

## TITRE DE LA PRÉSENTATION :

# Mythes et réalités sur l'azote du sol et des fumiers



**AUTEUR :** **Martin Chantigny**, Ph.D.  
Chercheur scientifique  
Agriculture et Agroalimentaire Canada  
Centre de recherche et de développement  
sur les sols et les grandes cultures  
Québec

---

Le sol est à la base du système agricole servant, entre autres, de milieu de croissance pour les végétaux. Pourtant, cette partie clé du système agricole demeure un mystère à bien des égards. Encore en 2007, nous avons une capacité très limitée à prédire la capacité du sol à fournir de l'azote, à prédire le degré d'efficacité de l'azote des engrais organiques, ou même à expliquer et à maîtriser les pertes environnementales d'azote. Ces limites découlent possiblement d'un manque de données qui peut mener à une interprétation inexacte ou incohérente de la réalité. Une explication inexacte ou incomplète risque, si elle n'est pas rectifiée, de devenir acceptée d'emblée par la communauté. Nous étudierons quatre affirmations, concernant l'azote du sol et des fumiers, et tenterons de relever certaines inexactitudes ou incohérences et de fournir des explications alternatives basées sur des observations récentes et moins récentes. Les explications fournies, je l'espère, aideront à mieux comprendre la dynamique complexe de cet élément dans l'agroécosystème.

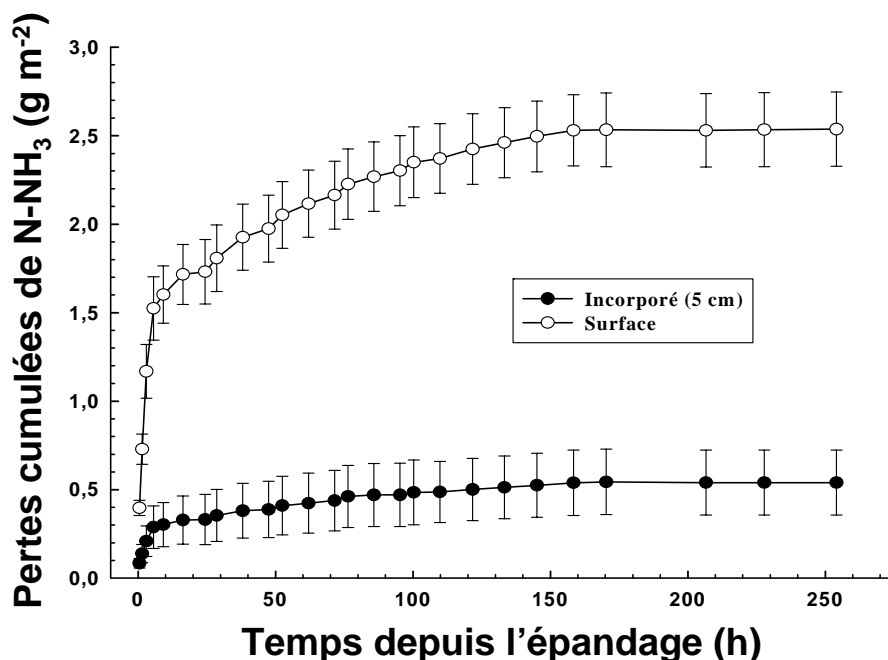
## **AFFIRMATION 1 :**

***L'incorporation du lisier au sol moins de 48 heures après l'épandage permet de préserver la valeur fertilisante de celui-ci.***

La volatilisation de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est un phénomène qui survient à la suite de l'application d'engrais contenant une bonne proportion de leur azote sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). C'est le cas, par exemple, des fumiers et surtout des lisiers. La volatilisation de l'ammoniac est un processus physico-chimique (non biologique) dont l'intensité dépend principalement (i) de la concentration d'ammonium dans la solution du sol, (ii) du pH de la solution du sol qui influence l'équilibre entre les formes  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NH}_3$  et (iii) du degré de résistance au dégagement de  $\text{NH}_3$  gazeux du sol vers l'atmosphère. Une volatilisation d'ammoniac qui n'est pas bien contrôlée peut provoquer en quelques heures la perte d'une quantité significative (5 à 75 %) de l'azote du lisier et ainsi réduire sa valeur fertilisante. Dans la plupart des cas, l'essentiel de la volatilisation de l'ammoniac se produit dans les 48 heures suivant l'application d'un lisier (Sommer et Hutchings, 2001; Rochette et

coll., 2001). Par contre, le taux de volatilisation est proportionnel à la concentration d'ammonium dans la solution du sol. Ce taux est donc maximal immédiatement après un épandage et diminue avec le temps écoulé. De ce fait, on rapporte dans la littérature scientifique que de 30 à 85 % de la volatilisation totale survient au cours des 6 heures qui suivent l'épandage d'un lisier (Stevens et coll., 1997). Au Québec, divers essais ont permis d'établir que 25 à 85 % de la volatilisation totale survient au cours des 6 heures suivant un épandage (ex. Rochette et coll., 2001; Chantigny et coll., 2004a). C'est donc dire que pour avoir un impact maximal sur la volatilisation, nos interventions doivent idéalement être faites au moment même où l'épandage est effectué. Si ce n'est pas possible, on doit tenter d'agir dans les quelques heures qui suivent l'épandage si on espère réduire de façon substantielle les pertes d'azote par volatilisation.

L'incorporation de la source d'azote au sol est l'intervention la plus efficace pour réduire les pertes d'azote par volatilisation. À ce niveau, une incorporation superficielle mais immédiate du lisier s'avère efficace et peut réduire de 80 % les pertes d'ammoniac comparativement à un lisier laissé à la surface du sol (Figure 1). Il faut toutefois se rappeler que la rapidité d'intervention représente l'atout principal dans le contrôle de la volatilisation d'ammoniac. À titre de comparaison, on estime que la volatilisation de l'ammoniac peut être réduite de 70 à 90 % lorsqu'un lisier est incorporé en moins de 6 heures après un épandage, alors que cette réduction ne sera que de 20 à 60 % si l'incorporation est réalisée entre 6 et 24 heures suivant l'épandage (UNECE, 2007).



**Figure 1. Pertes cumulées d'azote par volatilisation d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) en fonction du temps écoulé depuis un épandage de lisier de porc en post-récolte du canola. Comparaison d'un épandage de surface et d'une incorporation superficielle réalisée par un passage de herse (5 premiers centimètres de sol) immédiatement après le passage de l'épandeur. Adapté de Rochette et coll. (2001).**

## **AFFIRMATION 2 :**

***L'azote du sol extrait par le test diagnostique de l'Illinois (Illinois Soil Nitrogen Test) provient des sucres aminés qui constituent la portion principale de l'azote du sol qui est libéré en saison de croissance.***

Cette affirmation est tirée d'un article publié par Khan et coll. (2001) dans le *Soil Science Society of America Journal* où les auteurs ont prétendu avoir établi un test diagnostique qui permet de déterminer si on doit ou non apporter un engrais azoté au sol en vue d'y cultiver du maïs. Depuis, les études ayant aussi utilisé ce test rapportent des résultats mitigés. Le problème principal ici concerne l'affirmation selon laquelle l'azote provenant des sucres aminés est comptabilisé par ce test et que, en corollaire, ce groupe de molécules représente une fraction déterminante de l'azote du sol qui sera libéré en cours de saison de croissance. Cette affirmation est fautive et se base sur de mauvaises prémices. La méthode proposée est simple et consiste à hydrolyser un échantillon de sol avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) chauffée à 50 °C pendant 5 heures. Khan et coll. (2001) ont utilisé de la glucosamine, principal sucre aminé dans les sols, pour vérifier le taux de récupération de l'azote provenant des sucres aminés à partir de leur méthode d'hydrolyse. La glucosamine, qui est essentiellement une molécule de glucose contenant un groupement aminé, libérera effectivement son groupement azoté dans ces conditions. Le problème est que, dans la nature, la glucosamine ne se retrouve pas sous sa forme monomérique, mais plutôt sous une forme polymérisée appelée chitine. La chitine est au monde des invertébrés ce qu'est la cellulose au monde végétal; elle constitue l'exosquelette des insectes et la paroi cellulaire de la plupart des champignons. Selon Greenfield (2001), la chitine, telle que nous la retrouvons dans le sol, est totalement insoluble dans une solution de NaOH, et l'azote de la glucosamine, dans sa forme polymérisée, ne peut être libéré sous les conditions d'hydrolyse proposées par Khan et coll. (2001). Il est possible que le test de l'Illinois s'avère un outil de prédiction des besoins en fertilisants azotés. Par contre, on ne peut affirmer à partir des travaux de Khan et coll. (2001) que les sucres aminés constituent la portion principale de l'azote du sol qui contribuera à la nutrition des cultures.

## **AFFIRMATION 3 :**

***L'azote du sol et des fumiers ne se transforme pas au cours de l'hiver parce que la température est trop basse.***

On pense à tort que l'azote du sol et des engrais épandus à l'automne ne se transforme pas au cours de la période hivernale parce que le sol est gelé. Il est fréquent d'entendre que les activités biologiques du sol cessent sous les 5 °C. Cette notion découle essentiellement d'études qui ont été effectuées en Europe sur des sols rarement soumis à des températures inférieures à 5 °C dans leurs conditions naturelles. Pourtant, il est reconnu que la microflore du sol peut s'adapter à des conditions froides et poursuivre ses activités, même en hiver, si elle est soumise de façon récurrente à des périodes froides. Des évidences à cet effet

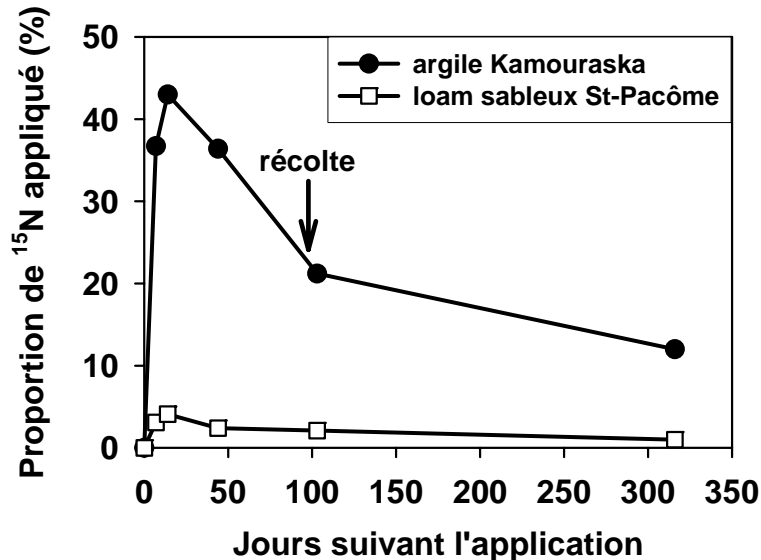
commencent à s'accumuler pour les sols agricoles des régions plus nordiques, comme au Québec. Par exemple, la respiration et l'activité de la dénitrification ont été relevées dans les sols agricoles en période hivernale (Chantigny et coll., 2002; Phillips, 2007). Des travaux récents dans nos laboratoires ont démontré que les activités de la nitrification et de la minéralisation de l'azote se poursuivent aussi à basse température, et ce jusqu'à - 2 °C dans les sols lourds (Clark et coll., non publié). Ces travaux ont également permis d'établir que l'azote ammoniacal d'un lisier de porc appliqué à l'automne risque fort d'être complètement transformé en nitrates avant la fin de l'hiver; il serait donc vulnérable au lessivage au cours de la période de fonte des neiges. Les mêmes travaux ont aussi démontré qu'il est possible de provoquer une immobilisation de l'azote du lisier en présence d'un résidu de culture à rapport C/N élevé. Par contre, les quantités d'azote immobilisées ont été négligeables à des températures inférieures à + 2 °C. Ces connaissances devront être considérées dans une évaluation des risques associés à l'épandage automnal d'engrais organiques.

#### **AFFIRMATION 4 :**

***L'azote minéral échangeable du sol constitue moins de 2 % de l'azote total du sol – le reste est organique.***

L'azote organique constitue en effet la principale forme d'azote du sol. Dans la couche de labour (0-30 cm) l'azote minéral dit échangeable – c.-à-d. qu'on peut extraire à l'aide d'une solution de KCl 2 molaire – constitue généralement moins de 1 % de l'azote total du sol, mais peut atteindre jusqu'à 2 % immédiatement après une fertilisation. Cependant, on oublie souvent de considérer l'ammonium fixé dans les feuillets d'argile. L'ammonium, au même titre que le potassium, peut se loger entre les feuillets de particules argileuses de type 2:1, comme la vermiculite et l'illite. Sous cette forme, l'ammonium n'est pas récupérable avec une solution de KCl 2 molaire et a donc souvent été considéré non disponible pour les plantes. On distingue toutefois maintenant deux types d'ammonium fixé : celui présent dans la roche elle-même (indigène) qui n'est libéré que très graduellement au cours de l'altération des minéraux, et l'ammonium dit récemment fixé venu se loger dans les feuillets d'argile à la suite de l'application d'un fertilisant ammoniacal (Scherer, 1993). L'ammonium récemment fixé s'avère aujourd'hui une source d'azote beaucoup plus dynamique qu'on le croyait et pourrait fournir jusqu'à 75 % de tout l'azote prélevé par une culture dans certains sols loameux et argileux (Scherer, 1993). Simard et coll. (1990) ont démontré que les argiles de type 2:1 dominent dans plusieurs séries de sols argileux du Québec. Par conséquent, plusieurs de nos sols sont susceptibles de fixer de bonnes quantités d'ammonium. Par exemple, 8 à 13 % de l'azote total d'une argile de la série Kamouraska se retrouvent sous forme d'ammonium fixé. Certaines études ont permis, à l'aide de l'azote-15, de démontrer qu'une fraction importante de l'ammonium des lisiers est fixée dans les heures qui suivent un épandage sur un sol argileux (Chantigny et coll., 2004b), mais que la libération de cet azote se fait plus progressivement et se prolonge sur plusieurs semaines (Figure 2). Cette fixation d'ammonium semble influencer la disponibilité des engrais

ammoniacaux comme le lisier de porc (Chantigny et coll., 2006). Toutefois, environ la moitié de l'azote fixé au printemps est relâché au cours de la saison de croissance, ce qui fait que cette forme d'azote est plus dynamique et disponible qu'on aurait pu le croire (Scherer, 1993; Chantigny et coll., 2005). De plus amples études seront nécessaires pour mieux évaluer la contribution de l'ammonium fixé dans les argiles à la nutrition des cultures, ainsi que l'influence du processus de fixation sur la disponibilité des engrais ammoniacaux.



**Figure 2.** Proportion d'azote appliqué sous forme de lisier de porc qui se retrouve fixé dans les feuillets d'argile en fonction du temps écoulé depuis un épandage de lisier de porc. L'argile Kamouraska est fortement fixatrice étant donné sa teneur élevée en argile (70 %) alors que le loam sableux Saint-Pacôme contient peu d'argile (17 %) et est faiblement fixateur. Modifié de Chantigny et coll. (2005).

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Chantigny, M.H., D.A. Angers, P. Rochette, et C. Pomar. 2006. *Que devient l'azote du lisier après l'épandage?* - Deuxième partie. *Porc Québec*, vol. 17, n° 2, pages 56-59.
- Chantigny, M.H., D.A. Angers, P. Rochette, C. Pomar, J. Tremblay, et T. Morvan. 2005. *Impact environnemental et valeur agronomique du lisier de porc en culture de maïs-grain: Calcul du bilan azoté réel au champ par le marquage isotopique à l'azote-15 (<sup>15</sup>N).* Rapport final, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec. 40 pages.
- Chantigny, M.H., P. Rochette, D.A. Angers, D. Massé, et D. Côté. 2004a. *Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry.* *Soil Science Society of America Journal*, vol. 68, pages 306-312.

- Chantigny, M.H., D.A. Angers, T. Morvan, et C. Pomar. 2004b. *Dynamics of pig slurry nitrogen in soil and plant as determined with <sup>15</sup>N*. Soil Science Society of America Journal, vol. 68, pages 637-643.
- Chantigny, M.H., D.A. Angers, et P. Rochette. 2002. *Fate of carbon and nitrogen from animal manure and crop residues in wet and cold soils*. Soil Biology and Biochemistry, vol. 34, pages 509-517.
- Greenfield, L.G. 2001. *The origin and nature of organic nitrogen in soil as assessed by acidic and alkaline hydrolysis*. European Journal of Soil Science, vol. 52, pages 575-583.
- Khan, S.A., R.L. Mulvaney, et R.G. Hoef. 2001. *A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization*. Soil Science Society of America Journal, vol. 65, pages 1751-1760.
- Phillips, R.L. 2007. *Organic agriculture and nitrous oxide emissions at sub-zero soil temperature*. Journal of Environmental Quality, vol. 36, pages 23-30.
- Rochette, P., M.H. Chantigny, D.A. Angers, N. Bertrand, et D. Côté. 2001. *Ammonia volatilization and soil nitrogen dynamics following application of pig slurry on canola crop residues*. Canadian Journal of Soil Science, vol. 81, pages 515-523.
- Scherer, H.W. 1993. *Dynamics and availability of the non-exchangeable NH<sub>4</sub>-N – a review*. European Journal of Agronomy, vol. 2, pages 149-160.
- Simard, R.R., J. Zizka, et C.R. de Kimpe. 1990. *Le prélèvement du K par la luzerne (Medicago sativa L.) et sa dynamique dans 30 sols du Québec*. Canadian Journal of Soil Science, vol. 70, pages 379-393.
- Sommer, S.G., et N.J. Hutchings. 2001. *Ammonia emission from field applied manure and its reduction*. European Journal of Agronomy, vol. 15, pages 1-15.
- Stevens, R.J., et R.J. Laughlin. 1997. *The impact of cattle slurries and their management on ammonia and nitrous oxide emissions from grassland*. Pages 233-256 dans: Gaseous nitrogen emissions from grasslands. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK. ISBN: 0851991920.
- UNECE (Commission économique européenne des Nations Unies). 2007. *UNECE Framework code for good agricultural practice for reducing ammonia*.  
<http://www.unece.org/env/documents/2001/eb/wg5/eb.air.wg.5.2001.7.e.pdf>.

# Mythes et réalités sur l'azote du sol et des fumiers

Martin H. Chantigny, *Ph D*

Agriculture & Agroalimentaire Canada  
Centre de R&D sur les sols et les grandes cultures  
Québec

 Agriculture et  
Agroalimentaire Canada

Agriculture and  
Agri-Food Canada

Canada

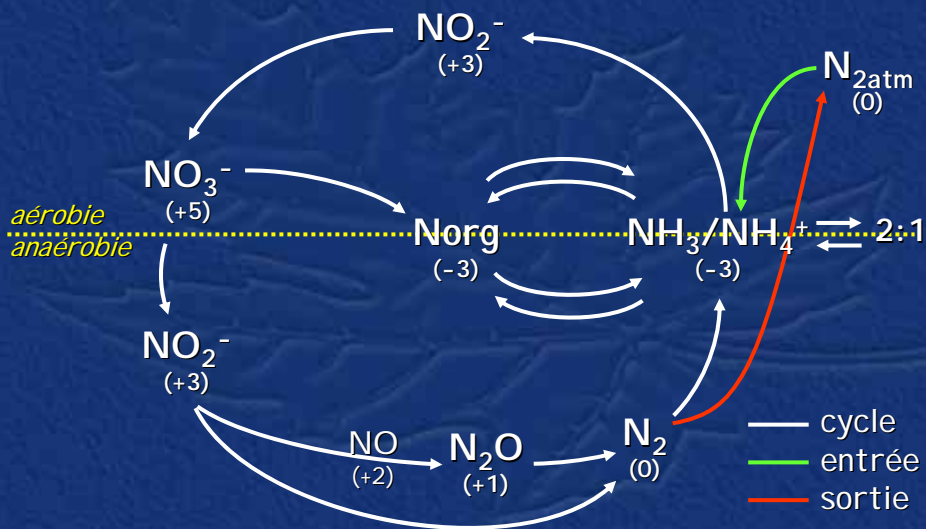
**On mesure l'intelligence  
d'un individu à la quantité  
d'incertitudes qu'il est  
capable de supporter.**

Emmanuel Kant, philosophe allemand  
(1724-1804)

## Fourniture et voies de perte de l'azote du sol

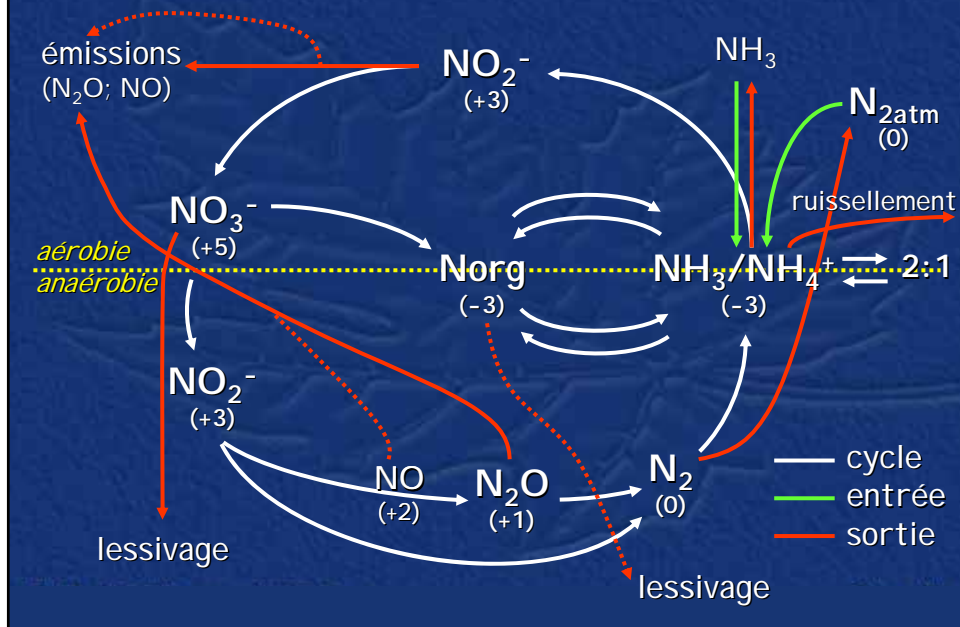
- formes et voies de perte connues...
  - ❖ processus complexes à prédire
  - ❖ approximations
  
- cycle de l'azote du sol
  - ❖ nombreuses formes et voies de perte
  - ❖ nombreux facteurs d'influence
    - ✓ pratiques agricoles
    - ✓ conditions climatiques

## Cycle N du sol



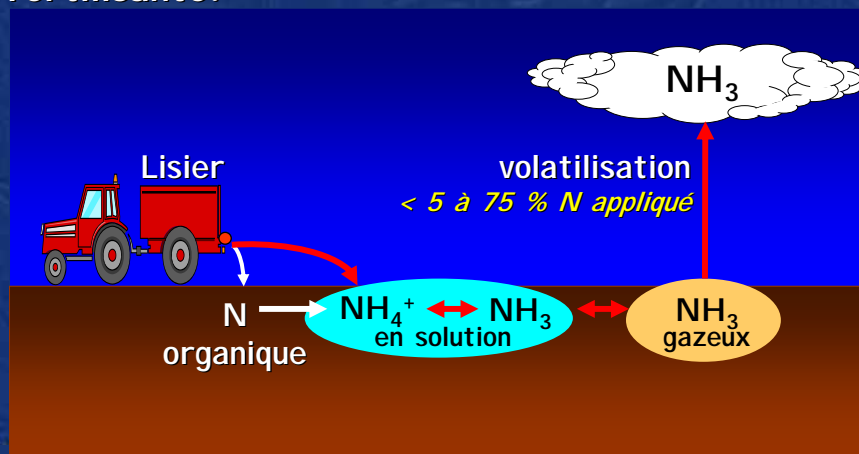


## Cycle N du sol et voies de perte

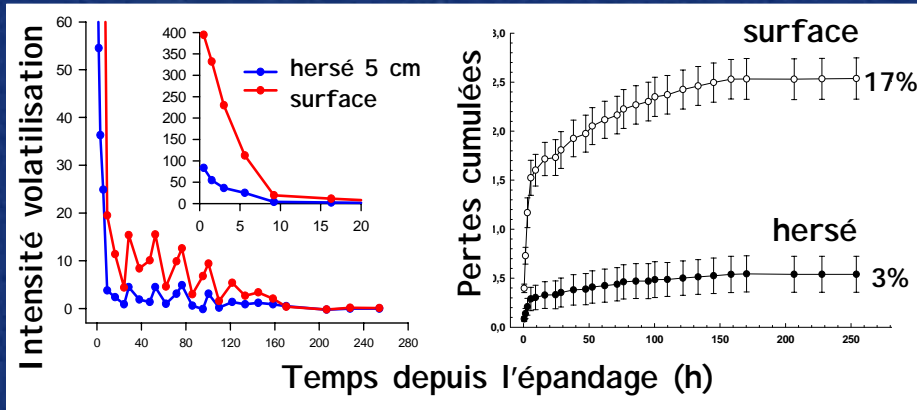


## Affirmation:

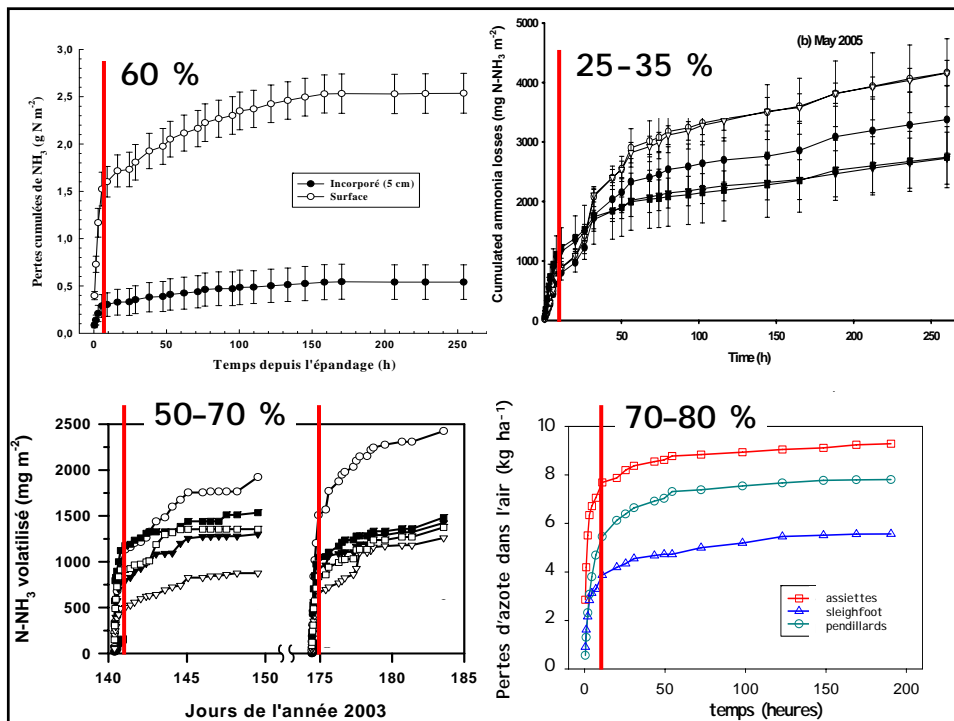
L'incorporation d'un lisier moins de 48 h après épandage permet de préserver sa valeur fertilisante.



# Volatilisation de l'ammoniac: une question d'heures



Rochette et al., 2001



## Conclusion

- Incorporation en moins de 48 heures peut aider mais, efficacité limitée
  - ❖ incorporation immédiate idéale (superficielle)
  - ❖ sinon, le plus vite possible (< 12 heures)

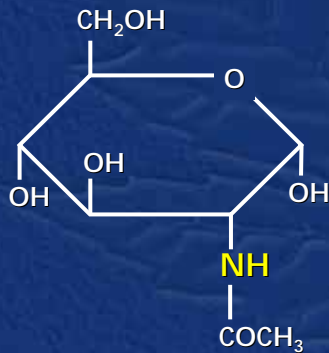
## Affirmation:

L'azote extrait par le test diagnostique de l'Illinois (ISNT) provient des sucres aminés qui constituent la fraction principale de l'azote libéré par le sol en saison de croissance (*Khan et coll. 2001*).

### Le test :

- Sol + NaOH, 50°C, 5 heures
  - ✓ libère quantité X de  $\text{NH}_4^+$
- ❖ Source:
  - $\text{NH}_4^+$  échangeable
  - sucres aminés

## N-acétyl-D-glucosamine

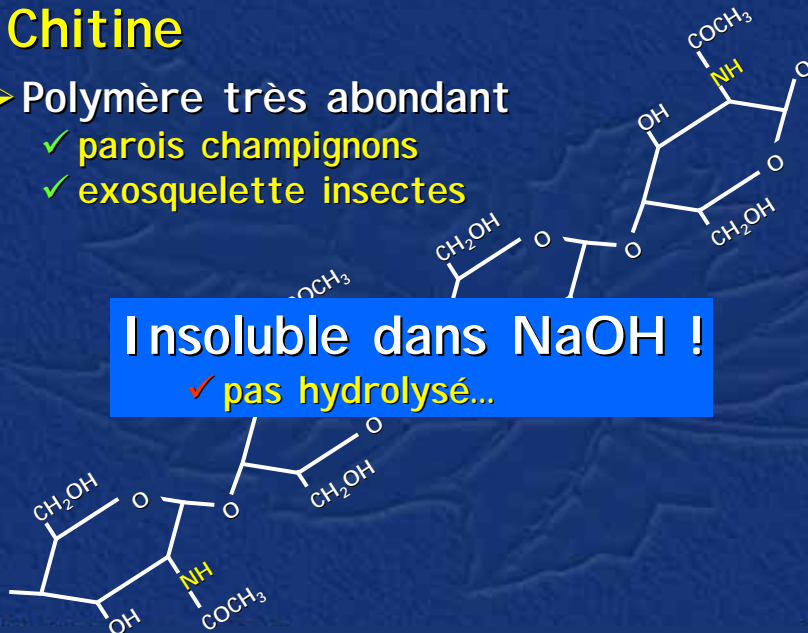


- Le plus abondant dans le sol.
- Soluble dans NaOH et libère  $\text{NH}_4^+$ ...
- Pas sous cette forme dans le sol !

## Chitine

- Polymère très abondant
  - ✓ parois champignons
  - ✓ exosquelette insectes

**Insoluble dans NaOH !**  
✓ pas hydrolysé...



## Conclusion

- Le test fonctionne peut-être
  - ❖ on ne peut affirmer que les sucres aminés sont la principale source de N
  - ❖ 5-10% azote du sol
  - ❖ autres sources?
    - ✓ azote fixé dans les argiles
    - ✓ autres formes organiques: acides aminés...

## Affirmation:

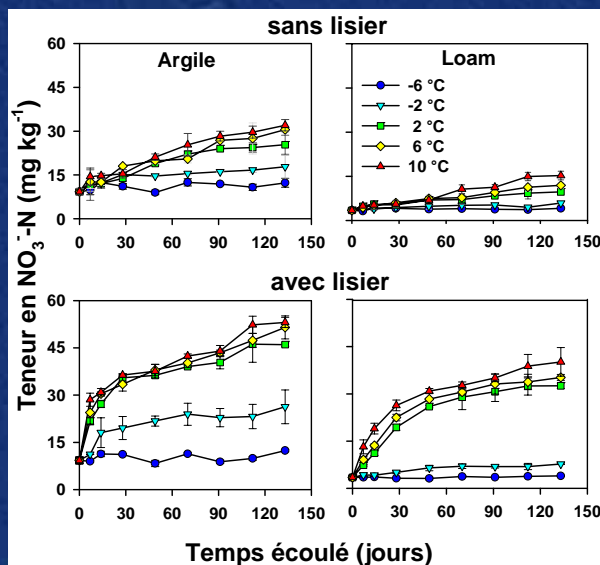
L'azote du sol et des fumiers ne se transforme pas l'hiver car la température est trop basse.

- Activité biologique cesse sous 5°C...
  - ❖ basé sur études européennes
  - ❖ hiver rarement sous 5°C
  - ❖ ici:
    - ✓ gèle au début de l'hiver
    - ✓ 0°C lorsque couvert de neige suffisant...

- Respiration et dénitrification continuent hiver (*Chantigny et coll. 2002; Phillips 2007*)
- **Essais incubation**
  - ❖ Sols: argile et loam
    - ✓ température: 10°C à -6°C
    - ✓ application lisier
    - ✓ avec et sans paille
- **Objectifs:**
  - ❖ déterminer si nitrification et immobilisation à basse température.
  - ❖ déterminer si  $\text{NH}_4^+$  du lisier est transformé.

*Clark et coll. non publié*

## Nitrification ?



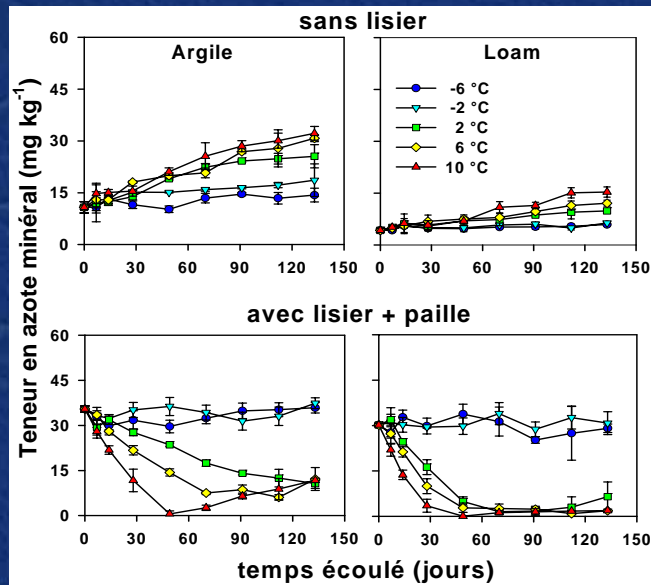
**Proportion dérivée du lisier?**

- ❖ température >0°C
  - ✓ 50% et +
- ❖ température <0°C
  - ✓ 15-45% argile
  - ✓ 8-35% loam

*Clark et coll. non publié*



## Immobilisation ?



Clark et coll. non publié

## Conclusion

- nitrification continue sous 0 °C
  - ❖ surtout sol lourd
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup> lisier transformé en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>
  - ❖ avant fin de l'hiver
  - ❖ lessivage, dénitrification...
- immobilisation possible mais
  - ❖ limité en-dessous de 2 °C

Clark et coll. non publié

## Affirmation:

L'azote minéral du sol représente moins de 2% du total; le reste est organique.

- Vrai pour N minéral échangeable (KCl 2M)
  - ❖ généralement <1%
  - ❖ jusqu'à 2% après fertilisation
- Couche labour (0-30 cm)
  - ❖ 4-10 tonnes N au total !
  - ❖ majoritairement organique

- certains sols argileux:
  - ❖ 5-20% sous forme  $\text{NH}_4^+$  fixé dans argiles
  - ❖ non échangeable (KCl 2M)
  - ❖ considéré peu ou pas disponible
- aujourd'hui on distingue:
  - ❖ indigène
  - ❖ récemment fixé (engrais ammoniacaux)



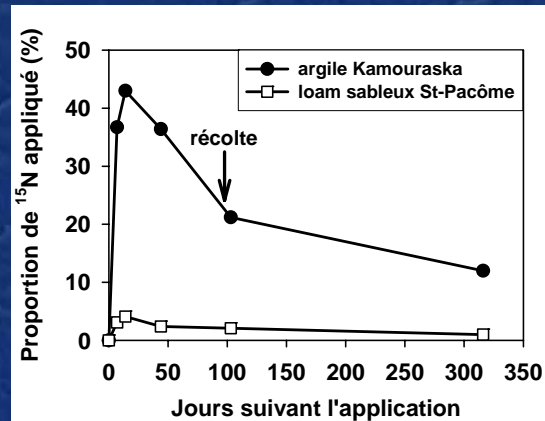
## fixation $\text{NH}_4^+$

- argiles type 2:1
  - ❖ vermiculite, illite, chlorite, montmorillonite,...
- fraction récemment fixée
  - ❖ jusqu'à 75% de la fourniture par le sol (Scherer, 1993)

## fixation $\text{NH}_4^+$

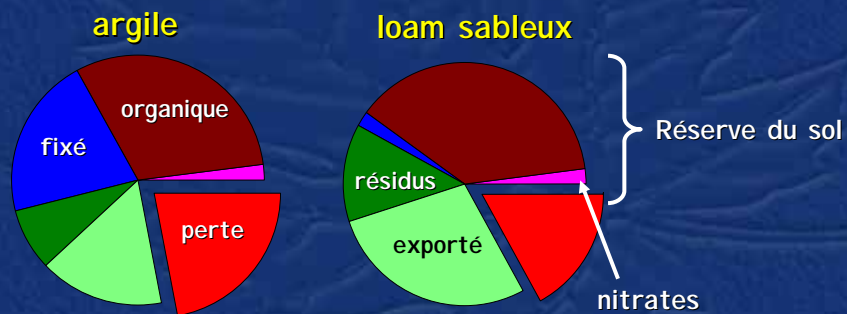
- plusieurs séries de sols du Québec riches en vermiculite, illite, chlorite... (Simard et coll. 1990)
  - ❖ haut potentiel de fixation
- ex.: série Kamouraska
  - ❖ 8-13% N du sol sous forme fixée
  - ❖ environ 1 tonne par hectare

## fixation $\text{NH}_4^+$



*Chantigny et coll. 2006*

## Répartition de l'azote du lisier à la récolte - maïs grain



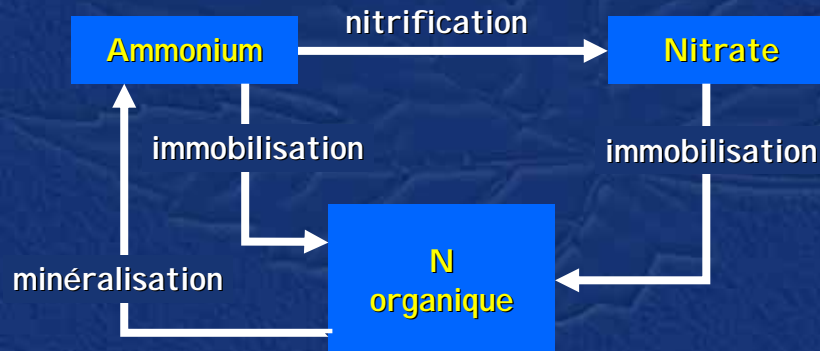
*Chantigny et al., 2004; 2005*

## Conclusion

- fixation dans les argiles
  - ❖ influence disponibilité engrais ammoniacaux
  - ❖ contribue à fourniture de  $\text{NH}_4^+$  par le sol
    - ✓ combien ?
- il faut en savoir plus:
  - ❖ Scherer (1993): influencé par
    - ✓ fertilisation ammoniacale
    - ✓ cycles mouillage-séchage
  - ❖ influence des cycles gel-dégel ???
  - ❖ influence  $\text{K}^+$ ...

## Affirmation:

Le différentiel des teneurs en nitrates « automne - printemps » donne estimation des pertes d'azote au cours de la période hivernale.



## Boucle minéralisation - immobilisation

- en marche continue
  - ❖ même en période froide
- Minéralisation nette
  - ❖ été:  $0,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$
  - ❖ entre  $-2$  et  $2$  degrés:
    - ✓  $0,15$  à  $0,25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$  (Clark et al., non publié)

## Conclusion

- calcul de pertes par différence N minéral
  - ❖ très approximatif
  - ❖ immobilisation - minéralisation continus
  - ❖ azote minéral résiduel a le temps d'être retransformé plusieurs fois au cours de l'hiver

➤ **Nature N organique du sol**

❖ **20-40 % acides aminés**

✓(libres, peptides, protéines; liés minéraux ou acides humiques...)

❖ **5-10 % sucres aminés**

✓(parois cellulaires: chitine; peptidoglycan)

❖ **<1 % acides nucléiques (ARN/ADN)**

❖ **50 % inconnu**

✓seulement 10-15% humique