

74.2009

Organisme bénéficiaire :

Institut National de la
Recherche Agronomique
149, rue de Grenelle
75341 - PARIS CEDEX 07

ER
563

*prêt Popinuel
fait*

Laboratoire :

Station d'Agronomie et
de Physiologie Végétale

45, Boulevard du Cap

B.P. 78

06602 - ANTIBES



6326 D RM



Denise BLANC

RECHERCHE SUR LA CONTAMINATION DES NAPPES EN NITRATES :

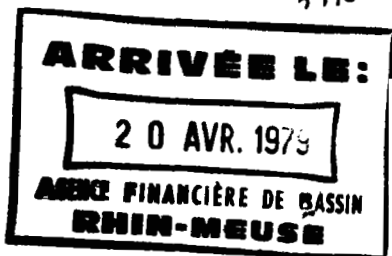
GYNAMIQUE DES NITRATES DANS LES SOLS SOUS SERRE.

S. I. D. E.

Service d'Information et de
Documentation et
Bibliothèque

Relations
avec les
Associations
et les
Partenaires

390



Compte-rendu de fin d'étude
d'une Recherche financée par
le Ministère de la Qualité de
la Vie

Action concertée : Contamination des nappes
en nitrates.

Décision d'aide n° 74.19. 1227 (677)

TABLE DES MATIERES.

RESUME.

INTRODUCTION.

I. ENQUETE SUR **LES** PROPRIETES CHIMIQUES DES SOLS DE SERRES.-

- 1.1 - Conduite de la recherche.
- 1.2 - Résultats et interprétation.
 - 2.1 - Répartition verticale des matières organiques, du phosphore et du potassium dans les sols en place.
 - 2.2 - Répartition horizontale des matières organiques, du phosphore et du potassium.
 - 2.3 - Répartition verticale de l'azote nitrique dans les sols en place.
 - 2.4 - Répartition horizontale de l'azote nitrique.
- 1.3 - Conclusions.

II. MINERALISATION DES MATIERES ORGANIQUES DANS UN SOL DE **SERRE** EN COURS DE CULTURE

- 11.1 - Conduite de la recherche.
- 11.2 - Résultats et discussion.
- 11.3 - Conclusion.

III. **ETUDE EXPERIMENTALE** DU DEPLACEMENT DES NITRATES DANS UN MATERIAU DE **POROSITE** BIMODALE.

- 111.1 - Conduite de la recherche.
- 111.2 - Résultats et interprétation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

CONCLUSION GENERALE.

A " ME : Méthodes d'analyse des caractéristiques étudiées.

R E S U M E

Une enquête **sur** la répartition des éléments fertilisants dans les deux premiers mètres des sols **sous** 30 serres horticoles, révèle l'intensité et **la** fréquence des entraînements d'azote nitrique, verticaux et éventuellement latéraux vers les zones **non** arrosées. Elle montre également la possibilité d'entraînements beaucoup plus limités pour le potassium. Par contre, les enrichissements **en** matières organiques et phosphore sont limités **à la** zone travaillée.

Une étude en cases lysométriques prouve que **la** minéralisation d'une dose normale de fumier apportée **à la** plantation des rosiers suffit pour alimenter cette culture en azote pendant 18 mois. L'importance des **four-**nitures d'éléments fertilisants par les amendements organiques devrait obliger **à** les prendre en compte **dans la** pratique de la fertilisation.

Enfin, on observe expérimentalement l'existence d'un optimum pour la vitesse de lessivage d'un excès de salinité nitrique.

INTRODUCTION

Les éléments fertilisants utilisés en agriculture sont aujourd'hui considérés, par ailleurs, comme une source éventuelle de pollution. On redoute notamment l'enrichissement des eaux de surface en azote et phosphore et leur eutrophication, ou l'élévation de la teneur en nitrates des eaux souterraines jusqu'à des doses toxiques pour l'homme (methémoglobinémie) .

Or, en horticulture sous serres, la fertilisation minérale représente environ le décuple des apports classiques en grande culture. Elle est généralement apportée en irrigation fertilisante, donc sous une forme extrêmement mobile dans le sol. De plus, aux engrais s'ajoutent les éléments fertilisants libérés par la minéralisation des amendements organiques apportés avant la plantation ou en cours de culture pour amener le sol dans un état structural satisfaisant.

Par suite de la méconnaissance des rythmes de minéralisation, ainsi que de la tendance de l'horticulteur à augmenter les doses préconisées, il peut arriver, à certaines périodes, que les exportations par les végétaux et la fixation par le sol ne suffisent pas à empêcher la quantité de sels dissous dans l'eau du sol de devenir notable. Un drainage d'eau risque alors d'entraîner en profondeur cet excès de sels. D'ailleurs, lorsque la salinité atteinte devient néfaste pour la végétation, le lessivage est provoqué par l'horticulteur.

Il importait donc de vérifier la réalité de ces risques potentiels d'entraînements d'éléments fertilisants sous les serres horticoles ; et, en cas de réponse positive, de tenter de les mesurer. L'étude menée par la Station d'Agronomie de l'I.N.R.A. à ANTIBES, sur la demande du Ministère de la qualité de la Vie, a essayé de répondre à ces interrogations :

- en mesurant la répartition des éléments fertilisants dans les sols.
- en suivant la minéralisation du fumier et des matières organiques dans des cases lysométriques cultivées.
- en étudiant expérimentalement au laboratoire le déplacement de solutions de nitrates dans un modèle de sol agrégé.

1 - ENQUETE **SUR** LES PROPRIETES CHIMIQUES DES SOLS DE SERRES

1.1 - Conduite de la recherche.-

30 serres ont **été** choisies dans les principales régions horticoles des Alpes Maritimes et du Var. On s'est limité aux cultures de Roses et d'oeillets américains qui **occupaient** en 1975 environ 300 ha dans les Alpes Maritimes et 180 dans le Var, soit **70 %** des surfaces consacrées à la production des fleurs coupées.

Pour creuser la fosse d'observation et les profils avoisinants **sans** dégâts dans des productions aussi coûteuses, on a choisi des serres en fin de cycle de culture, au moment où l'horticulteur procède à l'arrachage des plants. On a pu ainsi constituer **un** échantillon assez large. En contre partie, les dates d'observation sont liées à la culture. Les oeillets ont **été** examinés au printemps, et les roses plutôt en hiver.

Dans chaque serre, les échantillons de terre ont **été** prélevés à la tarière selon trois axes verticaux qui correspondent à une ailée ou passage, à une bordure de banquette (oeillet) ou de ligne de culture (Rosier) et au centre de la banquette ou de la ligne. La profondeur examinée est la profondeur maximum de prélèvement permise par la nature du **sous-sol** (présence d'**un** niveau caillouteux, nappe d'eau ...) ou par la tarière (2 mètres environ). Ces profondeurs s'étagent assez régulièrement de 50 à 225 cm. Les échantillons correspondent à un intervalle de profondeur compris entre 5 et 20 cm.

Pour cette étude 4 caractéristiques ont **été** prises en considération.. :
- Azote total, - Azote nitrique, - Phosphore assimilable Truog et - Potasse échangeable. On trouvera les méthodes d'analyse en annexe.

Pour l'Azote nitrique, on a calculé les quantités contenues dans une certaine épaisseur de **soi** sur une surface unité d'un mètre carré, en attribuant conventionnellement aux densités apparentes du sol des valeurs de 1 dans la zone travaillée (en général 0 à 30 cm) 1,3 sous cette zone (de 30 à 60 cm) et 1,5 au-delà. Pour les allées et passages, on ne retient que ces 2 dernières valeurs (1,3 de 0 à 60 cm ; 1,5 au-delà). Pour certains sols très légers on a utilisé la séquence de densités de 0,6 - 1 et 1,5.

1.2 - Résultats et Interprétation :

2.1 - Répartition verticale des matières organiques, du phosphore et du potassium dans les sols en place.

Dans la couche superficielle de 0 à 20 cm, les **sols** sont plutôt riches en matières organiques, riches à extrêmement riches en phosphore et également riches à très riches en potassium.

En profondeur, (20 à 50 cm), les teneurs en ~~matières organiques~~ et ~~phosphore~~ diminuent brusquement sous la zone labourée et, sauf en de rares exceptions, prennent des valeurs faibles ou même très faibles. Entre 55 et 105 cm, les teneurs diminuent encore, mais plus faiblement puisque les valeurs atteintes sont déjà basses. Cette chute brutale des teneurs en azote total et phosphore entre la couche travaillée et le **sous-sol**, classique en culture de plein air, est ici encore accentuée par l'enrichissement de la surface qui ne se repercute que faiblement sur le **sous-sol**.

La répartition verticale du ~~potassium~~ est différente, la moitié des profils sont encore riches à 55 cm de profondeur, et bien pourvus à 105 cm. L'enrichissement de la couche superficielle semble se prolonger en profondeur. Cela pourrait être l'indice d'un entraînement dans le sous-sol du cation K^+ . Une autre hypothèse serait que les différents sous-sols soient tous naturellement riches en cet élément. Sur une telle variété de situations géologiques, cela paraît peu probable.

2.2 - Répartition horizontale des matières organiques, du phosphore et du potassium.

Généralement toute la couche superficielle est enrichie, même sous les allées ou passages. Bien plus, souvent pour le potassium et parfois pour les matières organiques et le phosphore, ce sont les allées qui présentent les teneurs les plus élevées. Dans le cas du potassium, cette hétérogénéité horizontale peut se prolonger assez loin en profondeur ; parfois à plus d'un mètre. On peut voir là un argument en faveur de l'hypothèse émise plus haut, d'une relative mobilité du cation K^+ et d'une migration en profondeur des apports faits en surface.

L'importance des hétérogénéités de répartition verticales et horizontales confirme le rôle primordial de l'échantillonnage des prélèvements pour les analyses de terre de contrôle.

2.3 - Répartition verticale de l'Azote nitrique dans les sols en place :

Pour la couche superficielle de 0 à 50 cm, un tiers des profils contiennent moins de 20 g d'Azote nitrique par m² ; quantité jugée suffisante pour assurer une nutrition azotée convenable en période de végétation. Un autre tiers des profils contiennent de 50 à 270 g/m², quantités excessives. De plus, on trouve au-delà de 50 cm, des quantités comparables, alors qu'il ne devrait pratiquement pas y avoir d'azote nitrique sous la zone travaillée. Plus des deux tiers des profils contiennent de 20 à 300 g/m² entre 50 cm et la profondeur maximum examinée. Enfin, les quantités retrouvées au-delà d'un mètre sont également excessives.

Par ailleurs, on n'a que très rarement mesuré une teneur en azote nitrique nulle ou négligeable au bas du profil examiné. Les pertes en profondeur sont donc à la fois très fréquentes et très intenses.

2.4 - Répartition horizontale de l'azote nitrique :

Pour la couche superficielle de 0 à 50 cm, les plus forts enrichissements se trouvent dans les allées des serres d'oeillets, plus précisément dans les 10 premiers centimètres. Puis, viennent les passages des serres de rosiers et en dernier seulement les zones cultivées sous banquettes d'oeillets ou lignes de rosiers. Cette accumulation de nitrates localisée dans les zones sans culture révélerait l'importance du transfert de la solution du sol depuis les zones cultivées irriguées vers les zones nues non arrosées.

Les deux directions d'entraînement de l'azote nitrique, en profondeur et latéralement vers les allées sont souvent observées simultanément dans les mêmes serres.

1.3 - Conclusions sur la répartition des principaux éléments fertilisants dans les sols de serres.

~~3.1 - La couche superficielle~~ de 0 à 50 cm est généralement très riche en matières organiques, phosphore assimilable et potasse échangeable. Les teneurs en azote nitrique sont extrêmement variables sous les zones cultivées ; par contre, elles sont souvent excessives sous les zones nues de passage.

~~3.2 - Le sous-sol~~ au-delà de 50 cm présente des teneurs en matières organiques et phosphore normales en agriculture et sans risque pour l'environnement. Ces éléments sont retenus dans la zone travaillée.

~~3.3 - Dans ce même sous-sol~~, par contre, les teneurs en potassium peuvent être encore élevées. Il semble que cet élément soit **plus** mobile, et puisse, dans certaines situations, être entraîné soit en profondeur, soit latéralement vers **les** zones d'évaporation (aillées).

~~3.4 - L'azote nitrique~~ est très mobile. Il peut être entraîné en très grande quantité sur toute la profondeur examinée (jusqu'à 230 cm). Les déplacements latéraux et les accumulations sous les passages sont également fréquents et intenses.

~~3.5 - L'importance de l'échantillonnage~~ pour les analyses de terre de contrôle est soulignée par l'hétérogénéité de la répartition des éléments. Pour évaluer les risques d'entraînements un prélèvement **dans** la zone travaillée est presque sans signification ; il **faut** faire des analyses du **sous-sol**.

Par ailleurs, un indice d'une alimentation antérieure excessive en azote pourrait être obtenu commodément par l'analyse des premiers centimètres des passages non arrosés.

II - MINÉRALISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DANS UN SOL DE SERRE EN COURS DE CULTURE.

ETUDE EN CASES LYSIMÉTRIQUES

11.1 - Conduite de la recherche.-

Cet essai comporte deux types de sol : un sol A de réaction neutre et de teneur moyenne en matières organiques (N total = 1,45 p.mille) et un sol B calcaire, très riche en matières organiques (N total = 4,50 p.mille). Il a été réalisé dans des cuves en matière plastique d'une surface de 0,6 m² et 0,5 m de profondeur. Le fond, recouvert de graviers pour faciliter la circulation de l'eau, est muni d'un robinet permettant de recueillir le drainage. Cinq cuves ont été utilisées pour chaque terre ; chacune contenait 200 kg de terre, 5 kg de tourbe, 20 kg de fumier et une fumure de fond phosphopotassique. La préparation des mélanges, leur désinfection par la vapeur et le remplissage des bacs ont été effectués au début de l'année. En janvier et février, les bacs ont été maintenus humides et la serre non chauffée ; la température des substrats est restée entre 10 et 15° C. De mars à novembre, ces bacs ont porté successivement une culture de chrysanthèmes, variété Tokyo, une culture de tomates, variété Saint-Pierre et une culture de laitues, variété Quick. Puis, en décembre, des rosiers, variété Baccara greffés sur R. Indica Major, ont été mis en place à raison de 6 plants par bac. Les analyses des drainages avaient été entreprises à partir d'avril. En dehors de la fumure de fond, aucune fertilisation minérale ou organique n'a été appliquée de sorte que les teneurs en nitrate observées dans les drainages sont le résultat de l'évolution des sols et des produits incorporés au départ.

11.2 - Résultats et discussion.-

Pour le sol A, pendant les 18 premiers mois de l'essai, jusqu'à juin de la deuxième année, la teneur moyenne en azote nitrique dans les drainages a oscillé entre 200 et 300 mg N par litre. Puis elle devient presque nulle en août et septembre.

Pour le **sol B**, pendant cette **même** période de temps, la teneur moyenne en nitrate a varié entre 350 et 600 mg N par litre puis elle est tombée à 250 mg en **août** et septembre.

Les nitrates dosés représentent en fait un bilan entre les prélèvements effectués **par les** cultures et **la** minéralisation de l'azote organique. Si l'on admet que la tourbe est relativement stable, cette minéralisation porte essentiellement sur **la** matière organique du soi et sur le fumier. La part due à la matière organique peut être observée en comparant les deux **sols**. Dans les drainages moyens du **sol B**, riche en matière organique, on trouve presque deux fois plus de nitrate que **pour** le sol A. De plus, en septembre de la deuxième année, les résultats sont encore loin d'être nuls ; la minéralisation de la matière organique est donc encore importante à ce moment là.

Le fumier, pour **sa** part, doit fournir l'essentiel des nitrates **trouvés** dans les drainages du sol A. Son action parait durer environ 18 mois dans les conditions de cet essai et ensuite en **août** et septembre la teneur en nitrate s'annule. Dans ce cas, la minéralisation de la matière organique du sol A est insuffisante à elle seule **pour** couvrir les besoins des plantes.

11.3 - Conclusion.-

La maîtrise de la teneur en nitrates dans un **sol** de serre suppose que l'on prenne en considération l'évolution des matières organiques du **sol** et de celles que l'on apporte.

En l'absence de toute fertilisation minérale azotée, la teneur en nitrates du sol peut varier **dans** de grandes proportions suivant l'évolution de l'azote organique, depuis la déficience jusqu'à l'excès produisant une salinité trop forte.

Dans les conditions de **nos** essais, c'est à dire en particulier en l'absence de perte par lessivage, un apport de fumier équivalent à 30 kg au mètre carré, peut couvrir les besoins en azote des cultures pendant 18 mois environ. Si cet apport est fait **sur** un sol **déjà** riche en matières organiques, la concentration en nitrate peut devenir très forte (500 à 600 mg N/l) et **même** nuisible.

³ Des études sont actuellement en cours avec des matières organiques du type bois qui seraient au contraire susceptibles de réduire la teneur en nitrates en provoquant la réorganisation de l'azote.

III - ETUDE EXPERIMENTALE DU DEPLACEMENT DES NITRATES DANS UN MATERIAU DE POROSITE BIMODALE

111.1 - Conduite de la recherche.

La dispersion hydrodynamique (CALVET et GRAFFIN - 1974) est étudiée par les courbes d'érlution obtenues en provoquant le déplacement à vitesse constante de l'eau de remplissage d'une colonne d'agrégats empilés par une solution de nitrate de potassium $\frac{N}{20}$ ou $\frac{N}{100}$. La colonne en aïtugiass a une longueur de 74,8 cm et un diamètre de 3,95 cm. Les agrégats sont des particules poreuses de sEpiolite frittée à 800° C.

Ces particules sont tamisées en 3 classes de diamètre 200 à 500 μ , 500 à 1000 μ et plus de 2000 μ . Les diamètres moyens utilisés sont respectivement 350, 750 et 2500 μ .

La porosité totale de l'empilement est de 77 %. Pour les 2 classes de diamètres moyens 350 et 750 μ , l'ensemble des pores de diamètres supérieurs à 50 μ représente 44 % et ceux de diamètres inférieurs à 3 μ 32 % du volume total de la colonne.

L'alimentation est assurée par une pompe électromécanique à galets. La solution saline déplaçante étant en dessous de la solution d'eau pure déplacée, le front de séparation des 2 liquides est stable (KRUPP - 1969). L'effluent est recueilli par fractions de 10 cm³. Le dosage d'azote nitrique est fait par ionométrie.

111.2 - Résultats et interprétation.

2.1 - Lorsque la condition posée par PFANNKUCH (vitesse suffisamment lente pour éviter un déplacement turbulent) est respectée, l'évolution de la concentration de l'effluent peut être prévue avec efficacité ; même par l'équation la plus simple, l'équation de dispersion (nomenclature de NIELSEN - 1962) : $\frac{\partial c}{\partial t} = K \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$.

2.2 - Le coefficient de dispersion, dans la gamme de vitesse étudiée, varie avec le nombre de Péclet, dans le sens observé par PFANNKUCH. Mais, avec nos résultats, la partie linéaire de la courbe de liaison a une pente nettement supérieure à 1,2. Ceci correspond à des résultats publiés par PASSIOURA et ROSE (1971 et 1973).

- 2.3 - De plus, nous mettons en évidence, pour la première fois, que cette pente dépend du diamètre équivalent des agrégats poreux et augmente avec lui ; c'est à dire avec l'accentuation du caractère bimodale de la porosité.
- 2.4 - Enfin, **nous** démontrons l'existence d'un **minimum** d'étalement du volume de mélange pour le type de matériau étudié. Il existerait donc une vitesse de filtration de l'eau **dans** un sol grumeleux, qui optimise le lessivage des sels en excès dans ce sol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CALVET R. , GRAFFIN P. - 1974 - Description mathématique des phénomènes de transport des solutions aqueuses dans les milieux poreux. *Ann. Agron.* 25, 123-155.
- KRUPP H.K, ELRICK D.E. - 1969 - Density effects in miscible displacement experiments. *Soil Sci.* 107, 372- 380.
- NIELSEN D.R., BIGGAR J.W. - 1962 - Miscible displacement in soils. **III** - Theoretical considerations. *Soil Sci. Soc. Ann. Proc.* **26**, 216-221.
- PASSIOURA J.B. - 1971 - Hydrodynamic dispersion in aggregated media. *Soil sci.* **III**, 339-344 et 345-35 .
- PFANNKUCH H.O, - 1962 - Contribution à l'étude des déplacements des fluides miscibles dans un milieu poreux. *Revue de l'I.F.P.*, **18**, 215-268.
- ROSE D.A. - 1973 - Some aspects of the hydrodynamic dispersion of solutes in porous materials. *J. Soil. Sci.* , **24**, 284-295.

CONCLUSION GENERALE.

L'enquête sur la répartition des éléments fertilisants dans les **sols sous** serres horticoles révèle l'intensité et la fréquence des entraînements d'azote nitrique, verticalement vers le sous-sol et latéralement vers les zones de passage **non** arrosées. Ainsi, les quantités retrouvées dans la tranche de **sous-sol** comprise entre 50 et 200 **cm** peuvent s'élever **jusqu'à 1 à 2** tonnes d'azote nitrique **par** hectare. Cinq serres sedement, **sur** les trente examinées, **ne** montrent aucun entrainement notable d'azote minéral en profondeur.

Cette étude montre également la possibilité d'entrainement pour le potassium, **qui** reste cependant limité à des distances plus faibles. Par contre, l'enrichissement du sol en matières organiques et phosphore ne s'étend pratiquement pas au-delà de la zone superficielle travaillée.

L'intensité des déplacements d'azote minéral découle de la présence en excès par rapport aux prélèvements de la végétation, de sels nitriques, extrêmement solubles donc mobiles.

Dans ce domaine, l'étude sur la minéralisation du fumier montre que, en l'absence de pertes par drainage, la décomposition d'une dose classique avant plantation de rosier, suffit à alimenter cette culture en azote minéral pendant 18 mois. **La** pratique de **la** fertilisation devra donc prendre en compte la libération progressive d'azote par les amendements organiques, **comme** par la matière organique du **sol**.

Enfin, lorsque l'excès d'azote minéral en arrive à être néfaste pour la végétation, **on** recommande des irrigations abondantes pour lessiver le **soi**. Les expérimentations sur matériaux poreux agrégés montrent qu'il existe une vitesse de filtration de l'eau, caractéristique du matériau, pour laquelle le déplacement des nitrates est optimisé. On pourrait ainsi calculer la dose d'eau **minimum qui** ramène la salinité du **sol** au niveau voulu.

A N N E X E

- Méthodes d'analyse des caractéristiques étudiées.-

/AZOTE TOTAL/: en p.mille du poids de terre sèche.
méthode Kjeldahl.
réactifs : $\text{SO}_4 \text{H}_2 \text{N}/5$; $\text{SO}_4 \text{K}_2$; $\text{SO}_4 \text{Cu}$; colorant Tashiro
mesuré **sur** 5 g de sol.

/AZOTE NITRIQUE/: en ppm du poids de terre sèche.
réduction en ammoniacque, distillation, titrimétrie.
réactifs : MgO , alliage Dewarda.
mesuré **sur** 50 g de sol.

/PHOSPHORE ASSIMILABLE/: en P_{205} p.mille du poids de terre sèche.
méthode Truog.
réactifs : $\text{SO}_4 \text{H}_2 \text{N}/100$, réactif molybdique.
Dissoudre 25 g de molybdate d'ammonium dans 200 ml d'eau
chaude. Filtrer. Diluer 280 ml de $\text{H}_2 \text{SO}_4$ concentré **8**
600-800 ml. Après refroidissement, ajouter solution
molybdique à sulfurique. Ajuster à 1000 ml.
Réactif SnCl_2 , glycérol : dissoudre au bain-marie 500 mg
de SnCl_2 dans 100 ml de glycérol.
spectrophotocolorimètre Jean et Constant. longueur d'onde :
7 500 Å.
Mesure **sur** 2 g de sol.

/POTASSIUM ECHANGEABLE/: (en K_{20} ‰ poids terre sèche)
extraction à l'acétate d'ammonium.
photométrie de flamme (émission).
mesure sur 5 g de sol.