

THÈSE

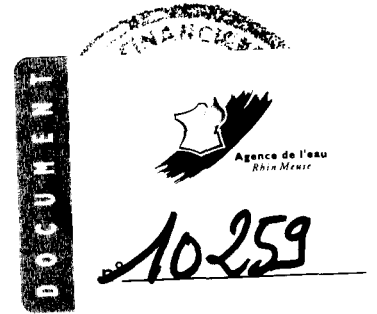
Présentée à

l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

en vue de l'obtention du titre de
**DOCTEUR-INGÉNIEUR
EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

par

PHILIPPE LEHRMANN



Sujet:

" CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE ET DES
TRANSFERTS DE L'AZOTE MINERAL EN SOLS CULTIVES
SOUS CLIMAT SEMI-CONTINENTAL. "

Soutenue publiquement le **20.09.1984** devant la Commission d'Examen

Membres du Jury:

| | | | |
|-----|------------|------------------------------|---------------|
| MM. | A. GUCKERT | Professeur de Phytotechnie | (E.N.S.A.I.A) |
| | F. JACQUIN | Professeur de Science du Sol | (E.N.S.A.I.A) |
| | D. PICARD | Maitre de Recherche | (I.N.R.A) |
| | S. RAMON | Ingénieur chargé de mission | (A.F.B.R.M.) |

PLAN DU MEMOIRE

(on trouvera un plan détaillé de chacune des parties en tête de celles-ci)

| | | |
|---|-----------|------|
| - AVANT PROPOS | | PAGE |
| - INTRODUCTION GENERALE | | PAGE |
| | | |
| <u>1ère PARTIE</u> : Eléments pour une approche régionale de la fertilisation azotée. - - - - - | | |
| | | 7 |
| INTRODUCTION | | |
| 1. La base du Raisonnement | - - - - - | 13 |
| 2. Cadre de l'étude et ses modalités | - - - - - | 21 |
| 3. Résultats Régionaux | - - - - - | 24 |
| 3.1. Azote, rendements et fertilisations | - - - - - | 24 |
| 3.2. Besoins azotés des cultures | - - - - - | 38 |
| 3.3. Participation du sol à la satisfaction des besoins azotés | - - - - - | 40 |
| 3.4. Azote minéral disponible à la sortie de l'hiver | - - - - - | 52 |
| 4. Conclusions | - - - - - | 72 |
| | | |
| <u>2ème PARTIE</u> : Contribution à l'étude de la lixiviation des nitrates - - | | |
| | | 75 |
| INTRODUCTION | | |
| 1. Approche théorique | - - - - - | 81 |
| 2. Cadre et techniques de l'étude | - - - - - | 90 |
| 3. Résultats | - - - - - | 101 |
| 3.1. Dynamique de l'eau | - - - - - | 101 |
| 3.2. Evolution de l'azote | - - - - - | 127 |
| 4. Conclusions | - - - - - | 139 |
| | | |
| - CONCLUSION GENERALE | - - - - - | 147 |
| - BIBLIOGRAPHIE | - - - - - | 155 |
| - ANNEXES | | |

INTRODUCTION GENERALE

Le suivi régulier de la qualité des eaux des aquifères et un recensement de la composition des eaux potables effectués notamment par la Commission Interministérielle de la nappe phréatique d'Alsace et par l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse ont montré un accroissement notable de la teneur des eaux de la nappe phréatique en azote nitrique (ULP-IMF, 1980). Or, sous cette forme l'azote peut-être cause de nuisances et de toxicités à partir de certaines concentrations.

L'agriculture intensive, utilisant de grandes quantités d'engrais azotés nécessaires à l'élaboration de produits de qualités avec des rendements élevés figure parmi les responsables de cet enrichissement (HENIN,1980).

L'azote est assimilé par les cultures, sous forme de nitrates issus de différents processus de transformation. Ces nitrates, très solubles dans l'eau et ne se fixant pas sur le complexe absorbant, sont très facilement soustraits de la zone d'absorption racinaire par lixiviation s'ils ne sont pas consommés. Les transformations de l'azote nitrique au sein du sol étant encore difficilement quantifiables et maîtrisables, l'emploi d'engrais de synthèse reste essentiel pour une agriculture intensive (HENIN,1980). Mais la préservation de la qualité des eaux superficielles et souterraines et l'accroissement des charges financières des exploitations doivent inciter les exploitants agricoles à une utilisation rationnelle des fertilisants.

L'optimisation de la fertilisation azotée d'une culture consiste d'une part à satisfaire le plus précisément possible les besoins de la plante en réalisant des apports tenant compte des fournitures par le milieu, et d'autre part à choisir les techniques culturales permettant au végétal de valoriser au mieux les éléments nutritifs mis à sa disposition.

La grande complexité du cycle de l'azote et le rôle important que certains paramètres au caractère aléatoire y jouent obligent l'agronome à trouver un compromis, le moins mauvais possible, pour répondre aux besoins immédiats de la production. La solution est recherchée dans

l'établissement de modèles prédictifs, seuls outils adaptés à cet objectif, malgré leur imprécision. La mise au point et l'utilisation de ces modèles. Implique le recueil d'un nombre important de paramètres spécifiques. La mesure de ceux-ci nécessite alors des méthodes d'investigations de plus en plus fines et précises.

Dans la première partie de ce mémoire nous avons étudié au moyen d'enquêtes régionales, trois des principaux paramètres du modèle théorique de calcul de la fertilisation azotée d'une culture de blé et de maïs. Ces enquêtes et les résultats de deux campagnes spécifiques de mesures nous ont de plus permis de tester en Alsace, la "méthode des bilans" élaboré pour la culture du blé et déjà utilisé dans d'autres régions françaises, en nous attachant plus particulièrement au terme "azote minéral sortie hiver". Les propositions d'amélioration de la nutrition azotée des plantes ont enfin été complétées par une étude critique des pratiques régionale de la fertilisation.

La deuxième partie est consacrée à l'étude de la lixiviation de l'ion nitrate. Les risques écologiques et les pertes économiques occasionnés par cette fuite en profondeur ont motivé la recherche d'une méthode d'évaluation du phénomène en conditions réelles de culture. La mesure de ce terme, que la méthode du bilan cherche à minimiser, devrait permettre la caractérisation du phénomène dans de nombreuses situations, contribuant ainsi à l'amélioration de l'aspect prévisionnel des modèles de calcul de la fertilisation azotée. Une telle méthode est également intéressante pour comparer les techniques culturales et de fertilisation afin de choisir pour des conditions de milieu définies, les plus économiques et les moins polluantes.

CONCLUSION GENERALE

L'hétérogénéité des conditions de milieux (sols, climats) et une histoire culturale propre confère à chaque parcelle cultivée une individualité agronomique telle qu'il devient indispensable de raisonner certains problèmes à l'échelle du champ. C'est notamment le cas de la limitation des pertes d'azote nitrique, objectif qui nécessite donc une gestion de l'azote adaptée à chaque situation. C'est dans cette optique que nous avons envisagé d'une part l'optimisation des apports de fertilisants azotés sur blé et maïs et d'autre part une approche des transferts de nitrates dans trois sols d'Alsace en période hivernale.

Le calcul de la fertilisation azotée s'effectue en effet à partir d'un objectif de rendement en accord avec les potentialités du milieu et de l'exploitation qui permet de définir des besoins que l'on cherche à satisfaire au maximum en évitant les excès nuisibles. Dans une première partie, nous avons donc voulu vérifier l'utilisation du modèle prévisionnel de calcul de la fertilisation azotée tel qu'il est proposé par l'ITCF aux agriculteurs, à partir des données de trois enquêtes sur les agrosystèmes blé et maïs. Nous nous sommes plus particulièrement attachés à tester la grille d'estimation de l'azote minéral disponible à la sortie de l'hiver. Dans ce bilan prévisionnel, les estimations des fuites de nitrates en profondeur, présentant certains risques écologiques, constituent un terme important dont la connaissance permet une meilleure précision des prévisions. Nous avons donc, dans une deuxième partie, voulu vérifier dans quelle mesure certaines méthodes de détermination des bilans hydriques et de mise en oeuvre de bougies poreuses étaient effectivement utilisables à la mesure de la lixiviation de l'azote dans les conditions des parcelles des agriculteurs, ce qui impose notamment : une fréquence limitée des mesures, et un dispositif ni trop complexe ni trop onéreux.

La mise en oeuvre de ces méthodes, dans ce contexte, a révélé qu'un certain nombre de problèmes subsistent, ce qui ne nous a pas permis d'exploiter les résultats obtenus de façon aussi approfondie que nous l'escomptions.

Nous pouvons cependant regrouper nos conclusions en quatre points.

1. Mesures des teneurs en azote nitrique des sols

Les mesures que nous avons effectuées, dans le cadre de l'étude des migrations en profondeur ou des enquêtes nous ont amené à trois interrogations.

La comparaison des teneurs de la solution du sol des différents horizons et des percolats à faite ressortir le problème de la représentativité de la solution extraite par rapport à la solution moyenne du sol suivant qu'on se trouve en phase de drainage, d'équilibre ou de dessèchement. Ce problème est important à résoudre si l'on souhaite connaître la composition moyenne de la solution traversant un plan fixé en vue du calcul des pertes.

D'autre part la mise en relation des teneurs en nitrates des terres et des solutions extraites à l'aide de bougies poreuses a montré un écart important entre ces 2 mesures, rendant impossible le calcul de bilans azotés à l'aide des concentrations de solutions du sol. Nous avons pu noter une certaine stabilité des concentrations des solutions cependant que les teneurs mesurées dans les sols variaient beaucoup plus pendant l'hiver, alors que théoriquement l'azote nitrique ne se trouve qu'en solution dans le sol ; la répartition des nitrates n'est donc pas homogène dans la solution du sol. Les résultats obtenus ont néanmoins permis d'observer certaines tendances d'évolution à moyen et long terme ou dans des conditions bien particulières (cf. § 2. ci-dessous).

Outre ces problèmes techniques, nous avons constaté que l'une des limites imposées par le dispositif, ne permettait pas, quels que soient les moyens utilisés, d'apprécier au champ les phénomènes de transfert et la dynamique de l'azote à court terme d'une part, l'optimisation et l'adaptation de la nutrition azotée d'une culture d'autre part. En effet, les concentrations en nitrates d'un sol agricole sont le résultat d'un équilibre qualitatif et quantitatif qui, sous l'action de la biomasse microbienne, est en constante évolution. Une mesure à une date donnée ne donnera donc qu'une image instantanée d'un phénomène évolutif du fait notamment des aléas climatiques. Cette remarque impose donc une fréquence de mesures élevée dont on ne pourra s'affranchir que grâce à des modèles d'évolution, actuellement difficile à mettre au point compte-tenu du grand nombre de transformations et d'interaction existant dans un sol cultivé.

2. Evolution de l'azote

La confrontation des principales caractéristiques des terres avec les teneurs en azote nitrique a confirmé le rôle important de la teneur en matière organique dans le pouvoir minéralisateur du sol. Le pouvoir minéralisateur du sol est également apparu bénéfiquement influencé par les résidus de culture fermentescibles et les apports de matières organiques évoluées. Le taux de nitrate du sol à la fin de l'hiver est par contre diminué par des résidus

à C/N élevé, l'irrigation du précédent mais aussi par un climat d'automne et l'hiver froid et pluvieux. Nous avons pu mettre en évidence pour ce dernier paramètre, l'existence d'un seuil de précipitation au-delà duquel une augmentation du volume de pluie n'avait plus d'influence.

Par ailleurs, l'absence totale de relation entre apports d'engrais et taux de nitrates des sols aux dates choisies d'une part, excès de fertilisation et concentrations en azote nitrique des sols à la récolte d'autre part, confirme le rôle déterminant de l'activité réorganisatrice sous culture. L'étude des solutions du sol a mis en évidence l'existence d'une évolution globale en quatre phases, les teneurs augmentant en automne sous l'effet de la minéralisation, diminuant au début de l'hiver à cause de la dilution, du lessivage et des transformations, se stabilisant en hiver malgré un lessivage constant puis augmentant à nouveau du fait de la minéralisation de printemps.

Dans les conditions particulières d'une solution enrichie par un apport nous avons par ailleurs montré que le transfert de nitrates sous l'effet des mouvements d'eau paraît rapide et important dans le sol caillouteux, et qu'il existe dans les sols limoneux deux types de transport de solutés : une exportation rapide d'une petite quantité d'azote en même temps que l'eau drainante suivie d'une redistribution plus lente mais moins profonde concernant une quantité plus importante. Ces mouvements empruntent vraisemblablement des types de pores différents. Dans les trois cas, nous avons noté un retard du soluté sur le solvant.

3. Réflexion sur l'utilisation des modèles

Dans la première partie, nous avons examiné un modèle essentiellement pratique, qui, à partir de données facilement accessibles à l'agriculteur lui permet de prévoir ses épandages d'engrais. Mais ce bilan prévisionnel est applicable uniquement à condition que l'azote soit le seul facteur limitant la croissance de la culture. Or, nos enquêtes ont montré que ce point n'était pas vérifié. De plus, ce modèle est basé sur l'estimation de besoins, calculés à partir d'un objectif de rendement dont nous ne disposons pas. L'utilisation du rendement réel a donc certainement biaisé la vérification. De même, le recours à des coefficients d'utilisation de l'azote maximum a sous-estimé les apports par le sol qui se sont cependant révélés importants.

La vérification de la grille d'estimation de l'azote minéral disponible à la sortie de l'hiver, dernier poste important du bilan, a montré l'inadaptation en Alsace des coefficients proposés pour le nord de la France. Mais les fondements théoriques de la méthode n'ont nullement été mis en cause.

Nous concluons donc à la nécessité de poursuivre les campagnes de mesures en conditions réelles de culture mais aussi grâce à des dispositifs expérimentaux adaptés afin de définir pour l'Alsace les fournitures potentielles et réelles d'azote à la plante par le sol et le poids du climat (Pluviométrie et température), des caractéristiques des terres (% MO, perméabilité, profondeur), du type de précédent et des techniques culturales employées, qui sont les principaux facteurs influençant en Alsace le "reliquat" sortie hiver.

L'utilisation du modèle de DELPHIN-TIQUET (1983) a fait ressortir toute la difficulté de transposer une équation obtenue au laboratoire en conditions contrôlées dans un milieu hétérogène actif, et soumis à des aléas climatiques contrastés. De plus, ne maîtrisant pas la dispersion de certains paramètres (% Ca - % Argile), leur effet sur le pouvoir minéralisateur du sol a été occulté.

Dans la deuxième partie, nous cherchions une utilisation agronomique des équations de transferts et nous avons donc défini une fréquence de mesure compatible avec cet objectif.

Il est en fait apparu que les phénomènes de transfert sont très rapides aussi bien dans les sols très filtrants que dans les limons. Nous n'avons donc pas pu mesurer effectivement les phénomènes et utiliser les équations dans lesquelles on ne peut assimiler les coefficients à des constantes que sur des temps très courts (24 h au maximum).

Cette étude a également révélé le nombre important de paramètres des échanges azotés qui restent à acquérir avant de pouvoir s'affranchir des prélèvements de solutions du sol fréquents dans le temps et dans l'espace.

Enfin, l'erreur systématique mesurée sur les bilans hydriques à court terme a pour cause, outre une rétention non contrôlée d'eau en fond de lysimètre, une mauvaise appréciation de l'évapotranspiration. Il nous sem-

ble donc nécessaire de déterminer en période hivernale les relations entre ETP et ETR, notamment sur des sols très filtrants où l'évaporation est apparue nettement surestimée.

4. Pratique de la fertilisation azotée

Nos dernières conclusions concernent les résultats, issus de la première partie, liés surtout aux pratiques et au contrôle de la fertilisation azotée des cultures.

L'effet non limitant de l'azote et l'importance des doses épandues, notamment sur maïs où elles tendent à combler les besoins globaux de la plante, confirme que l'agriculteur cherche actuellement une assurance de rendement plutôt qu'un optimum économique et considère le sol comme un support de culture et non comme un fournisseur d'éléments nutritifs surtout pour le maïs.

Nos résultats ont par ailleurs montré que l'amélioration de la fertilisation azotée passe par une meilleure gestion et une bonne valorisation des fertilisants.

Si le fractionnement est une technique utilisée, la répartition des doses s'est avérée inadaptée aux courbes de croissance des plantes. Les rendements du maïs sont enfin apparus favorablement influencés par une date de semis précoce et par une bonne gestion de l'eau.

Par ailleurs, si l'on cherche à vérifier la bonne alimentation azotée de la culture, les paramètres "nombre de grains par unité de surface" et le "poids de 1000 grains" semblent mieux adaptés que le rendement global qui intègre de nombreux autres effets. On utilisera le premier paramètre pour le blé, et pour le maïs lors de la première phase de son cycle ; le deuxième facteur paraît bien adapter au contrôle de la nutrition azotée du maïs à partir de la floraison.

En conclusion, nos travaux visaient donc à adapter des modèles théoriques à des conditions de plein champ dans une région pédoclimatique originale et contrastée. Du fait de cette originalité, le bilan prévisionnel s'est révélé inadapté, mais son fondement reste valable. La grande diversité des situations rencontrées confirme de plus l'importance du rôle de l'agriculteur dans la décision des interventions, ce qui implique de garder l'esprit d'un modèle simple à utiliser.

Nous avons également recherché cette simplicité d'utilisation dans la deuxième partie, mais nous nous sommes heurtés à la relative complexité et surtout à la rapidité de l'évolution des transferts. Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble donc difficile d'arriver à un compromis correct entre précisions et fréquences des mesures de lixiviation d'azote.

-:-:-:-:-:-:-