sur lesquels il a été systématique suivi :

- Différents itinéraires d'implantation du maïs : semis direct, semis après fraissage du rang, semis après labour
- La dynamique de l'azote du sol (prélèvements périodiques)
- Le type de sol
- La teneur en principaux éléments nutritifs du sol
- L'apport de fertilisants organiques (mesures des teneurs exactes en éléments fertilisants des lisiers et épandage avec une citerne équipée de tuyaux " pendillards ")
- Exportations en éléments fertilisants par les récoltes

De plus, les résultats positifs issus des expériences acquises lors des projets pilotes précédents devaient être mis en œuvre tels que le semis sous couvert de culture intermédiaire, la lutte biologique contre la pyrale, utilisation d'outils commun sur les exploitations.

Au total, il a été recherché 14 sites d'essais, c'est à dire 2 sites par commune. Les dimensions naturelles des parcelles ont varié entre 0,5 et 1,44 ha. Sur chaque site, 4 bandes contiguës de 12 m de large et correspondant chacune à une variante ont été mises en place. La longueur des bandes correspondait à la longueur naturelle de la parcelle. Il n'y avait pas de répétitions. La taille d'une parcelle élémentaire avarié entre 12 et 30 ares. Le dispositif reprenait les quatre variantes dans l'ordre suivant :

1. semis direct
2. semis avec fraissage du rang
3. semis après labour de printemps
4. semis après labour d'automne

Cet ordre a été respecté pendant toute la durée du projet. Le semis, l'entretien des parcelles et la récolte des essais ont été réalisés avec des machines agricoles commercialisées avec utilisation des intrants habituels accessibles aux agriculteurs et en respectant les dispositions de la " Düngeverordnung " (Décret allemand sur la fertilisation étudié dans la cadre du projet ITADA B 4) et de la loi SchALVO. Toutes ces interventions ont été réalisées par des entrepreneurs sur l'ensemble des parcelles d'essais sous le contrôle de l'IfUL. Les interventions de protections biologique ou chimique des cultures ont été déclenchées à des dates tenant compte des caractéristiques du site et en accord avec les recommandations du service de la protection des végétaux du Regierungspräsidium de Freiburg. En 1997, une parcelle d'essai a du être abandonnée suite à une erreur de l'expérimentateur dans la conduite des mesures d'entretien. Ainsi, seules 13 parcelles sont restées à disposition pour la suite du projet. A partir de avril 1998, le prélèvement systématique d'échantillons de sols à toutes les dates prévues n'a plus été effectué que sur un seul site par commune. Sur les autres, des prélèvements ont été réalisés à la date prescrite (stade 4-6 feuilles) pour le calcul de la fertilisation puis à la récolte du maïs et enfin à la date du contrôle de l'azote minéral prévue par SchALVO.

Les données du service statistique du land de Bade-Wurtemberg de l'année 1995 ont servi de base pour l'évaluation de la situation de l'agriculture dans la région d'étude. Ces données ont été fournies sous fichiers Excel et exploitées à l'aide de propres logiciels d'exploitation.

Une partie des données de la zone d'étude, pour ce qui concerne les tailles des exploitations agricoles à activité principale et leurs effectifs est fondée sur la publication du M.L.R. "Agrardaten 95". Qui repose elle même sur les statistiques du Land.

Une autre part des conclusions dans le domaine du bilan en azote a été faite à l'aide des données déjà nommées du service statistique du land. Ces données ont été rassemblées dans un fichier Excel avec les valeurs officielles (retenues comme normes) pour les teneurs en azote et les quantités d'azote disponibles l'année d'épandage que l'on retrouve dans les documents du conseil pour la fertilisation des grandes cultures et des pâturages de l'institut de production des plantes de Forchheim.

Pour justifier de l'importance de la problématique des nitrates en Bade-Wurtemberg, on a retenu les valeurs publiées par le LUFA Augustenberg en 1997 pour les valeurs relevées pour différentes cultures lors des contrôles par prélèvements de sols lors de la date SchALVO (novembre) entre 1991 et 1996.

D'autres informations sur la situation de l'agriculture du Dreisamtal proviennent des évaluations faites par le Centre de technologie de l'eau de Karlsruhe en 1994 vis à vis du développement du potentiel de lessivage de nitrates en périmètre protégé d'Ebneth. Celles-ci ont été conduites à la demande du MLR dans le cadre d'un projet pilote réalisé par l'IfUL sur les années 1992-1994 sur les conduites de surfaces cultivées en maïs.

Enquêtes et enregistrements propres aux réalisateurs du projet dans la zone d'étude

Ces enquêtes ont été réalisées d'une part à partir des fichiers parcellaires des années 1992 à 1994 déjà existantes sous forme écrites dans les archives de l'IfUL à Müllheim (cf. modèle décrit § 4, 5 et 9 du décret SchALVO) et d'autre part sur les dires des participants au projet. On se rapportera à la partie 1 du présent rapport pour ce qui est de la description de la situation à partir des éléments statistiques.

Fichier parcellaire pour les variantes d'essais

Un fichier parcellaire (de notre propre composition) a été réalisé pour chaque variante et chaque année d'expérimentation. Dans ce fichier ont été enregistrés les données actuelles concernant les interventions culturales. Elles ont été gérées et actualisées après discussion avec les réalisateurs sur le terrain puis archivées dans des classeurs Excel. Ces fichiers parcellaires ont été utilisés pour la production d'un guide des essais au champ qui a été distribué ensuite aux visiteurs des expérimentations de l'IfUL.

Description des exploitations participant au projet

Les données caractéristiques des exploitations participant au réseau ont été relevées au début de la mise en œuvre du projet. Celles-ci sont fondées d'une part sur des documents écrits appartenant aux participants et d'autre part sur leurs déclarations orales. Ces données ont été rassemblées en des tableaux descriptifs des exploitations, exploitées et mis en archives. Les résultats ont été valorisés dans la partie 1 du rapport.

Protocole de prélèvements d'échantillons de sols

Suivant un rythme de 14 jours, des rendez-vous ont été fixés pour recueillir par écrit un certain nombre de données suivant un protocole établi. Les conditions climatiques, la température du sol (seulement sur trois sites) l'ordre de prélèvements de sols, l'état du sol et de la végétation, développement de la culture intermédiaire, et éventuellement d'autres

remarques. Ces compte rendus réguliers ont été exploités pour la réalisation des rapports intermédiaires 1996 et 1997 ainsi que pour le rapport final.

Les valeurs d'azote minéral du sol et les rendements en maïs sur les années 1992 à 1994

Dans le cadre d'un projet pilote du ministère de l'espace rural du Land de Bade-Wurtemberg, l'exploitation des données disponibles a été réalisée et des graphiques réalisés sous le logiciel Excel (cf. annexes 3.3, 3.4, 3.5 et 3.6).

Les exploitations de valeurs d'azote minéral du sol ont porté de 1992 à 1994 sur 55 à 216 données et pour le rendement sur 172 données. La comparaison des surfaces de maïs en fonction de la durée d'exploitation en maïs a porté sur un total de 31 parcelles qui étaient en maïs durant les années du projet contre 172 et 185 à 156 parcelles de maïs cultivés en maïs pour la première ou la seconde fois.

Analyses réalisées et expertises

Afin de s'assurer de la valeur d'extrapolation des résultats du projet, il a été réalisée au début des travaux puis selon les besoins au cours du projet, une série d'analyses et d'examen par l'intermédiaire des instituts de recherche du Land

Investigation des caractéristiques du sol

La prise d'échantillons de sols pour cet examen a été réalisé chaque année avant la reprise de végétation sur chacune des parcelles d'expérimentation (sauf pour 1996 car le démarrage des essais n'était pas encore assuré). Ces prélèvements ont été réalisés sur un minimum de 10 placettes répartis de manière régulières sur la parcelle et sur une profondeur de 30cm à l'aide d'un matériel de forage spécial. Les paramètres étudiés ont été les suivants : pH, teneur en phosphore (P₂O₅), en potasse (K₂O), en magnésium, la teneur totale en azote et en humus. De plus on a aussi évalué le type de sol, le rapport C/N, le besoin en calcium, les niveaux de teneurs en différents éléments. Les résultats d'analyse furent ensuite communiqués dans un bulletin (cf. Annexe D 2.1). Les résultats servirent de base pour le calcul des niveaux de fertilisation de fond et d'amendement calcique. Pour ce qui concerne la fumure de fond, les réglementations prévues par la SchALVO et le décret sur la fertilisation (Düngeverordnung) ont été appliquées. Ceci signifie en pratique une limitation des quantités maximales en éléments fertilisants possibles suivant les niveaux de teneurs des sols et une prise en compte des teneurs en éléments fertilisants des différents engrais complets organiques ou minéraux apportés pour le calcul de la fertilisation à apporter (Annexe D 2.2).

Analyses en azote minéral et en eau du sol

A partir du début du projet, il a été réalisé tous les deux semaines des prélèvements pour l'analyse de la teneur en azote minéral et en eau des sols. Ces prélèvements ont été effectués avec le matériel spécialement adapté aux prises au champ, un préleveur motorisé sur chenilles " nitratraupe Oehler " doté d'un foret en acier et qui a permis d'atteindre jusqu'à 90 cm de profondeur. Les échantillons prélevés ont été traités suivant le protocole officiel établi par Par le laboratoire du LUFA d'Augustenberg près de Karlsruhe. La surface " coeur " de prélèvement a été conservée durant toute la durée du suivi et recouvrait une taille de 6 x 80 m. Ainsi, les effets de bordure des parcelles d'essais voisines ont pu être minimisés. Les résultats d'analyse ont été limités à la recherche des nitrates. Il a été considéré que sous les conditions de sols aérobies du Rhin supérieur, l'azote ammoniacal n'était présent qu'en faible teneur car la nitrification se produit bien plus vite que l'ammonification (Scheffer et Schachtschabel, 1992).

Les résultats des analyses de sols ont été exploités au fur et à mesure sous la forme de graphiques Excel qui montrent les évolutions des teneurs en nitrates et en eau. De plus, ces résultats ont servis de base pour le calcul des besoins en fertilisation ou ont été utilisés par le centre technique de l'eau dans son expertise (cf. annexe D 2.3).

Analyses du lisier

Pour des raisons de calendrier, l'analyse des échantillons de lisiers en 1996 a été réalisée à l'aide de la méthode rapide " Nitrocheck " de la Sté AGROS (S). Ce test rapide ne mesure que l'azote sous sa forme ammoniacale. La mesure ne prend qu'environ 10 mm et se fonde sur la mesure de la pression qui est produite par la formation de gaz dans un cylindre d'acier où l'on a préalablement déposé l'échantillon de lisier avec du chlorure de calcium (Chlorkalk). La pression est indiquée par un manomètre en kg N NH₃/m³ de lisier.

Les deux années suivantes, des prises d'échantillons ont été réalisées directement à partir des fosses de stockage des lisiers, c'est à dire avant l'épandage. Ces échantillons homogénéisés et transportés au laboratoire d'analyse dans des conteneurs étanches ont fait l'objet de détermination du pH, de leur MS et de la teneur en éléments fertilisants, dont la teneur en azote total et en azote ammoniacal, en potasse, en phosphore et en magnésium. Les résultats de ces analyses ont servis à calculer la fertilisation azotée et à l'évaluation des apports en éléments fertilisants sur l'année (conformément aux réglementations en vigueur, les apports doivent être fractionnés à partir d'une quantité seuil) (cf. annexe D 2.4).

Analyse de plantes

A la récolte des parcelles, quatre échantillons ont été systématiquement prélevés dans la zone " cœur " de suivi. Les surfaces des placettes de prélèvements ont varié suivant le cas entre 1.5 m x 7.1 m et 1.5 m x 11.2 m. A chaque fois, la teneur en eau et la teneur en azote total ont été déterminées.

Les résultats de ces analyses ont été utilisés pour le calcul de l'azote absorbé par les plantes de maïs et ensuite pour le calcul du bilan entrée / sortie d'azote.

Expertise du Département Géologie du Land de Bade Wurtemberg.

Au début du projet, les 14 sites ont été communiqués aux services du département de géologie qui a décidé d'en retenir 3 pour expertise de la nature du sol.

Cette expertise a été conduite au printemps 1996. Il a été déterminé pour chaque site la nature prédominante du type de sol ainsi que les caractéristiques physiques et chimiques des différents horizons. Les résultats ont permis d'établir une description du site et des sensibilités au lessivage des nitrates.

Un exemple d'expertise se trouve en annexe D 2.5.

Expertise du centre Technique de l'eau (TZW) de Karlsruhe.

A l'issue de la première année, il a été essayé d'établir un modèle de calcul du lessivage des nitrates en utilisant le modèle Integrale Nitrat-Verlagerungs- und Auswaschungs-Modell" (INVAM) développé par le TZW Karlsruhe (Dr. Rohmann).

Le modèle repose sur l'acceptation du principe de base que le sol se comporte comme un égouttoir dans lequel la concentration en nitrates évolue après chaque épisode d'apport d'eau. Cette concentration en nitrates est quantifiée par un calcul de mélanges avec l'aide supplémentaire d'un algorithme qui calcule pour chaque épisode de pluie pas à pas la descente de l'eau et des nitrates d'un horizon vers celui qui est dessous. Les éléments de base du calcul sont les teneurs en eau et les teneurs en azote minéral (N_{min}) du sol ainsi que les données

climatiques locales . A partir des données disponibles, 29 calculs ont été réalisés pour les périodes de lessivages sur 1995 et 1996.

Ces calculs réalisés à partir du modèle ont concerné toutes les variantes d'essai d'un même site pour une même période. Ainsi, il est possible de porter une réponse à la question de savoir quel niveau de risque de pollution en nitrates de la nappe phréatique est lié à une pratique donnée d'implantation du maïs.

La discussion des résultats est faite en partie dans la partie D 3.

Une seconde expertise qui était prévue à la fin du projet en 1998 n'a pas pu être réalisée. L'expert a pris cette décision à la vue des résultats mis à disposition par l'IfUL en fondant son argumentation sur les éléments suivants :

- les valeurs restent à des niveaux très bas, si bien que les écarts types liés à l'imprécision de la prise d'échantillons et aux analyses sont en valeurs relatives fortes
- les modifications de profils sont trop faibles pour pouvoir en tirer des interprétations

Généralités

Les prises d'échantillons de sols pour les déterminations des valeurs N_{\min} - et H_2O ont été faites par les employés d'un prestataire de services spécialisé en concertation avec l'IfUL de Müllheim, commanditaire des interventions .

Les techniques de prise d'échantillon sont décrites dans le formulaire de l'action de contrôle de SchALVO, rédigé par le groupe de coordination des périmètres de captage protégés (KGW) du LUFA Augustenberg en collaboration avec les Regierungspräsidien du Land de Baden-Württemberg (Stand: August 1995).

Les analyses de sols ont été confiées au laboratoire du LUFA Augustenberg selon les méthodes standardisées par la fédération allemande des instituts et laboratoires (Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA)) et décrites dans le recueil " l'analyse de sol " du VDLUFA-Verlag Darmstadt (4 Edition de 1991, actualisée en 1997).

Les analyses de lisiers ont également été confiées au laboratoire du LUFA Augustenberg selon les méthodes standardisées par la fédération allemande des instituts et laboratoires (Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA)) et décrites dans le recueil " l'analyse de fertilisants " du VDLUFA-Verlag Darmstadt (4 eme Edition de 1991, actualisée en 1997). L'apport de la quantité exacte prédéterminée de lisier ne fut pas toujours possible avec les appareils utilisées et il fut constaté des écarts pouvant atteindre 1 m^3 de lisier / hectare.

Les analyses de plantes ont été confiées au laboratoire du LUFA Augustenberg selon les méthodes standardisées par la fédération allemande des instituts et laboratoires (Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA)) et décrites dans le recueil " l'analyse plantes fourragères " du VDLUFA-Verlag Darmstadt (4 ème Edition de 1991, version actualisée en 1997).

Relevés particuliers et mesures complémentaires

Mesures des rendements

La récolte des parcelles d'essais a toujours été réalisée sur des maïs fourrages à bonne maturité et 4 placettes ont été récoltées dans chaque zone " au cœur " des parcelles, à l'aide d'une ensileuse pour petite parcelle expérimentale. Des échantillons envoyées au laboratoire

ont permis de déterminer la matière sèche et la teneur en azote totale pour chaque parcelle récoltée.

Pour chaque parcelle, il a été également effectué un prélèvement sur 1 m² avec détermination du poids des plantes entières puis du poids des épis après séparation de l'ensemble, le tout étant exprimé en MS.

Mesures de la température du sol

Sur deux des parcelles d'expérimentations proches de stations de la météorologie, la température du sol a été mesurée à une profondeur de 5 cm. Ces relevés ont été effectués à intervalles irréguliers avec pour principal objectif de caractériser l'état du sol au moment du semis du maïs.

Données météorologiques du " Deutsche Wetterdienst (DWD) " et du " Freiburger Energie und Wasserversorgungs AG (FEW) "

Les données enregistrées sur deux stations proches des sites d'expérimentation ont été exploitées sur toute la durée du projet.

La station météo du " Deutsche Wetterdienst " est situé à Buchenbach et celle du FEW Freiburg à Ebnet. On a pu ainsi bénéficier de relevés très fiables pour l'analyse des résultats en azote minéral du sol obtenus sur les sites d'essais du Dreisamtal ainsi que pour le calcul du lessivage dans le sol à partir du modèle utilisé dans l'expertise conduite par le TZW Karlsruhe.

Calculs de l'Institut d'Hydrogéologie de l'université de Freiburg

Dans le cadre de l'estimation des risques de transfert d'azote voire de lessivage il a été réalisé des calculs sur les caractéristiques de migration verticale (valeur k_f) pour trois des sites suivis dans le projet. Les caractéristiques de migration verticale décrivent la vitesse de déplacement de l'eau d'infiltration dans le sol en cm par jour (cm/j) et permet des déductions sur les effets éventuels d'évènements pluvieux sur des changements à court terme de la charge en azote ou à moyen terme sur l'appréciation de l'effet d'une modalité de travail du sol.

M Stephen Schrempp de l'Institut d'Hydrogéologie de l'université de Freiburg est chaleureusement remercié pour sa contribution efficace à cette partie du projet.

Calculs sur la rentabilité économique de chaque itinéraire d'implantation

Les coûts de toutes les techniques mises en œuvre dans le cadre du projet ont fait l'objet d'une analyse comptable. Une séparation selon l'itinéraire cultural et la parcelle d'essai considéré a eu lieu. Les charges ont été comparées aux revenus fictifs correspondant au produit d'une surface de maïs ensilage conventionnelle, ici le labour d'hiver, sur le marché régional des aliments fourragers. Ce prix de base est d'environ 2500 DM-(avec TVA de 9 %). Dans une poursuite de l'analyse, les revenus fictifs des différentes variantes ont été exprimés en énergie transposée à partir des rendements en fonction de celui de la variante labour d'hiver.

Il a été aussi réalisé, en s'appuyant sur le modèle de calcul des charges totales publié par le service d'information pour le conseil en agriculture (Beratungsinformationssystem (BIS)), une série de calculs dont la discussion des résultats se trouve dans la partie suivante du rapport.

D 3 Résultats

Rendements

Les rendements en matière sèche ne divergent en moyenne des années d'étude qu'assez peu (cf. annexe D 3.1 : médianes des rendements, teneurs en matière sèche, correspondance en énergie MJ/ha et part des épis vis à vis des plantes entières).

Les rendements médianes sont pour le semis direct de 131 q/ha, pour le semis avec fraissage du rang de 138 q/ha, pour la variante labour de printemps de 142 q/ha et pour le labour d'hiver de 145 q/ha. L'écart le plus important est donc de 14 q MS /ha.

Les rendements ne varient qu'assez peu même au sein d'une même année. En 1996, la différence entre le rendement du labour d'hiver (117 q/ha) et celui du semis direct (123 q/ha) n'est que de 6 q/ha. Les rendements des autres variables sont comparables avec 121 q MS/ha.

Avec un écart de 20 q/ha en 1997, on ne retrouva de la même manière en moyenne des sites qu'une faible différence entre les variantes testées. Les rendements étaient de 206 q/ha pour le labour d'hiver et 195 q/ha pour le labour de printemps, de 186 q /ha pour le semis fraisé et de 201 q/ha pour le semis direct.

En 1998, les différences entre les différentes variantes testées ont été plus fortes que lors des autres années. La différence entre le labour d'hiver (le meilleur avec 121 q/ha) et le semis direct (le plus bas avec 95 q/ha) atteint alors 26 q/ha. Le rendement des deux autres variantes atteint le même niveau de 112 q/ha.

Les rendements de 1997 sont particulièrement impressionnant pour toutes les variantes testées. Les écarts entre les années Les écarts entre 1997 et 1996 ou 1998 varient suivant la variante de 71 q/ha pour le semis après fraissage du rang à 92 q/ha pour le semis direct.

Les résultats des teneurs en matière sèche ne montrent pas beaucoup de variation entre les différentes variantes testées au sein des années d'études. Les écarts sont de 1 % en 1996 et 1998 et 2 % en 1997.

Des différences conséquentes sont par contre relevées au niveau de la part de la matière sèche en épis entre les différents itinéraires culturaux testés et cela de manière de plus en plus forte au fil du temps.

En 1996, la part en épis était de 49 % pour le semis direct et de 50 % pour le semis après fraissage, et de 51 % pour les semis après labour. En 1997, on a trouvé une part de 41 % de la MS en épis pour les semis direct et après fraissage et 39 % pour les semis après labour. En 1998, le taux le plus haut est atteint pour le semis direct avec 47 % et le plus bas pour le semis après labour d'hiver avec 39 %.

Afin de juger de la qualité des itinéraires culturaux, il a été introduit la valeur énergétique issue du rendement. Cette donnée qui correspond à la valeur énergétique du fourrage qui est prise en compte dans le calcul d'une ration en alimentation animale est exprimée en Mégajoule par hectare (MJ/ha).

Ces résultats relativisent la supériorité démontré au niveau du rendement en matière sèche par les itinéraires avec labour vis à vis des itinéraires de semis direct ou après fraissage du rang de semis.

Exprimés en valeur énergétique, les valeurs moyennes des médianes de toutes les années d'essais des itinéraires avec labour ne montrent plus qu'un avantage maximal de 5.3 % (labour d'hiver contre semis fraisé). La variante labour de printemps ne montre plus qu'un avantage de 1 % sur le semis direct.

En 1996, les valeurs obtenus pour les différents itinéraires culturaux ne varient guère les une des autres avec 131 396 MJ/ha pour le semis direct, 129 470 MJ/ha pour le semis fraisé, 129 363 MJ/ha pour le labour de printemps et 123 799 MJ/ha pour le labour d'automne.

En 1997, les différences s'agrandissent. Ainsi le labour d'hiver atteint 214 135 MJ/ha contre seulement 193 660 MJ/ha pour le semis fraisé.

Des différences encore plus fortes se rencontrent en 1998.. La variante semis après labour d'hiver obtient le meilleur score avec 125 670 MJ/ha. Ceci correspond à un avantage de 21 % vis à vis de la moins bonne valeur pour le semis direct.

Comme en 1998, la fertilisation avait le même niveau pour toutes les variantes d'essais, cette supériorité est due au surplus de rendement en matière sèche du labour d'hiver.

Le semis direct qui possédait une part en épis plus élevée de 8 % ne pouvait pas obtenir un aussi bon résultat en valeur énergétique, ce qui était prévisible vu les références établies par de nombreux essais que l'on retrouve dans les publications au niveau des différences de valeurs énergétiques entre les organes végétatifs des plantes.

Dans le projet, les valeurs énergétiques des différentes parties des plantes n'ont pas été mesurées.

Pour ce qui est d'une relation entre l'importance de fertilisation azotée et le rendement en énergie transformable, on retrouve en 1996 pour le semis direct le plus haut rendement avec un apport plus élevé de 68 kg N/ha vis à vis des autres pratiques de semis comparées.

On ne peut cependant pas être certains que ces résultats sont uniquement le fait de la technique de semis en question.

Analyses d'azote minéral (N_{min})

Les résultats des analyses d'azote minéral du sol sont rapportés au fil du temps dans des graphiques (Annexes D 3.2). Ces figures montrent des évolutions des teneurs en nitrates conformes aux connaissances acquises sous des parcelles de maïs cultivées de manière traditionnelle (entre autres Vetter et Kansy, 1992 - 1994). Une progression constante des valeurs de nitrates présentes dans le sol est observée jusqu'à la floraison du maïs puis une diminution jusqu'à la maturité de la culture, et enfin une remontée après la récolte jusqu'à la fin de la période de végétation. Cette phase de remontée des valeurs N_{min} s'explique par la minéralisation du sol à cette époque automnale où les températures le permettent encore. Enfin, les valeurs N_{min} descendent à nouveau vers la fin de l'année sous l'effet supposé combiné de la dénitrification et du lessivage des nitrates si les précipitations sont importantes. La très forte montée des valeurs N_{min} entre mi-mai et fin juin pour toutes les variantes testées est à rapporter à la minéralisation du sol favorisée par l'augmentation de la température du sol, à la fertilisation apportée et aussi aux différentes interventions de travail du sol.

La fertilisation est composée d'un apport de lisier début à mi-avril puis d'un apport au semis et enfin d'un apport de post-levée réalisé entre début et mi-juin de chaque année.

On retrouve des différences sensibles entre les différentes pratiques de semis au niveau de l'évolution des courbes.

Le réchauffement du sol plus rapide pour le labour d'hiver permet une remontée plus rapide des valeurs N_{min} au printemps. Cette remontée est nette jusqu'à fin avril. En 1996, ceci a été particulièrement spectaculaire car au moment du semis du maïs il y avait déjà 80 kg N/ha de reliquats dans le sol. Cette année là, on a aussi constaté une évolution après labour de printemps mais elle ne fut pas aussi forte (51 kg N /ha) et démarra plus tardivement (qu'après le labour au début avril). A la même période, les valeurs trouvées pour les variantes semis direct et semis fraisé ne se montaient qu'à seulement 5 kg et. 7 kg azote par hectare.

Pour la suite des évolutions des courbes, les valeurs enregistrées pour les semis après semis direct et semis fraisé se démarquent encore nettement de celles des parcelles après labour d'hiver et de printemps, exception faite de 1998. A la floraison de la culture, les valeurs N_{\min} atteignent environ 120 kg N/ha contre seulement 51 kg à 54 kg N/ha pour le semis direct et le semis fraisé.

Un comportement particulièrement distinct est observé pendant les périodes pluvieuses avec des tendances contradictoires entre les variantes avec labour et celles sans. En 1996, entre le 12 et le 26 juillet, les valeurs N_{\min} sont passées de 120 à 50 kg N /ha suite à des pluies de 156 mm. Les valeurs restent ensuite à ce même niveau pendant les trois semaines suivantes. Sur la même période, les valeurs N_{\min} des variantes semis direct et semis fraisé reculaient de 54 à 28 kg N /ha puis revenaient ensuite à des valeurs plus élevées : 47 kg N/ha (semis fraisé) et 70 kg N/ha (semis direct). Une évolution analogue mais moins marquée fut également observée en 1997 sur la même période. Après une séquence pluvieuse de 101 mm, les valeurs N_{\min} ont régressé de 114 kg à 76 kg N/ha pour le semis après labour d'hiver et de 55 kg à 43 kg N/ha pour le semis après labour de printemps. Dans le même temps, aucune diminution des valeurs N_{\min} n'étaient observées pour les variantes de semis sans labour.

Lors des deux semaines qui suivirent, les valeurs N_{\min} du semis direct restèrent constantes et celles du semis fraisé augmentèrent légèrement de 13 kg N/ha.

Un tel comportement a pu être aussi observé en 1998, en particulier entre le 11 et le 25 septembre, après un épisode pluvieux de 79 mm mais avec des écarts moins conséquents car à cette époque les valeurs N_{\min} du sol sont réduites suite aux prélèvements effectués par les plantes.

A l'analyse de ces résultats, on peut penser qu'il n'est pas certain que les quantités d'azote à disposition des plantes pendant la période d'absorption la plus forte ont été réellement valorisées pour la production de la culture. Comme aucune différence conséquente ne se retrouve entre les différentes variantes au niveau des rendements (cf. D 2.1), on peut avancer que les séquences pluvieuses de 79 à 156 mm ont probablement joué un rôle important dans ces résultats.

Le règlement mis en place par le décret SchALVO (Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung des Landes Baden-Württemberg) prescrit un prélèvement de sol à la fin de la période de végétation active pour la mesure du reliquat d'azote minéral. Suivant le type de sol et la nature de la couverture du sol, la prise d'échantillon doit être faite au plus tard entre le 01 octobre et le 15 décembre.

Les valeurs de reliquats d'azote minéral trouvés dans les parcelles d'essais sont regroupées dans le tableau suivant :

SchALVO valeurs de reliquats suivant la technique de semis				
Médiane de tous les sites en kg N/ha				
Etat au 31. Octobre				
Anée	SD	SF	LP	LH
1996	14	10	7	8
1997	17	19	17	14
1998	34	28	17	16

Toutes les pratiques comparées donnent en valeur médiane des résultats conformes aux exigences de SchALVO, soit actuellement un maximum de reliquat de 45 kg N/ha à l'entrée

de l'hiver. Les différents itinéraires testés se montrent satisfaits sous l'aspect du risque environnemental associé aux reliquats N_{\min} d'entrée hiver puisque toutes les valeurs sont faibles.

Absorption en azote par la végétation (N)

La capacité de la plante à absorber l'azote disponible est important sous l'angle de la protection de l'eau souterraine.

Les prélèvements en azote des plantes de maïs (partie aérienne) sont présentés dans le tableau suivant.

Absorption d'azote par les plantes en fonction de la technique de semis								
En moyenne des sites								
Variante	SD	SF		LP		LH		
en kg N/ha et en % (moyenne arithmétique)								
année		%		%		%		%
1996	145	107	163	120	151	111	136	100
1997	208	93	215	96	213	95	224	100
1998	148	93	150	94	149	94	159	100
Valeur moyenne	167	97	176	102	171	99	173	100

Si l'on considère la capacité à absorber l'azote, la technique du semis après fraissage obtient le meilleur résultat en valeur moyenne avec 176 kg N/ha, en moyenne de tous les sites sur les trois années.

Les différences entre les différentes variantes sont toutefois réduites à l'intérieur d'une même année, si bien qu'aucune tendance significative n'est observée et que l'on ne peut pas parler de meilleure pratique.

De manière complémentaire il a été aussi mesuré les qualités d'azote absorbées par la végétation de la culture intermédiaire semée sous couvert du maïs.

Il a été mesuré un potentiel d'absorption maximal d'environ 25 kg N/ha pour une culture intermédiaire mise en place pour absorber l'azote du sol disponible après la récolte du maïs et le soustraire au lessivage en le fixant jusqu'à la sortie de l'hiver. Les résultats des suivis effectués dans les parcelles du Dreisamtal en 1996-1998 ont été repris dans le rapport ITADA A 1.2 dans la partie consacrée à la question de la culture intermédiaire entre deux maïs.

En prenant en considération les reliquats d'azote assez faibles après la récolte du maïs et les offres en azote par là même réduites pour la culture intermédiaire, on peut considérer que ces couverts ont montré une capacité à fixer l'azote moyenne à faible. L'effet même modeste de piège à nitrates de la culture intermédiaire a été bien évidemment interrompu pour la variante du labour d'hiver à partir de la date de labour.

Fournitures du sol en azote (N) par minéralisation

Cette caractéristique a été évaluée à partir d'un simple calcul en établissant un bilan entre les entrées d'azote (reliquat d'azote au printemps + fertilisation azotée) et les sorties d'azote (reliquat d'automne + azote prélevé par la culture principale et la culture intermédiaire). Les résultats sont présentés dans une série de figures (Annexe D 3.3).

La différence trouvée au niveau du bilan correspond à la fourniture du sol en azote évaluée à partir des quantités d'azote absorbé par les cultures. Selon cette approche, on retrouve pour toutes les variantes testées en 1997 et 1998 une minéralisation de l'azote du sol. En 1998, la quantité libérée varie de 14 kg pour le labour d'hiver à 33 kg pour le labour de printemps et atteint 44 à 45 kg N/ha pour le semis direct ou fraisé.

En 1997, il semble que la quantité d'azote minéralisé ait été plus élevée. Elle atteint son plus haut niveau avec 93 kg N/ha pour le semis direct. Viennent ensuite le semis après labour de printemps avec 89 kg et le semis fraisé avec 84 kg N/ha et enfin le semis après labour d'automne avec 70 kg N/ha. Les moyennes des quantités d'azote minéralisé par les sols sont très régulières et comparables au sein des années 1997 et 1998, alors que les fertilisations azotées effectuées sont identiques entre variantes, exception faite en 1997 pour le labour d'hiver. Cette variante reçue 13 kg N/ha de moins en fertilisation que les autres objets. Cette adaptation fut justifiée par le niveau de reliquat élevé (55 kg N/ha) mesuré avant l'apport complémentaire en juin. Par là on visait à atteindre une fourniture en azote pour le maïs comparable dans toutes les variantes testées au début de la phase de forte assimilation par la culture dès le stade 6 feuilles, s'il l'on fait abstraction des différences de comportement de minéralisation du sol générées par les techniques d'implantation un peu plus tard et de l'influence des conditions climatiques. La minéralisation en 1996 semble avoir suivie une tendance très différente : seule la variante labour de printemps atteint un niveau positif (par le calcul du bilan) de 7 kg N/ha. A la lecture des chiffres, on peut conclure que la minéralisation du sol en 1996 semble donc avoir été très " paresseuse ". Ceci particulièrement pour les semis direct et fraisé. Mais les valeurs négatives retrouvées pour la minéralisation peuvent aussi être la conséquence de phénomènes d'organisation d'azote minéral du sol pendant la phase de reconversion des pratiques de travail du sol pour les semis sans labour. Selon Lawane , (23, 1994) l'immobilisation peut atteindre pour l'horizon 0-30 cm du sol jusqu'à 60 kg N /ha par an.

Pour ce qui est de la variante avec labour d'hiver, on peut supposer que le solde négatif est provoqué par les fortes pluies (156 mm) qui sont intervenues peu de temps après le dernier apport de fertilisants. Cette hypothèse ne peut pas être confirmée car il n'y a pas eu de calcul des quantités lessivées pendant la période de végétation.

Lessivage en azote (N)

Si l'on considère les courbes d'évolution des reliquats en azote, il apparaît plausible qu'un risque de lessivage existe aussi pendant la phase de végétation (Annexe D 3.2). Depuis la date du premier travail du sol au printemps jusqu'au stade 6-8 feuilles du maïs, il existe une offre en azote supérieur aux besoins de la culture, encore renforcée par la fertilisation organique ou minérale réalisée avant ou au moment du semis. En présence de fortes précipitations, il peut donc se produire un lessivage de l'azote en profondeur. L'importance du flux en nitrates va alors dépendre de la quantité d'eau qui draine et de la macroporosité du sol.

Comme aucun modèle d'estimation du lessivage qui se produit pendant la période de végétation n'est disponible et que l'on ne peut pas se référer à une mesure exacte de la concentration en nitrates de l'eau qui a drainé comme le permet par exemple une installation du type " case lysimétrique ", il a été impossible de mesurer la quantité de nitrates perdue.

Quelques réflexions sur cette problématique ont conduit à un modèle de calcul très simplifié (cf. annexe D 3.4). Celui-ci est fondé sur d'une addition des différences entre les reliquats d'azote minéral d'une date de prélèvements et ceux de la date immédiatement précédente. Selon un principe identique, il a été également calculé les différences entre les teneurs en eau du sol. Les résultats sont présentés dans une série de graphiques.

Les résultats des évolutions de stocks en 1996 viennent renforcer, pour la variante labour d'hiver, la thèse du drainage en dessous de la zone exploitée par les racines de maïs d'une partie de l'azote très mobile apporté par la fertilisation minérale à la suite d'une saturation en eau du sol survenue après les fortes précipitations de juillet.

Le danger de drainage voir de lessivage de l'azote est particulièrement élevé pour la période sans végétation active. L'azote présent dans le sol ne peut que partiellement être piégé par la culture intermédiaire. Si à la suite des précipitations, le processus de renouvellement de la nappe phréatique est en route, la contamination de l'eau souterraine par les nitrates est alors inévitable.

Les processus sont décrits dans l'expertise faite par le TZW Karlsruhe.

Dans les nombreux calculs de modélisation, les profils de nitrates calculés et mesurés ont été établis pour différentes périodes. Ci-dessous, les résultats pour la période du 30 octobre 1996 au 15 novembre 1996 sont discutés.

Plusieurs aspects rendent l'analyse de cette période intéressante :

- ⇒ **séries de données complètes sur cette période,**
- ⇒ **bonne saturation en eau du profil du sol**
- ⇒ **précipitations à hauteur de 73 mm sur la période.**

En considérant qu'à cette époque il n'y a pas de minéralisation d'azote par le sol, il est calculé un lessivage de 3 kg N/ha pour les variantes labour d'hiver et de printemps et d'environ 10 kg N/ha pour le semis direct. Il n'est pas trouvé de pertes pour le semis fraisé.

L'acceptation d'une baisse parallèle de la minéralisation conduit à une bonne convergence entre le profil de mesures et celui du modèle. Toutefois, on ne peut pas parler d'une perte nette en nitrates significative pour un ordre de grandeur de 2 à 12 kg N/ha.

Pour une précipitation de 73 mm, il y a eu un drainage de 66 mm. La concentration moyenne en nitrates de l'eau drainée est de 13 mg NO₃/l pour le semis fraisé et de 67 mg NO₃/l pour le semis direct. Pour les deux variantes avec labour, la concentration serait de 20 mg NO₃/l. La plus forte concentration observée pour l'eau drainée sous le semis direct est sans aucun doute à rapporter à la fertilisation tardive supplémentaire de 68 kg N/ha qui a été réalisée pour cette variante. Cet apport tardif d'azote n'a pas été valorisé et a été peu absorbé par les plantes.

Calculs effectués pour évaluer la rentabilité économique des pratiques de semis testées.

En moyenne des années d'étude, le labour d'hiver se montre comme la pratique la plus rentable. Sa marge brute reste supérieure d'environ 314 DM (1 050 FF ou 160 Euro) à celle du semis direct et de 11 DM (57 Euro) à 109 DM (56 Euro) à celles du semis fraisé et du labour de printemps (cf. annexe D 3.5).

L'élément qui pèse le plus dans ces résultats est le niveau de recettes plus important (jusqu'à 10 %) et les charges plus faibles en protection de la culture (jusqu'à 11 %) et en semences (nécessité de semer plus dense pour le semis direct).

Les charges variables plus faibles au niveau du poste machinisme pour les semis direct et fraisé d'environ 12 % n'arrivent pas à compenser les handicaps financiers précédemment présentés.

D 4 Conclusions

Une estimation des pratiques étudiées est présentée dans le tableau suivant :

	SD	SF	LP	LH
+	meilleure praticabilité	meilleure praticabilité	charges plus faibles	charges plus faibles
	protection contre l'érosion	protection contre l'érosion		
	• rendements en matière sèche			
0	• absorptions en azote			
	utilisation renforcée de produits phytosanitaires	utilisation renforcée de produits phytosanitaires	risque de lessivage de nitrates plus fort en été	risque de lessivage de nitrates plus fort au printemps et en été
-			Charge en nitrates de l'eau lessivée plus forte	Charge en nitrates de l'eau lessivée plus forte

Pour les variantes avec travail du sol réduit, c'est à dire le semis direct et le semis fraisé, une période de trois années est insuffisante pour un jugement totalement valable. D'autres études sur la réduction du travail du sol ont en effet montré que le processus de transformation du sol peut se dérouler parfois sur une période de transition de plus d'une dizaine d'années avant d'être stabilisé.

6 Résumé général du rapport

Le projet a été divisé en quatre sous parties afin de pouvoir mieux aborder les différents problèmes qui se posaient au niveau national :

- A. enquête sur l'élevage des régions Alsace (diagnostic régional élevage et environnement) et de la partie sud du Bade-Wurtemberg.
- B. valorisation de l'azote organique dans des conditions difficiles (partie Alsace : Haut Rhin)
- C. faisabilité d'apports de lisier à l'automne sur sol moyennement filtrant et sur sol peu filtrant (partie Alsace Bas Rhin)
- D. dynamique de l'azote sur des parcelles de maïs recevant des déjections animales (partie Bade Wurtemberg)

Par ce partage des tâches, on a également cherché à éviter une multiplication peu utile de travaux analogues chez les différents partenaires.

Par leur orientation sur différents points d'une même thématique, les différentes sous parties possèdent l'avantage de se bien compléter.

Ainsi, on arrive non seulement à l'échange souhaité d'informations et de résultats mais aussi, ce qui semble encore plus important, à l'exploitation mutuelle de références permettant la mise en œuvre d'une agriculture durable et respectueuse de l'environnement.

Partie A : enquête sur l'élevage des régions Alsace (diagnostic régional élevage et environnement) et sud du Bade-Wurtemberg

Le travail avait pour objectif de préciser le poids de l'élevage dans les risques de fuites de nitrates imputables à l'agriculture régionale, la place à accorder au public des éleveurs dans les actions de prévention et les questions à aborder en pratique avec eux pour parvenir à une diminution significative des risques liés à cette activité. Il s'agissait également d'orienter les éventuelles recherches de références régionalisées encore nécessaires sur ce sujet, à partir du constat des problèmes actuels pour lesquels aucune solution n'est aujourd'hui disponible.

L'étude a été faite en exploitant les données statistiques disponibles et en Alsace au moyen d'une enquête approfondie complémentaire qui a permis d'établir un diagnostic des problèmes.

Globalement il a été constaté que la taille des exploitations d'élevage varie énormément.

Ponctuellement, en raison de chargements très élevés, il peut y avoir des situations difficiles au niveau de capacité de stockage des effluents trop faibles ou bien de surfaces d'épandage insuffisantes. Ceci est particulièrement le cas en périmètres de captage protégés.

Côté alsacien, une typologie des systèmes d'élevage a été réalisée pour comprendre les différents moyens de produire et pouvoir analyser les liens éventuels entre pratiques et systèmes. Un diagnostic est ensuite tiré, identifiant les pratiques et les équipements à risques et permettant de mieux comprendre les modes de raisonnement des éleveurs.

A partir de ce constat et en tenant compte des problèmes posés par les pratiques identifiées caractéristiques de chaque groupe, des pistes sont proposées pour l'amélioration des pratiques. Cependant, la diversité des situations rencontrées due à la combinaison des systèmes de production et des manières de gérer l'azote d'origine animale ne permet pas de décrire des cas

type d'exploitation d'élevage bovin vus sous l'angle de l'impact environnemental. Ces cas seraient trop nombreux et il faudrait de plus tenir compte de la diversité au sein de la région.

Les conclusions tirées sont donc globales pour l'ensemble de la zone vulnérable.

Les principaux problèmes qui sont à résoudre au plan des pratiques agronomiques et les pistes de travail à approfondir sont les suivantes.

Problèmes retenus (par ordre d'importance)	Public cible	Les pistes de travail
Concentration des apports d'origine animale	Les éleveurs sont déjà sensibilisés mais n'appliquent pas Publics D et E de la classification.	<p>→ Des actions de conseil ont donné des résultats (Fert'ILL) mais il reste des marges de progrès. Insister sur l'augmentation des surfaces d'épandage et <u>montrer</u> que c'est possible.</p> <p>→ L'épandage sur prairie peut se développer sur certains secteurs (Sundgau par ex.). Le programme de mise aux normes de bâtiments d'élevage peut constituer une occasion de relayer ce message</p>
Surfertilisation azotée du maïs	Tous les publics. Mais les méthodes doivent être adaptées aux différents publics.	<p>→ Continuer la diffusion des références avec des messages simples. Proposer d'autres "doses repère".</p> <p>→ Créer des références pour des successions culturales en liaison avec les états de structure du sol sur les sols sensibles à l'excès d'eau et au tassement.</p>
Absence de respect des calendriers d'épandage et insuffisance des capacités de stockage	Tous les publics. Mais les classes D et E sont prioritaires. Sont également concernés des élevages dont l'agrandissement les conduit à passer en système lisier.	<p>→ La mise aux normes constitue une opportunité d'agrandir ces capacités de stockage. 4 mois est un minimum, 6 mois permet de mieux gérer avec un assolement où le maïs est important</p> <p>→ Accompagnement de ce programme d'une information/formation sur les bonnes pratiques de gestion des déjections, avec utilisation des références précédentes</p> <p>→ Développement des cultures intermédiaires</p>

Par ailleurs, ce travail montre la possibilité, au plan méthodologique, de conduire des diagnostics à une échelle régionale. Les phases de quantification restent cependant les plus délicates à conduire. Elles reposent en partie sur la possibilité d'utiliser - sous contrôle et respect du secret - des fichiers descriptifs de certaines caractéristiques des exploitations agricoles détenues par l'administration ou des établissements publics.

L'intérêt de diagnostic généraux comme celui-ci est de proposer aux acteurs socio-économiques une vision globale des questions à résoudre pour une problématique donnée et d'aider à la construction du dialogue et aux choix des actions à conduire. Une répétition dans le temps d'un diagnostic conduit sous une forme similaire permettrait en outre de mesurer les effets des actions décidées et réalisées. Dans le domaine environnemental en particulier, l'élaboration d'outils d'appréciation des risques de pollution diffuse d'origine agricole à différents échelles de territoire (bassin versant, région, ...) reste un objectif à atteindre pour aider à la recherche de solutions acceptables par tous les acteurs de la problématique.

Les données statistiques disponibles pour chaque pays sont délicates à comparer : en effet, les bases méthodologiques diffèrent (3 sources différentes), de même que les découpages administratifs disponibles. Ces derniers associent des zones de plaine et de montagne de façon différente entre les deux régions, alors que la localisation géographique est un facteur structurant de la distribution des élevages : ceux-ci sont proportionnellement beaucoup plus nombreux dans les zones de montagne qu'en plaine du Rhin.

Relevons simplement qu'à l'échelle de statistiques communales, les situations d'excédent structurel pour les déjections animales (plus de 2.3 UGB / ha de SAU, soit plus de 170 kg /ha SAU d'azote d'origine animale) sont véritablement marginales, et que les ordres de grandeur des chargements par rapport à la SAU totale disponible sont compris entre 0,4 et 0,7 UGB/ha entre Alsace et Bade du Sud.

Les surfaces agricoles disponibles sont suffisantes pour assurer une gestion optimisée des déjections animales.

Dans les deux régions, le maïs est entré dans les systèmes de culture des exploitations d'élevage et est mis largement à contribution pour assurer la valorisation des déjections animales. En Alsace, il reçoit aussi 2/3 des engrais de ferme (enquêtes sur la zone vulnérable), et la fertilisation azotée minérale complémentaire qu'il reçoit est excédentaire.

L'établissement de références agronomiques concernant la valeur fertilisante des déjections animales pour la culture du maïs est pleinement justifiée, ainsi que la recherche des techniques culturales complémentaires destinées à maîtriser les risques de fuites de nitrates dans les deux systèmes de culture concernés.

Le diagnostic réalisé en Alsace montre cependant la nécessité d'établir, en relation avec les agriculteurs, de nouveaux schémas de gestion et d'épandage des déjections animales permettant une meilleure utilisation de l'azote qu'elles contiennent. Pour épandre sur des surfaces supplémentaires et modifier les dates d'épandage, il faut imaginer de nouvelles organisations pour le stockage et les chantiers d'épandage, porter attention au travail du sol dans les situations sensibles au tassement, réfléchir à l'utilisation des prairies dans certains cas. Toute l'organisation du travail de l'éleveur est ainsi concernée, et sa participation est indispensable à la conception de ces nouveaux schémas.

Partie B.- Valorisation de l'azote en situation difficile et consolidation de la grille régionale dans les systèmes d'élevage

L'expérimentation réalisée coté français s'est attachée à étudier la valeur agronomique des déjections animales sous deux angles pour lesquels les références acquises jusqu'alors étaient peu nombreuses.

- estimer et comprendre la valorisation de l'azote du fumier apporté devant maïs en condition de terrain difficile, en particulier dans les sols de limons acides et hydromorphes nécessitant un labour tardif de printemps. Cette situation se rencontre dans de petites régions d'Alsace où l'élevage bovin est encore développé, et où il a été constaté depuis quelques années déjà une mauvaise valorisation des déjections animales (Sundgau, arrière-Kochersberg et Pays de Hanau). Des problèmes d'accidents de structure sont supposés.

Pour des raisons de capacité de stockage insuffisante, il s'agit généralement de fumier frais produit sur l'exploitation pendant l'hiver et apporté au moment du labour.

- consolider la grille régionale de fourniture qui sert de référence et sur laquelle est basé le conseil Ferti-Mieux.

Ces essais montrent les limites de l'approche classique du conseil de fertilisation azotée.

En présence de déjections animales dans ces petites régions, celui-ci ne peut se contenter de se baser sur une " valeur fertilisante " que multiplie un certain tonnage, mais doit intégrer d'autres paramètres, en particulier la structure du sol et la date d'épandage.

Actuellement ce sont des contraintes liées au système d'exploitation d'un grand nombre d'agriculteurs de ces zones d'élevage, qui les obligent à effectuer des labours tardifs et des apports de fumier frais au printemps.

Dans ces secteurs, la solution passerait sans doute par un changement de pratiques : stockage du fumier produit en fin d'hiver jusqu'en été pendant l'été, de façon à le faire évoluer ; labours plus précoces pour améliorer la structure. Ce changement suppose des contraintes en terme de capacité de stockage, manipulation pour la reprise, équipement en matériel et temps de main d'oeuvre, que bien des éleveurs ne sont probablement pas prêts à assumer.

Quant à la date d'épandage, l'absence de référence sur l'apport d'un fumier composté au printemps ne nous permet pas de conclure.

Les déjections animales épandues sur maïs constituent une source d'azote minéral pour la culture. Beaucoup d'agriculteurs n'en tiennent pas encore suffisamment compte pour le calcul de la fertilisation azotée et contribuent ainsi à la pollution nitratée de la nappe phréatique.

La valorisation de la base de données, obtenue grâce aux expérimentations menées en Alsace depuis 1987, permet d'affiner le conseil dans les systèmes d'élevage.

Les résultats indiquent des fournitures en azote du sol plus importantes en système d'élevage. C'est une tendance dont on pourrait chiffrer l'importance grâce à des outils d'évaluation plus fins (analyse des déjections, date d'apport...) mais dont on ne dispose pas ici.

La grande variabilité des résultats ne permet pas de faire un conseil global. On pourrait l'orienter vers une réduction des apports d'engrais minéral mais il reste difficile et aléatoire de chiffrer cette réduction.

Le conseil diffusé actuellement, soit une diminution de 35 U quand on peut compter sur un arrière effet et de 40 U quand il y a un effet direct, a été établi d'après des références acquises en sols de Ried brun et en prenant la valeur 'moyenne - écart-type'.

Les résultats présentés dans le rapport prennent en compte des références plus nombreuses et sur des situations pédo-climatiques plus variées et bousculent en partie ce conseil.

Ces résultats amènent donc à reconsidérer le conseil Ferti-mieux dans certaines situations.

Il faudrait avoir caractérisé l'état structural des témoins pour analyser des groupes à la variabilité plus réduite. Cette opération est contraignante et lourde à réaliser et n'a pas été faite complètement comme le prévoyait le protocole.

Dans les situations variables et à problème il faudrait donc poursuivre l'acquisition de références de façon plus fine afin de pouvoir divulguer un conseil adapté et plus solide.

Partie C - Faisabilité des apports d'automne en lisier sur sol moyennement filtrant et sur sol peu filtrant

Le but du suivi expérimental était de vérifier que la pratique dérogatoire introduite en Alsace n'augmente pas le risque de pertes de nitrates par rapport à la pratique autorisée. On s'attache donc à tester différentes propositions techniques permettant de vérifier si des apports de lisier en novembre aggravent les risques de pollution par les nitrates.

Les moyens humains et financiers ne permettant pas de suivre toutes les situations pédoclimatiques alsaciennes, il apparaissait néanmoins important de vérifier le niveau de risque pris dans des situations pédologiques très contrastées et nous avons choisi d'étudier l'épandage de fertilisants de type lisier, d'une part sur sol à sensibilité moyenne à élevée de pertes de nitrates, d'autre part sur sol à sensibilité très limitée.

Les principaux enseignements sont les suivants :

- En sol sensible à très sensible au lessivage des nitrates, l'apport de lisier en novembre tend à faire augmenter le stock d'azote minéral du sol. Ce stock peut en partie être perdu par lessivage si l'hiver est pluvieux.

Dans ces situations on augmente donc significativement le risque.

L'apport sur cannes de maïs est moins défavorable que l'apport après maïs ensilage, car de l'azote est retenu pour la décomposition des pailles. On peut en chiffrer la quantité à une trentaine d'unités.

- En sol à sensibilité très faible de pertes de nitrates, l'apport de lisier en novembre ou décembre n'augmente pas significativement les pertes de nitrates dans les conditions moyennes de l'hiver alsacien, avec une pluviométrie entre octobre et février comprise entre 200 et 300 mm.

Il faut simplement veiller à limiter les apports pour ne pas dépasser les capacités d'absorption de la culture qui suit. Avec du lisier de porcs (cas traité ici), une trentaine de m³ représentant 100 à 120 unités d'azote total semble être une quantité recommandable.

Partie D : dynamique de l'azote dans des parcelles de maïs fourrage recevant des déjections animales

Les objectifs des travaux conduits à l'Est de l'agglomération de Freiburg dans le périmètre de captage protégé du Dreisamtal, situé au pied de la Forêt Noire (3 385 ha), sur des sols plutôt filtrants étaient les suivants :

- complément des bases agronomiques pour l'optimisation de l'utilisation des effluents d'élevage dans des conditions pédoclimatiques peu favorables,
- introduction éventuelle de meilleures pratiques d'implantation du maïs telles que le semis direct, le semis après fraissage du rang, semis dans un mulch,
- introduction de ces pratiques dans un nouveau système de production de maïs ensilage,
- étude de la dynamique de l'azote du sol grâce à des suivis réguliers, acquisition d'un référentiel fiable (par des suivis pluriannuels) sur la dynamique de l'azote de parcelles de maïs fertilisées avec des déjections animales,
- étude de la structure du sol sous ces conditions de culture modifiées en comparaison des pratiques courantes,

- ancrage dans les périmètres de captage protégés (WSG) de pratiques culturales respectueuses de l'environnement pour le maïs fourrage.

Les rendements en matière sèche ne divergent en moyenne des 3 années d'étude qu'assez peu. En moyenne, les rendements médianes sont pour le semis direct de 131 q/ha, pour le semis avec fraissage du rang de 138 q/ha, pour la variante labour de printemps de 142 q/ha et pour le labour d'hiver de 145 q/ha. L'écart le plus important est donc de 14 q MS /ha.

Les rendements ne varient également qu'assez peu même au sein d'une même année. En 1996 (moyenne générale = 121 q/ha), la différence maximale se trouve entre le labour d'hiver (117 q/ha) et le semis direct (123 q/ha) et n'est que de 6 q/ha. En 1997 (moyenne générale = 197 q/ha), l'écart maximal est de 20 q/ha et en 1998 (moyenne générale de 110 q/ha), l'écart maximal est de 26 q/ha.

Les teneurs en matière sèche ne montrent pas beaucoup de variation entre les différentes variantes testées : les écarts sont de 1 % en 1996 et 1998 et de 2 % en 1997.

En 1996, les valeurs énergétiques obtenues pour les différents itinéraires ne varient guère : 131 400 MJ/ha pour le semis direct, 129 500 MJ/ha pour le semis fraisé, 129 400 MJ/ha pour le labour de printemps et 123 800 MJ/ha pour le labour d'automne. Toutefois, les reliquats mesurés début juin avaient conduit cette année là à un apport supplémentaire de 68 kg N/ha vis à vis des autres variantes.

En 1997, les différences s'agrandissent. Ainsi le labour d'hiver atteint 214 135 MJ/ha contre seulement 193 660 MJ/ha pour le semis fraisé. Des différences encore plus fortes se rencontrent en 1998. Le semis après labour d'hiver obtient le meilleur score avec 125 670 MJ/ha. Ceci correspond à un avantage de 21 % vis à vis de la moins bonne valeur enregistrée pour le semis direct.

Ceci semble indiquer que le pilotage de la fertilisation (dose et peut être date d'apport) doit être adapté au système cultural et notamment à la technique d'installation de la culture pour permettre d'obtenir les meilleures performances.

Les reliquats en azote minéral sont restés en règle générale en dessous de 20 kg N/ha à la fin d'octobre. Seuls des dépassements ont été enregistrés en 1998 pour le semis fraisé (28 kg N/ha) et le semis direct (35 kg N :ha) : ils restent cependant largement en dessous de la valeur seuil de 45 kg N/ha imposée en périmètre de captage. Un calcul effectué selon un modèle présenté en annexe indique une concentration d'environ 20 mg/l de nitrates pour l'eau qui filtre en 1996 en dessous des variantes labourées. Cependant il faut aussi éventuellement tenir compte de pertes de lessivage qui auraient lieu lors d'évènements pluvieux importants après l'apport de fertilisants.

Sur le plan économique, la variante labour d'hiver procure la meilleure marge en moyenne : + 110 DM/ha (370 HH/ha) de mieux que le labour de printemps et environ + 315 DM/ha (soit 1 055 FF) de mieux que les variantes sans labour, qui sont pénalisées entre autres par des charges plus importantes (densité de semis, phytosanitaires...).

Une appréciation des grandes caractéristiques des pratiques étudiées est présentée dans le tableau suivant :

	SD	SF	LP	LH
+	meilleure praticabilité	meilleure praticabilité	charges plus faibles	charges plus faibles
	protection contre l'érosion	protection contre l'érosion		
0	• rendements en matière sèche			
	• absorptions en azote			
	utilisation renforcée de produits phytosanitaires	utilisation renforcée de produits phytosanitaires	risque de lessivage de nitrates plus fort en été	risque de lessivage de nitrates plus fort au printemps et en été
-			Charge en nitrates de l'eau lessivée plus forte	Charge en nitrates de l'eau lessivée plus forte

Il faut toutefois remarquer que pour les variantes avec travail du sol réduit, c'est à dire le semis direct et le semis fraisé, une période de trois années est insuffisante pour un jugement totalement valable. D'autres études sur la réduction du travail du sol ont en effet montré que le processus de transformation du sol peut se dérouler parfois sur une période de transition de plus d'une dizaine d'années avant d'être stabilisé.

L'analyse des nombreux résultats de cette étude confirme que l'approche du thème de la dynamique de l'azote de parcelles de monocultures de maïs recevant des fertilisants organiques est complexe. Selon la manière d'approcher la question, on retrouve des avantages ou des inconvénients pour chaque pratique culturale. Une pratique qui ne présenterait que des atouts pour tous les cas de figure n'existe pas pour l'instant.

Il s'agit notamment de toujours bien peser les éventuelles incidences sur le plan environnemental mais de considérer également les implications financières pour l'exploitant. Cela demande donc à ce que ces questions trouvent réponses dans des travaux de recherche appliquée sous des conditions régionales. Ainsi, les effets parfois très irréguliers de différents paramètres d'expérimentation peuvent être limités et la transposition dans la pratique des solutions intéressantes accélérée au niveau du conseil. D'un autre côté, il est nécessaire que les résultats de telles études influent sur le développement de systèmes de cultures qui dans leur ensemble comportent une forte probabilité de réduction des risques pour l'environnement.

Cela nécessite la connaissance de tels risques et justifie la poursuite des travaux sur la problématique de l'azote dans les régions.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Ammann, H.; Ammon, H.-U.; Anken, Th.; Bohren, Ch.; Monchet, P. A.; Stauffer, W.; Sturny, W. (1994): Maisbau à la carte. Merkblatt LBL
- [2] Ammon, H.-U.; Anken, Th.; Bohren, Ch.; Ryter, H.; Sturny, W. (1993): Maiswiese-Konzept für einen umweltschonenden Maisanbau. UFA-Revue 3, Sonderdruck
- [3] Ammon, H.-U.; Bigler, F.; Waldburger, M. FAP Zürich (CH) (1995): Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993. Die Verfahren im Vergleich. In: Agrarforschung '95.
- [4] Asums; Görlitz (1991): Stickstoffdynamik und -wirkung von Stallmist und Gülle auf diluvialen sandigen Böden. VDLUFA-Schriftenreihe Kongressband
- [5] Bach, M. (1987): Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Göttinger Bodenkundliche Berichte 93, S. 1 – 186
- [6] Biermann, S.; Michel, R.-J.; Remus, M.; Schulz, P.; Voigt, H.-J.: Ein Konzept zur großmaßstäbigen Bewertung der Stoffeintragsgefährdung aus dem Boden in das Grundwasser unter Berücksichtigung von Standort und Bewirtschaftung. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 85, III 1395-1398.
- [7] Blevins, R. L.; Frye, W. W.; Kitur, B. K.; Smith, M. S. (1984): Fate of N¹⁵-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. Agron J. 76, S. 240 - 242
- [8] Brandhuber; Hege (1991): Nitratbelastung des Sickerwassers unter Acker- und Grünlandnutzung viehhaltender Betriebe. VDLUFA (Hrsg.) S. 203-208
- [9] Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (1992): Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. AG Bodennutzung in Wasserschutz- und Schongebieten. S. 42
- [10] Döhler, H.; Schultheiß, U.: Grundwasserschonender Einsatz von Wirtschaftsdüngern. KTBL-Arbeitspapier 206
- [11] Dosch, P., Gutser, R., 1992: Strategien zur Optimierung der Stickstoffwirkung von Flüssigmist. Pirkelmann, H. (Hrsg)
- [12] Dressel, J.; Knittel, H.; Lang, H.: Einfluss der Stickstoffdüngung auf Ertrag und N-Mineralisierungen einer Ackerbraunerde bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung.
- [13] FAP Zürich (CH); Jäggli, F.; Waldburger, M.; Walther, U.: N_{min}-Gehalte des Bodens in vier Maisanbauverfahren 1990 - 1993.
- [14] FAP Zürich (CH); Waldburger, M.; Weisskopf, P.; Zihlmann, U. (1995): Bodenphysikalische Parameter in vier Maisanbauverfahren 1990 - 93. In: Agrarforschung
- [15] Fruchtenicht und Heyn: Bilanz des Stickstoffs und der organischen Substanz in kg bei Lagerung von Stapelmist und Gülle. Neu bearbeitet nach Schmid und Vetter. In: Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. 12. Auflage
- [16] Fruchtenicht; Heyn; Kuhlmann; u. a.: Stalldungenanfall bei verschiedener Stallhaltung und Einstreu (Festmist und Jauche). In: Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau, Auflage 12
- [17] Harrach, T.; Richter, U. (1994): Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitungssysteme auf die Durchwurzelbarkeit des Bodens und die Stickstoffverlagerung mit dem Sickerwasser. In: Tebrügge, F.; Dreyer, M. (Hrsg.): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden, S. 129 - 176
- [18] Harrach, T.; Richter, U. (1994): Einfluss von Bodenbearbeitungsverfahren auf die Nitratverlagerung.
- [19] Kersebaum, K. S. (1989): Die Simulation der Stickstoffdynamik von Ackerböden. Dissertation, Universität Hannover
- [20] Knittel, H.; Lang, H. (1998): Results from Long-Term Experiments with Agricultural crops Measuring the Effects of Various Amounts of Nitrogen and Different tillage Systems on yield and Nitrogen Mineralisation of Soil. International Soil Tillage Research Organization. 11th International Conference Edinburgh, Scotland, July '88
- [21] Köpke; Schenke (1995): Jauche: Effizienter Einsatz eines betriebseigenen Düngemittels. Wiss.-Tagung Ökologischer Landbau, Kiel, Beitrag 3

- [22] Landesamt für Bodenforschung, Bodentechnologisches Institut, Bremen; Scheffer, B.: Abschätzung des Nitrataustrages über Bodenuntersuchungen und Bilanzen.
- [23] Lawane, G., (1984): Mengenveränderung der organischen Substanz bei unterschiedlicher Bearbeitungintensität. UNI Göttingen, Diss.
- [24] Lorenz, F. (1992): Gülledüngung mit ergänzenden Mineral-N-Gaben zur Erzielung optimaler Erträge bei niedrigem Nitrataustrag. Dissertation, Göttinger Bodenkundliche Berichte 99, S. 1 - 172
- [25] LUFA Augustenberg (1996): Nitratbericht. In: Beratungsinformationssystem des Landes Baden-Württemberg
- [26] Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg (1998): Richtwerte für Nährstoffgehalte und anrechenbare N-Mengen im Anwendungsjahr von Flüssigmist, Festmist und Jauche.
- [27] Paffrath (1993): N-Dynamik auf ausgewählten Flächen des Boschheide Hofes und des konventionellen Vergleichsbetriebes. Wissenschaftliche Berichte über Land- und Ernährungswirtschaft in Nordrhein-Westfalen. Reihe C, S. 49, 108 - 115
- [28] Quadflieg, A.: zum Thema "Strategien zur Vermeidung und Verminderung der Nitratauswaschung in Wasserschutzgebieten" am Rande des KTBL/HMUB-Fachgesprächs am 15./16. März 1994 in Duderstadt/Westerode. KTBL-Arbeitspapier 206
- [29] Regierungspräsidium Freiburg (1995): Vertrag über die Durchführung von Sanierungsfruchtfolgen innerhalb der Kernsanierungszone
- [30] Rödelberger; Rohmann (1994): Maßnahmenkombinationen und Varianten zur Sanierung des nitratbelasteten Trinkwassers der Gemeinde Weisweil, TZW
- [31] Rohmann, U. (1995): Rundschreiben "Sanierung des nitratbelasteten Grundwassers durch landwirtschaftliche Maßnahmen". TZW
- [32] Rohmann, U.; et. al. (DVGW Technologiezentrum Wasser) (1994): Veröffentlichung im Rahmen des Projektes "Überbetriebliche Maisflächenbewirtschaftung" des Landes Baden-Württemberg.
- [33] Rohmann, U.; Sontheimer, H. (1985): Nitrat im Grundwasser, Karlsruhe. Einfluss von Bodennutzung und Düngung in Wasserschutzgebieten auf den Nitrateintrag in das Grundwasser. Fachinformation des DVGW/LAWA-Ausschusses "Wasserschutzgebiete". Wasser-Information Nr. 35 - 3/93
- [34] Rüegg, W. (1994): Verfügbarkeit von Stickstoff für Silomais bei Mulchsaat in abgestorbene Zwischenfruchtbestände. Dissertation ETH Nr. 10708, S. 1 - 149
- [35] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: Agrardaten '95
- [36] Stiftung Ökologie und Landbau: Rahmenrichtlinien für den ökologischen Landbau. 14. vollständig überarbeitete Auflage. Sonderausgabe Nr. 17.
- [37] Vetter, R.; et. al. (Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim): Diverse Abschlussberichte über Ergebnisse aus Projekten des Landes Baden-Württemberg aus den Jahren 1992 bis 1994.

F :

- [1] Benoît, Marc (1992) : un indicateur des risques de pollution azotée nommée " bascule " (Balance Azotée Spatialisée des Systèmes de Culture de l'exploitation) – Revue Fourrages n°129, p 95-110
- [2] Benoît, Marc et al (1995) : mesures en parcelles d'agriculteurs des pertes en nitrates. Variabilité sous divers systèmes de culture et modélisation de la qualité de l'eau d'un bassin d'alimentation – Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France – volume 81, n°4 – p 175 à 188
- [3] Besançon T (1998) – Estimation des risques de lixiviation nitrique sous différents systèmes de culture lorrains à partir de dispositifs de suivi in-situ des eaux de percolation – Mémoire de fin d'étude –ISARA 90 p

