

Impact des différentes formes d'azote (Urée, NH_4^+ , NO_3^-) sur la croissance des plants et sur le lessivage des engrais

**Session de formation sur la nutrition minérale
des plants forestiers**



Jean Gagnon, ing. f., M. Sc.
(DRF, MRNF)
15 avril 2009

Plan de l'exposé

- Norme québécoise sur l'eau potable
- Cycle de l'azote (N)
- Trois sources d'azote utilisées pour la fertilisation des plants en récipients :
 - 1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
 - 2) Ammonium : NH_4^+
 - 3) Nitrate : NO_3^-
- Impact de ces trois sources d'azote :
 - Croissance (plants en Réc)
 - Lessivage des minéraux (N, P, K, Ca, Mg)

Plan de l'exposé

- Norme québécoise sur l'eau potable
- Cycle de l'azote (N)
- Trois sources d'azote utilisées pour la fertilisation des plants en récipients :
 - 1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
 - 2) Ammonium : NH_4^+
 - 3) Nitrate : NO_3^-
- Impact de ces trois sources d'azote :
 - Croissance (plants en Réc)
 - Lessivage des minéraux (N, P, K, Ca, Mg)

Au Québec, la norme sur l'eau potable



10 mg/L (ppm) de N-NO₃⁻

(*Règlement sur l'eau potable*, Min. de l'Env. du Québec, 1984)

- Norme sur l'eau potable (Québec) :
 - + sévère qu'en Europe

- Norme au Québec : exprimée en azote sous forme de nitrate (N-NO_3^-)
↓
 10 mg/L de N-NO_3^-
- Norme en Europe : exprimée en nitrate (NO_3^-)
↓
 50 mg/L de NO_3^-

Pour pouvoir comparer ces 2 normes, on doit convertir les NO_3^- en N-NO_3^- :

Pour convertir les NO_3^- en N-NO_3^-
on utilise le ratio des masses moléculaires)

(NO_3^- vs N-NO_3^-)



NO_3^- divisé par 4,43 = N-NO_3^-

- Exemple: norme de 50 mg/L de NO_3^- (Europe)



50 mg/L NO_3^- divisé par 4,43 =

11,4 mg/L N-NO_3^-

Norme québécoise sur l'eau potable
(10 mg/L de N-NO₃⁻)



+ sévère qu'en Europe

(11,4 mg/L N-NO₃⁻)

L'eau?
C'est bien
meilleur
que le vin
« Mouton
Cadet »!



Plan de l'exposé

- Norme québécoise sur l'eau potable
- Cycle de l'azote (N)
- Trois sources d'azote utilisées pour la fertilisation des plants en récipients :
 - 1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
 - 2) Ammonium : NH_4^+
 - 3) Nitrate : NO_3^-
- Impact de ces trois sources d'azote :
 - Croissance (plants en Réc)
 - Lessivage des minéraux (N, P, K, Ca, Mg)

Cycle de l'azote (N) :



Ensemble de processus biochimiques
de transformations de N



Transformations de N :

- Minéralisation **vs** immobilisation
- Nitrification **vs** dénitrification
- Volatilisation ammoniacale, ...

↓

formes de N : NH_4 , NO_3 , NO_2 , NH_3 , N_2O



Enchaînement entre ces processus = Cycle de N

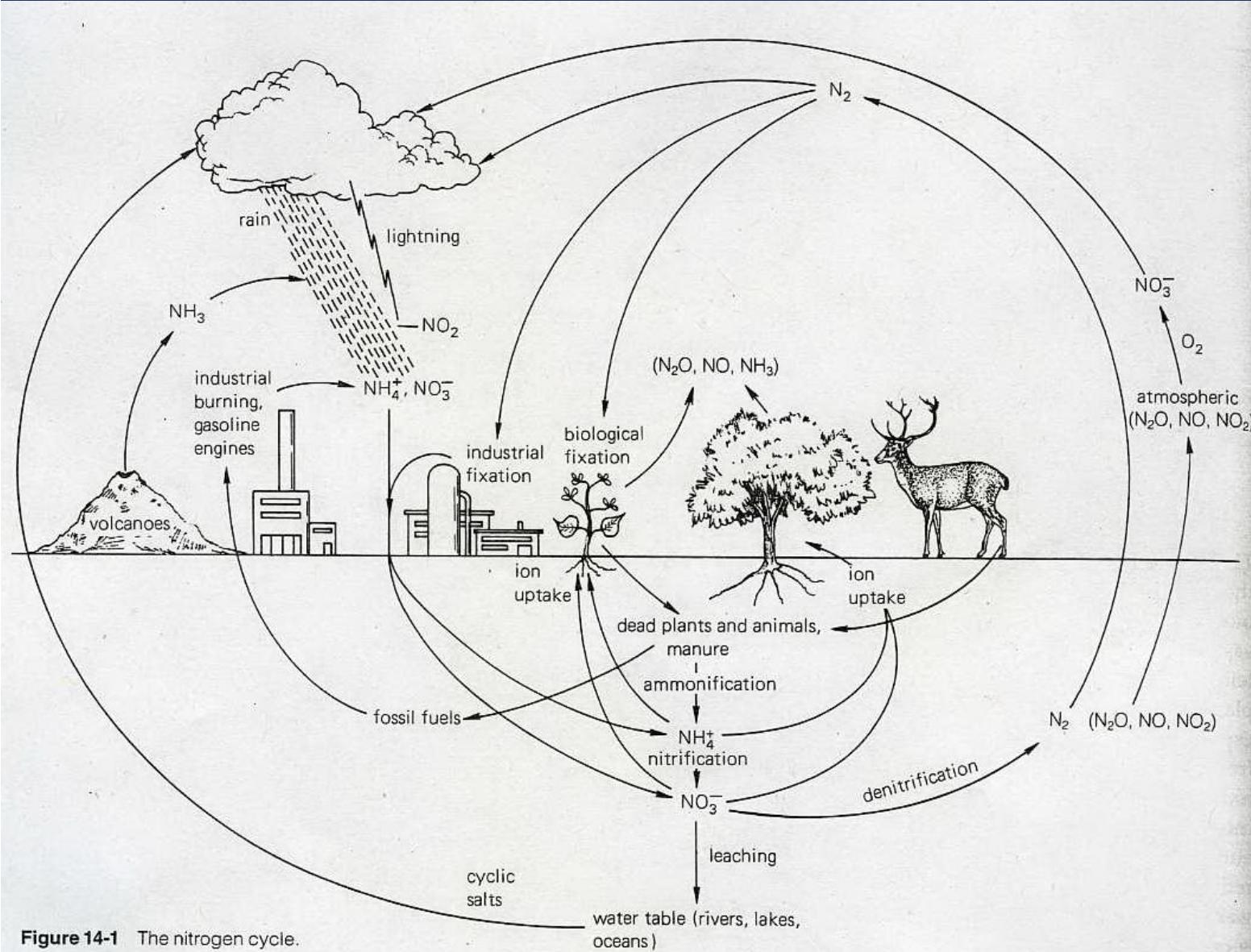
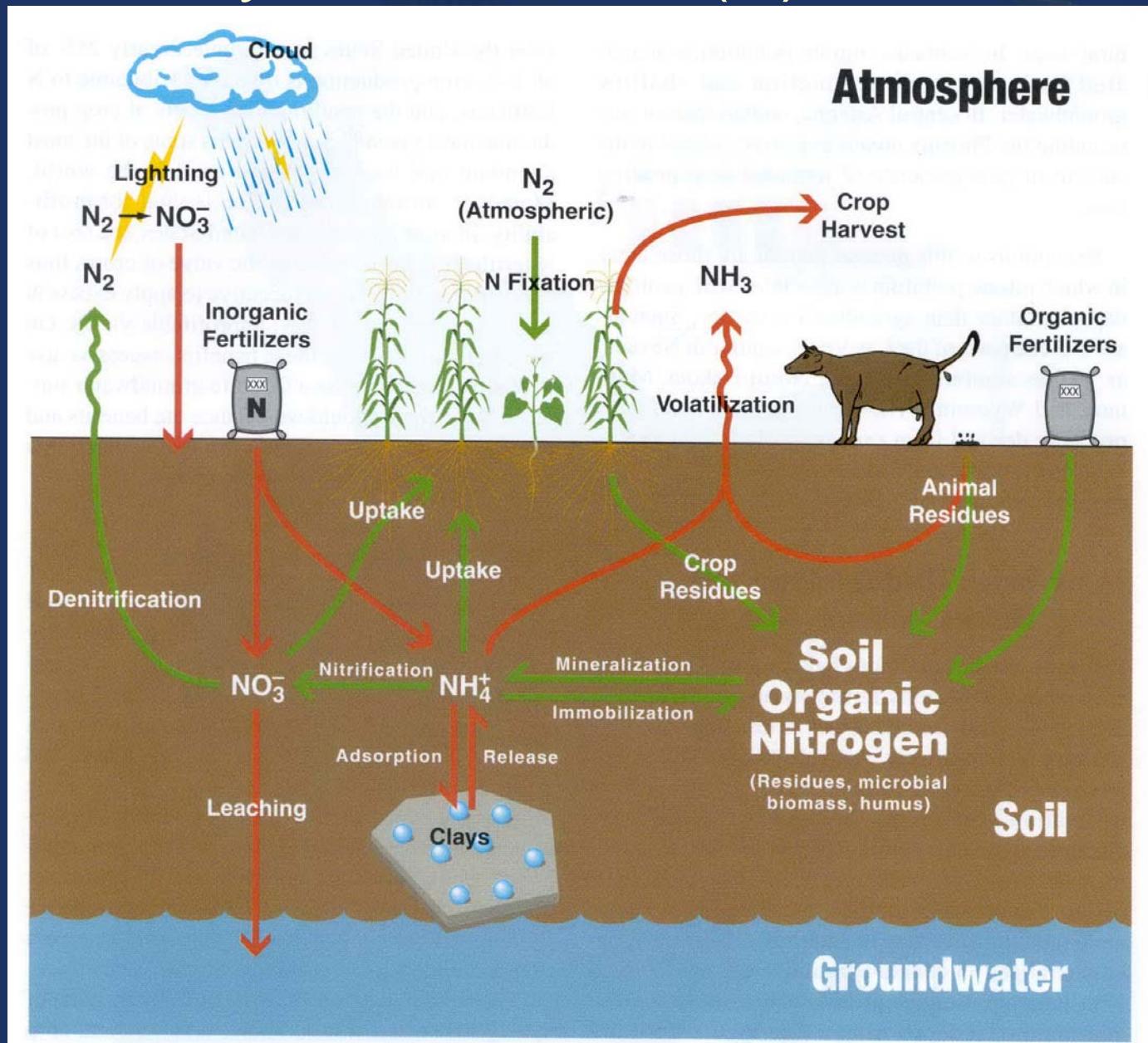


Figure 14-1 The nitrogen cycle.

Cycle de l'azote (N)



(Tiré du livre : Pollution Science, Pepper *et al.*, 1996)

Processus (cycle de N) : - Minéralisation **vs** immobilisation
- Nitrification **vs** dénitrification
- Volatilisation ammoniacale,...



Différents : plants en Réc **vs** RN

Réc

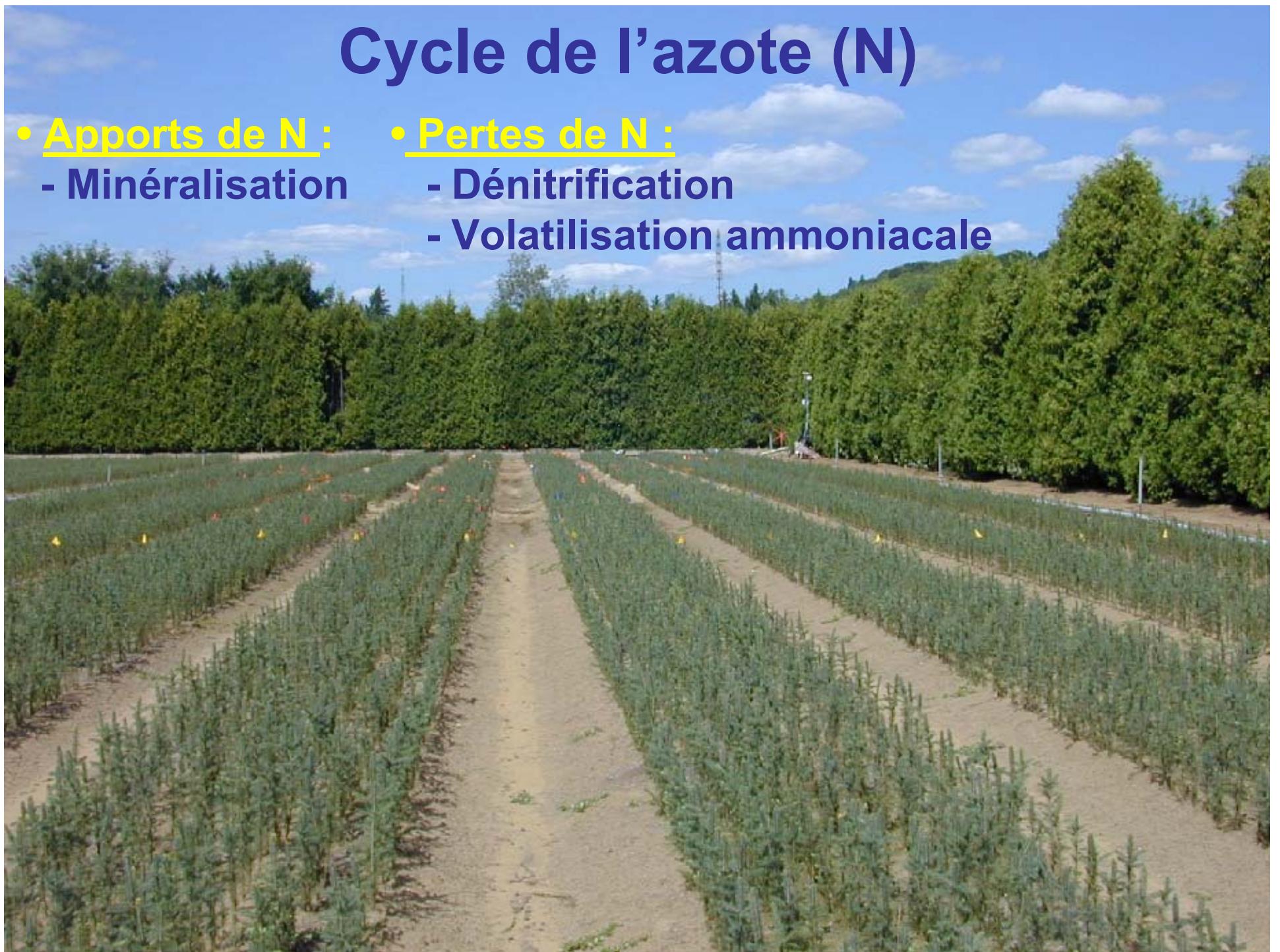


RN



Cycle de l'azote (N)

- Apports de N :
 - Minéralisation
- Pertes de N :
 - Dénitritification
 - Volatilisation ammoniacale



Apports d'azote (N) à la culture



- Minéralisation (m. o.) : Apport important de NH_4^+



Cultures à RN, agricoles ($\text{pH} \uparrow$: sols)

- Minéralisation (m. o.) : Négligeable chez les cultures en Réc



(pH acide : substrats tourbeux)

Pertes d'azote (N)



- L'azote retourne directement à l'atmosphère :
 - Dénitrification (N_2O , NO)
 - Volatilisation ammoniacale (NH_3)
- Autres pertes d'azote (N) :
 - Immobilisation (perte temporaire de N)
 - Lessivage

Cycle de l'azote (N)



- Minéralisation
- Immobilisation
- Nitrification
- Dénitrification
- Volatilisation ammoniacale

Minéralisation de la matière organique (m. o.)



- Transformation de N org $\Rightarrow \text{NH}_4^+$
(bactéries aérobies)



- Décomposition de la m. o. : \uparrow l'acidité du sol
(production : NH_4^+)

Si la m.o. appliquée : C/N < 30



Minéralisation nette :

Minéralisation > Immobilisation



Apport net d'azote : NH_4^+

(culture RN, agricole)

Le C/N est le rapport du carbone total/azote total du sol (substrat, compost,...)



Exemple de rapport carbone/azote (C/N) :

- Carbone total (g/kg) : 498
- Azote total (Nk: azote Kjeldahl) (g/kg) : 19,1
- Rapport C/N : 26

- Pour convertir des g/kg \Rightarrow en mg/kg (ppm) :

$$g/kg \times 1000 = \text{mg/kg (ppm)}$$

- Pour convertir des g/kg \Rightarrow en % :

$$\text{g/kg divisé par } 10 = \%$$

Cycle de l'azote (N)

- Minéralisation
- Immobilisation
- Nitrification
- Dénitrification
- Volatilisation ammoniacale

Minéralisation et l'immobilisation

(2 processus qui opèrent simultanément)



Minéralisation ou immobilisation nette : en fonction du C/N de la m. o.



- C/N < 30 : Minéralisation nette

(Minéralisation > Immobilisation)

- C/N > 30 : Immobilisation nette

(Immobilisation > Minéralisation)

Immobilisation de N

Transformation de N inorg. (NH_4^+) en N org. par la biomasse microbienne du sol



$\text{C/N} > 30$ (C élevé, N bas)

- Comme il n'y a pas assez d'azote (N) pour la biomasse microbienne, elle immobilise le Nmin du sol et de l'engrais appliqué
- Immobilisation de N = Perte temporaire de N (culture)

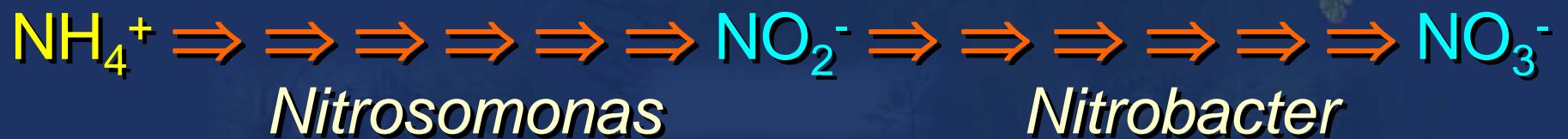
Cycle de l'azote (N)

- Minéralisation
- Immobilisation
- Nitrification
- Dénitrification
- Volatilisation ammoniacale

Nitrification



Conversion de l'ammonium (NH_4^+) en nitrate (NO_3^-)
par des bactéries nitrifiantes
(en conditions : aérobie)



Nitrification

Réaction globale : $2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^- + 8 \text{H}^+$



Cette conversion de NH_4^+ en NO_3^- est une réaction acidifiante parce qu'elle libère des ions H^+ , ce qui entraîne une ↓ du pH

pH = mesure de la concentration en ion hydrogène (H^+) dans un sol (substrat)

$$pH = - \log [H^+]$$

- Exemple avec 2 sols :

$$\#1: [H^+] = 10^{-3} \Rightarrow$$

$$pH = - \log [10^{-3}] \Rightarrow pH = 3$$

$$\#2: [H^+] = 10^{-4} \Rightarrow$$

$$pH = - \log [10^{-4}] \Rightarrow pH = 4$$



Différence entre les 2 sols : 1 unité de pH

Sol (pH = 3) : 10 fois + acide qu'un sol (pH = 4)

Nitrification



Faible dans les sols **acides** ($\text{pH} < 5$) car
l'acidité inhibe l'activité des bactéries **nitrifiantes**

- Les bactéries **nitrifiantes** apparaissent dans les sols à des **pH entre 4,5-10** mais **elles** préfèrent des conditions de **pH neutre**.
- **Nitrification** : - optimale à des **pH entre 6 et 7**
- négligeable à **pH < 5**

- La nitrification s'effectue dans des sols chauds et humides
- Dans les sols froids et acides de la forêt boréale, les bactéries nitrifiantes sont moins efficaces et moins abondantes



C'est pourquoi : NH_4^+ prédomine dans ces sols

- Les arbres en forêt boréale absorbent principalement le NH_4^+ à cause de l'inhibition de la nitrification
(pH acide de ces sols)

Cycle de l'azote (N)

- Minéralisation
- Immobilisation
- Nitrification
- Dénitrification
- Volatilisation ammoniacale

Dénitrification

Voie principale par laquelle l'azote (N) passe du sol à l'atmosphère.



Conversion du nitrate en N gazeux (N_2O , N_2) par des bactéries anaérobies du sol



Dénitrification



- Conditions optimales (substrats, sols,...) :
 - Température : 27-30 °C
 - pH : 7-8
 - Teneur en eau : élevée (sol pauvre en O₂ : anaérobiose)
 - Teneur en carbone organique (C org) : élevée



car les bactéries ont besoin du C org pour leur respiration

Cycle de l'azote (N)

- Minéralisation
- Immobilisation
- Nitrification
- Dénitrification
- Volatilisation ammoniacale

Volatilisation ammoniacale

Perte d'azote (N) sous forme d'ammoniac (NH_3)



- Se produit surtout sous ces conditions : temps chaud, sec et venteux
- Pour éviter d'avoir des pertes de N par volatilisation, il faut :
 - 1) Incorporer les engrais à base d'urée et de NH_4 aux sols alcalins et calcaires
 - 2) Appliquer ces engrais à basse température
 - 3) Irriguer après avoir appliqué l'engrais pour permettre son infiltration dans le sol

Plan de l'exposé

- Norme québécoise sur l'eau potable
- Cycle de l'azote (N)
- Trois sources d'azote utilisées pour la fertilisation des plants en récipients :
 - 1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
 - 2) Ammonium : NH_4^+
 - 3) Nitrate : NO_3^-
- Impact de ces trois sources d'azote :
 - Croissance (plants en Réc)
 - Lessivage des minéraux (N, P, K, Ca, Mg)

1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ = Forme de N organique



Suite à l'application d'urée (culture en récipients) :
l'urée est rapidement convertie en N minéral (NH_4^+)
par l'enzyme « uréase »



- Enzyme « uréase » = très répandu dans la nature, on la retrouve : microorganismes, plantes, animaux (Tabatabai 1994)
- Cette réaction est très alcaline : elle cause une augmentation du pH du substrat (ou sol)

En 1996, une expérience d'incubation de substrats a été réalisée pour vérifier si la conversion de l'urée en NH_4 (hydrolyse de l'urée) est rapide dans les substrats tourbeux utilisés au Québec (Gagnon, 1996)

- Un substrat de tourbe-vermiculite (3:1, v/v) a été incubé durant 7 jours dans une chambre de croissance du CRBF (Université Laval)
- Addition au « temps 0 » de 500 ppm de N-urée par fiole de 250 mL



Incubation du substrat en conditions aérobies durant 7 jours (Gagnon, 1996) :

- Température : 20 °C
- Humidité relative : 80 %
- Substrats maintenus à 60 % de leur capacité au champ (WHC)



Résultats

(Expérience d'incubation de substrat : Gagnon, 1996)

Suite à l'application d'**urée** au substrat, l'**urée** a été rapidement convertie en **ammonium (NH_4^+)**



Hydrolyse de l'**urée** : très rapide



Résultats

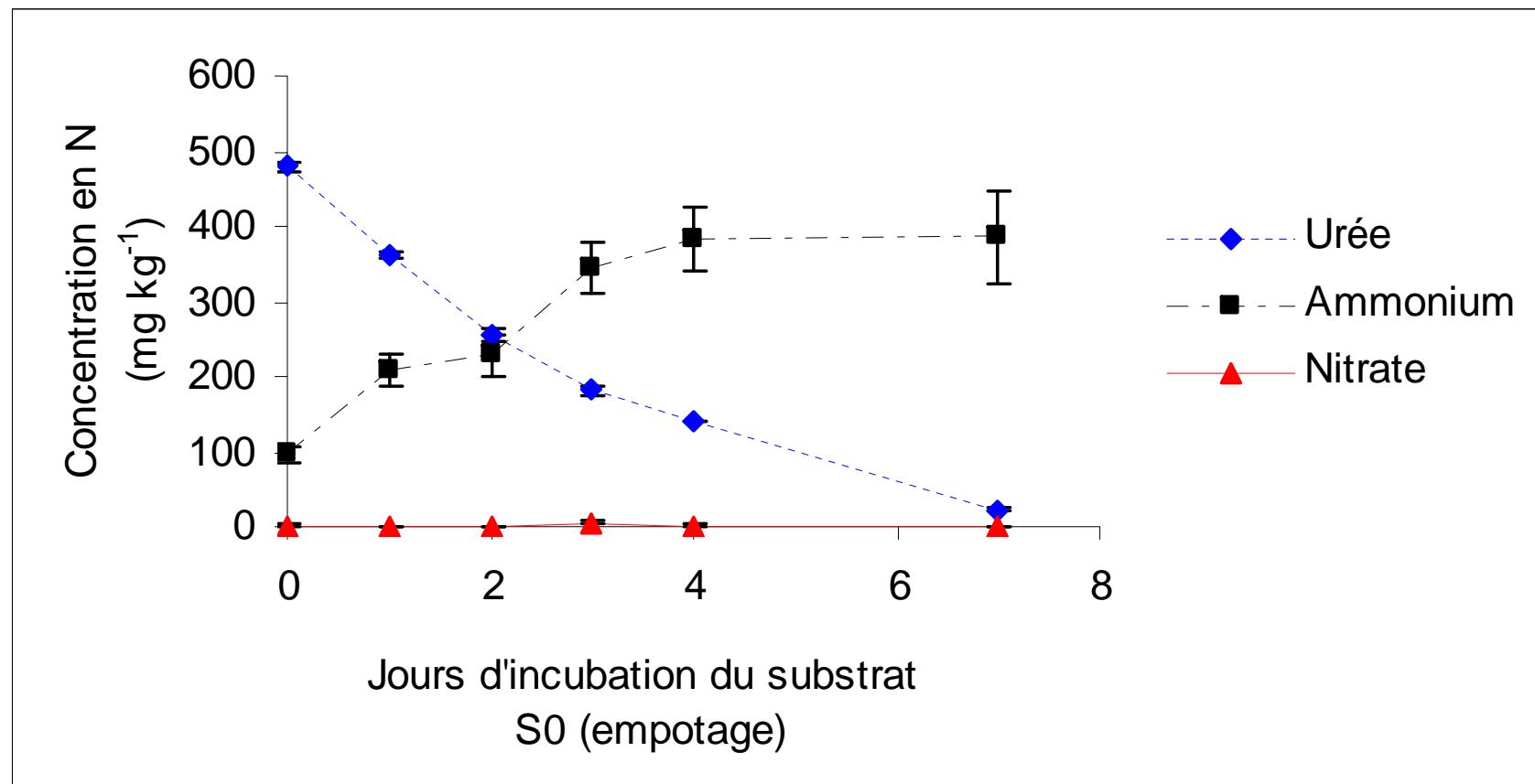
(Expérience d'incubation de substrat, Gagnon, 1996)

- Après 1 jour (24 h) : l'urée avait déjà diminuée de 25%
- Après 4 jours (96 h): une diminution en urée de 75% a été enregistrée dans le substrat



Cette ↓ de la concentration en urée a été accompagnée d'une ↑ simultanée de la concentration en NH_4^+

Hydrolyse de l'urée dans un substrat de tourbe-vermiculite (3:1, v/v) (Gagnon, 1996)



Expérience sur l'hydrolyse de l'urée (Substrats)

(Gagnon 1996)

Résultats :

- Après 7 jours : plus de **95%** de l'**urée** a été convertie en **ammonium (NH_4^+)** par l'**enzyme « uréase »**
- Une fois que l'**urée** a été converti en **ammonium (NH_4^+)** dans le substrat (ou sol), l'**urée** se comporte comme n'importe quel **engrais azoté commercial**

- Alors que dans un sol, le NH_4^+ produit sera ensuite converti en nitrate (NO_3^-) par les bactéries nitrifiantes
- Dans les substrats des plants en récipients : le NH_4^+ produit ne sera pas converti en NO_3^- . Pourquoi ?



Parce que le pH acide de nos substrats tourbeux inhibe l'action des bactéries nitrifiantes



(Nitrification est négligeable : substrats)

Fertilisation foliaire

- La **fertilisation foliaire** est surtout utilisée pour corriger rapidement des **carences mineures** en macro-éléments (**N, K**) et micro-éléments (**Fe, Zn, Mn, Cu, and Mo**) car le taux d'absorption des minéraux par les **tissus foliaires** est **beaucoup plus lent** que celui des racines.
- La **fertilisation foliaire** devrait être plus efficace chez les **essences feuillues** que **résineuses** car la cuticule cireuse de aiguilles de plusieurs essences résineuses ralentie l'absorption des minéraux (Landis, 1989).
- Pour la **fertilisation foliaire** en azote (**N**), **l'urée** est la forme de **N** à privilégier.

Fertilisation foliaire

- Les **fertilisants foliaires** sont appliqués sous forme de **solution diluées** sous des conditions humides et **de préférence le soir** (à la tombée du vent) pour que la solution reste le plus longtemps possible en contact avec le feuillage.
- Pour que la **fertilisation** soit efficace, les équipements à utiliser doivent produire un **mist fin** et un **surfactant** doit aussi être souvent utilisé pour s'assurer que la solution est appliquée uniformément sur toute la surface de la feuille.

Fertilisation foliaire

- Pour les plants forestiers produits en récipients, les fertilisations foliaires sont surtout utilisées pour corriger rapidement des carences en micro éléments comme le fer (chloroses en Fe). Elles peuvent aussi être utilisées pour reverdir rapidement les plants avant la livraison pour le reboisement (Landis, 1989).
- Puisque la fertilisation foliaire n'est pas utilisée couramment avec les plants forestiers, mieux vaut faire des essais sur de petites quantités de plants.

Plan de l'exposé

- Norme québécoise sur l'eau potable
- Cycle de l'azote (N)
- Trois sources d'azote utilisées pour la fertilisation des plants en récipients :
 - 1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
 - 2) Ammonium : NH_4^+
 - 3) Nitrate : NO_3^-
- Impact de ces trois sources d'azote :
 - Croissance (plants en Réc)
 - Lessivage des minéraux (N, P, K, Ca, Mg)

2) Ammonium : NH_4^+



ion positif (cation) : peu mobile dans le sol

Comme le sol est chargé négativement :



NH_4^+ = bien retenu par les charges négatives du sol
(charges $-$: matière organique et de l'argile du sol)

Plan de l'exposé

- Norme québécoise sur l'eau potable
- Cycle de l'azote (N)
- Trois sources d'azote utilisées pour la fertilisation des plants en récipients :
 - 1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
 - 2) Ammonium : NH_4^+
 - 3) Nitrate : NO_3^-
- Impact de ces trois sources d'azote :
 - Croissance (plants en Réc)
 - Lessivage des minéraux (N, P, K, Ca, Mg)

3) Nitrate (NO_3^-) :

- ion négatif : anion
- très mobile et hautement soluble

NO_3^- = pas retenu par les charges négatives de la matière organique et de l'argile du sol



Facilement lessivé

(transporté vers la nappe d'eau souterraine)

Plan de l'exposé

- Norme québécoise sur l'eau potable
- Cycle de l'azote (N)
- Trois sources d'azote utilisées pour la fertilisation des plants en récipients :
 - 1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
 - 2) Ammonium : NH_4^+
 - 3) Nitrate : NO_3^-
- Impact de ces trois sources d'azote :
 - Croissance (plants en Réc)
 - Lessivage des minéraux (N, P, K, Ca, Mg)

Impact de trois sources d'azote (N) sur la croissance des plants en récipients

- Résultats tiré du rapport interne de la DRF :
(Gagnon, J., 1992. Influence de la forme d'azote (ammonium ou nitrate) sur l'absorption, la réduction et l'assimilation, et sur la croissance des végétaux. Ministère des Forêts, Dir. de la recherche. Rapport interne n° 349. 20 p.)
- En mai 1990, deux dispositifs ont été installés dans un tunnel du CRBF (Université Laval) pour déterminer la source d'azote (Urée, NH₄, NO₃) qui permet la meilleure croissance des plants en récipients :
 - Épinette noire (Epn) 1+0 et 2+0
 - Épinette blanche (Epb) 1+0 et 2+0

1- De mai à octobre 1990, fertilisation des plants d'Epn et d'Epb 1+0 produits dans le récipient 45-110 :

- 4 traitements (trait.) de fertilisation azoté :
 - Ammonium (A) = NH_4
 - Nitrate (N) = NO_3
 - Urée (U)
 - Témoin (T) = 50% A + 50% N

Résultats : Expérience sur la fertilisation azotée
(Gagnon, 1992)

Résultats

1) Après une saison de croissance (15 oct. 90) des Epn 1+0 :



La hauteur et la masse sèche totale des plants des trait.

« Ammonium (A) » et « Nitrate (N) » étaient significativement < que celles des trait. « Urée (U) » et « Témoin (T) ».

Traitement	Hauteur (cm)	Masse sèche totale (mg)
- Ammonium (A) :	8,9 a*	267 a*
- Nitrate (N) :	9,0 a	234 b
- Urée (U) :	9,8 b	302 c
- Témoin (T) :	9,9 b	288 c

* Verticalement, des lettres différentes représentent des différences significatives à $p = 0,05$ (test de Tukey).

Résultats

2) Après une saison de croissance (16 oct. 90) des Epb 1+0 :



- La **hauteur** des plants du trait. « Ammonium (A) » était **significativement <** que celle des plants des 3 autres trait.
- Les plants des trait. « Ammonium (A) » et « Nitrate (N) » avaient des **masses sèches totales significativement <** que celles des trait. « Urée (U) » et « Témoin (T) ».

Traitement	Hauteur (cm)	Masse sèche totale (mg)
- Ammonium (A) :	5,8 a*	254 a*
- Nitrate (N) :	6,6 b	297 a
- Urée (U) :	7,0 b	369 b
- Témoin (T) :	7,0 b	358 b

* Verticalement, des lettres différentes représentent des différences significatives à $p = 0.05$ (test de Tukey).

Résultats

3) Après deux saisons de croissance (4 nov. 91) des Epn 2+0 :



- La **hauteur** des plants du trait. « Ammonium (A) » était **significativement <** que celle du trait. « Nitrate (N) ».

Traitement

Hauteur (cm)

- Ammonium (A) :	18,2 a*
- Nitrate (N) :	21,1 b
- Urée (U) :	20,0 ab
- Témoin (T) :	20,8 ab

* Verticalement, des lettres différentes représentent des différences significatives à $p = 0,05$ (test de Tukey).

Résultats

3) Après deux saisons de croissance (4 nov. 91) des Epn 2+0 :



- La masse sèche totale des plants du trait. « Ammonium (A) » était significativement < que celle des 3 autres trait.

Traitement	Masse sèche totale (mg)
- Ammonium (A) :	2041 a*
- Nitrate (N) :	2653 bc
- Urée (U) :	2358 b
- Témoin (T) :	2908 c

* Verticalement, des lettres différentes représentent des différences significatives à $p = 0,05$ (test de Tukey).

Résultats

3) Après deux saisons de croissance (4 nov. 91) des Epn 2+0 :



- Les plants des trait. « Ammonium (A) » et « Urée (U) » avaient des masses sèches totales significativement < que celles des plants du trait. « Témoin (T) » .

Traitement	Masse sèche totale (mg)
- Ammonium (A) :	2041 a*
- Nitrate (N) :	2653 bc
- Urée (U) :	2358 b
- Témoin (T) :	2908 c

* Verticalement, des lettres différentes représentent des différences significatives à $p = 0,05$ (test de Tukey).

Résultats

4) Après deux saisons de croissance (4 nov. 91) des Epb 2+0 :



- La hauteur des plants n'était pas significativement différente entre les 4 traitements.

Traitement	Hauteur (cm)
- Ammonium (A) :	19,9 a*
- Nitrate (N) :	21,9 a
- Urée (U) :	21,1 a
- Témoin (T) :	20,8 a

* Verticalement, des lettres différentes représentent des différences significatives à $p = 0,05$ (test de Tukey).

Résultats

4) Après deux saisons de croissance (4 nov. 91) des Epb 2+0 :



- Les masses sèches totales des plants du trait.
« Ammonium (A) » étaient significativement < que celles des trait. « Nitrate (N) », « Urée (U) » et « Témoin (T) ».

Traitement	Masse sèche totale (mg)
- Ammonium (A) :	3155 a*
- Nitrate (N) :	3745 b
- Urée (U) :	3675 b
- Témoin (T) :	3899 b

* Verticalement, des lettres différentes représentent des différences significatives à $p = 0.05$ (test de Tukey).

Résultats

4) Après deux saisons de croissance (4 nov. 91) des Epb 2+0 :



- Les masses sèches racinaires des plants du traitement « Ammonium (A) » étaient significativement < que celles des traitements « Urée (U) » et « Témoin (T) ».

Traitement	Hauteur (cm)	Masse sèche totale (mg)
- Ammonium (A) :	19,9 a	3155 a
- Nitrate (N) :	21,9 a	3745 b
- Urée (U) :	21,1 a	3675 b
- Témoin (T) :	20,8 a	3899 b

* Verticalement, des lettres différentes représentent des différences significatives à $p = 0,05$ (test de Tukey).

Conclusion

Expérience sur la fertilisation azotée (Gagnon, 1992) :



- Pour obtenir une meilleure croissance des plants en récipients d'Epn et d'Epб, il est préférable de les fertiliser avec un mélange égal d'ammonium et de nitrate (50% A + 50% N) plutôt qu'avec seulement de l'ammonium (A), du nitrate (N) ou de l'urée (U).

- Pourquoi les plants ont-ils eu une meilleure croissance avec un mélange égal d'ammonium et de nitrate (50% A + 50% N) que seulement avec de l'ammonium (A), du nitrate (N) ou de l'urée (U) ?



À cause des effets différents des sources de N sur le métabolisme azoté des plants



On sait que l'azote (N) est un élément essentiel à la synthèse des acides aminés.

(acides aminés $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ protéines)

- L'ammonium (NH_4^+) est plus facile à assimiler par les plants que le nitrate (NO_3^-) parce que le NH_4^+ est déjà une forme réduite de l'azote (N). Il permet donc une économie d'énergie au niveau du métabolisme azoté.
- Quant au nitrate (NO_3^-), avant d'être assimilé par le plant, il doit être réduit en nitrite (NO_2^-) et en ammonium (NH_4^+). Le prélèvement des NO_3^- implique donc une activité métabolique et une dépense d'énergie pour le plant.
- Pour plus de détails sur les effets de l'azote sur le métabolisme des plants, voir le rapport interne n° 349 de la DRF :

Gagnon, J. 1992. *Influence de la forme d'azote (ammonium ou nitrate) sur l'absorption, la réduction et l'assimilation, et sur la croissance des végétaux*. Ministère des Forêts,

Plan de l'exposé

- Norme québécoise sur l'eau potable
- Cycle de l'azote (N)
- Trois sources d'azote utilisées pour la fertilisation des plants en récipients :
 - 1) Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
 - 2) Ammonium : NH_4^+
 - 3) Nitrate : NO_3^-
- Impact de ces trois sources d'azote :
 - Croissance (plants en Réc)
 - Lessivage des minéraux (N, P, K, Ca, Mg)

Dans le cadre de nos **dispositifs (DRF)** sur le lessivage des engrais sous les cultures d'Epб 2+0 en récipiens



Des tests d'efficacité des fertilisations appliquées ont été réalisés afin de **comparer** les quantités d'engrais :

Prévues d'appliquer (théoriques)

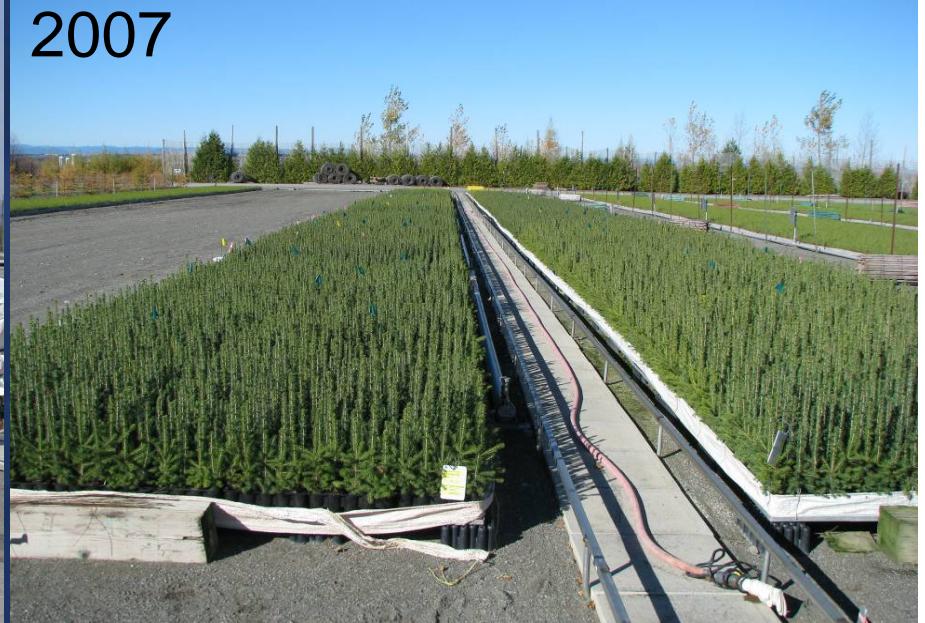
vs

Réellement reçues par la culture

2002



2007



Les tests d'efficacité des fertilisations appliquées ont été réalisés à l'aide de capteurs de solution fertilisante



Nouveau capteur « Universel » conçu par Daniel Girard pour tous les types de récipients



(Dispositif de St-Modeste, 2005)

Des tests d'efficacité des fertilisations appliquées
ont été réalisés dans nos dispositifs de la DRF



Tracteurs **vs** robots d'arrosage



(Dispositif de
St-Modeste,
2005)

Les résultats des tests d'efficacité des fertilisations appliquées ont montré que dans le cas de la fertilisation réalisée avec un :



- 1) Tracteur : l'engrais réellement reçu par la culture correspondait à : 80 % de la dose prévue appliquer (dose théorique)

- 2) Robot : l'engrais réellement reçu par la culture correspondait à : 95 % de la dose prévue appliquer (dose théorique)

Résultats de nos dispositifs (DRF) sur le lessivage des engrais sous les cultures d'Epb 2+0 en récipients

- Concernant les pertes d'azote (N) :

Le NO_3^- est toujours beaucoup plus lessivé que le NH_4^+ (normal car il est moins retenu que le NH_4^+)

Lorsque les NO_3^- sont lessivés : ils ne partent jamais seuls



Toujours perdus avec des cations (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) pour préserver la neutralité des charges (solution du substrat)



Autres pertes mesurées : $\text{K} > \text{NH}_4 > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca}$

FIN



Les nitrates??... Ben
moins pire que le
TCE...

