



Comment diagnostiquer les pertes d'azote dans les systèmes de culture ?

Anne Schneider
et
Cécile Le Gall



Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 1

1



Pourquoi cette question ?

Elle s'inscrit :

- dans une **réflexion globale d'évolution de système de culture** (volet gestion de l'azote)

Autonomie en N de synthèse	Nutrition des cultures	Teneur en matière organique du sol	Maîtrise des pertes d'azote
----------------------------	------------------------	------------------------------------	-----------------------------

- dans un contexte de prise de conscience de la nécessité de **réduire les impacts environnementaux** (et répondre aux contraintes réglementaires) et de **dépendance aux intrants** (chercher efficacité et autonomie)

Conception « de novo »

Conception « pas-à-pas »

Atelier de conception

- Formulation des objectifs vis-à-vis de l'azote
- Pistes proposées par des pairs
- Apport de connaissances
- Carte des idées

Entretien(s) post-conception

- Identification des critères de réussite
- Conception d'un système à hautes performances azotées
- Schéma décisionnel

Test aux champs

- Caractérisation des parcelles
- Mesures et observations
- Traçabilité des pratiques et des règles de décision

Analyse annuelle de la réussite et ajustement

- Evaluation du système par l'agriculteur selon ses propres critères de réussite (Tableau de bord)
- Suivi de l'extension du système dans l'assolement

Ressources pour inspirer d'autres

- Analyse des conditions de réussite
- Caractérisation des performances de durabilité
- Valorisation auprès du monde agricole

Amélioration continue

2



Actualité : contexte tendu des engrais azotés

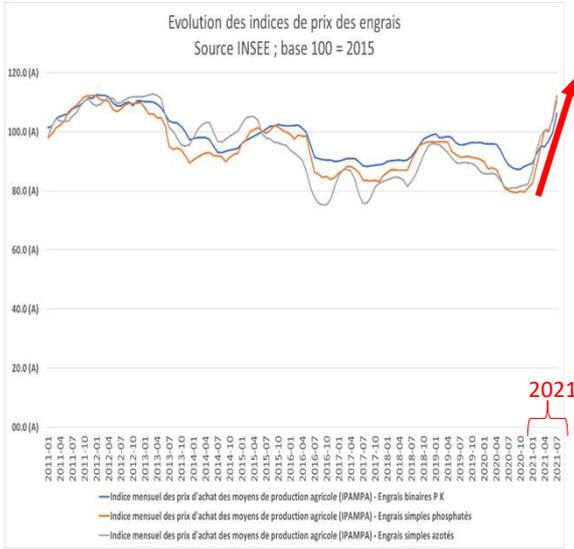
= Envolée des prix et risque de pénurie (fin 2021- début 2022, voire plus)

Récolte 2021 : **0.8 €/unité N min** (valeurs indicatives)
Récolte 2022 : 1.2 à 1.6 €/unité de N min

	Scénario de prix R2021	Scénario de prix R2022
Culture avec 180 kg N min / ha de dose totale	144 €/ha de charges de fertilisation azotée	216 à 288 €/ha de charges de fertilisation azotée
Légumineuse	Aucune charge de fertilisation azotée	

- **Apporter selon les besoins**
- **Eviter d'en perdre ou en perdre moins**
- **Mobiliser l'azote fixé symbiotiquement par les légumineuses**

La moindre variabilité entre années des charges de fertilisation est un facteur de robustesse des légumineuses par rapport à des cultures plus exigeantes en azote minéral.



2021

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 3

3



Azote : concilier conseil agricole et environnement

Interdépendance entre pertes azotées et bénéfices recherchés par l'agriculteur

Approche Gagnant-Gagnant

- Economie
- Agronomie
- Environnement et santé

Moins d'intrants et meilleures marges

Plus de fertilité des sols
Et/ou le stockage de C et N dans le sol

N-sol organique

*Un bon capital sols
Une meilleure productivité*

Azote N₂

Azote organique

Azote minéral

N-efficient

Plus d'autonomie:
réduire les intrants et améliorer la nutrition N (meilleure performances)

Réduire les pertes azotées
Nitrate, N₂O, NH₃

N-peu polluant

*Eaux propres et Qualité de l'air et Atténuation du CC
Plus de N pour la production agricole*

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 4

4



Pourquoi faire un guide de diagnostic des pertes?

Chiffrer les pertes ne suffit pas...

... quand elles sont jugées excessives, progresser vers des systèmes de culture à faibles pertes nécessite de **COMPRENDRE les déterminants** et leurs interactions, afin de faciliter *in fine* la conception de nouveaux systèmes.

➔ **Proposition d'une méthode (illustrée avec Syst'N®)**

= Guide issu édité par le projet Casdar **Agro-éco-Syst'N**

« Des systèmes agroécologiques à hautes performances azotées par le diagnostic des pertes avec l'outil Syst'N® »

Un des projets de l'axe 1 de l'UMT Alter'N (Terres Inovia-UMR Agronomie-UMR Ecosys) et soutenu par le RMT Fertilisation et Environnement (maintenant devenu le RMT Bouclage)

NB : le guide prévoit d'utiliser l'outil Syst'N à plusieurs étapes mais il est aussi possible de conduire le diagnostic avec d'autres outils
NB 2: le guide ne concerne que les pertes de nitrate et d'ammoniac

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021.

5

5



Analyser la situation

- L'échelle d'analyse, la **situation** = un **champ cultivé** (ie. un peuplement qui se développe sur un sol donné) soumis à un **système de culture** et à un **climat**
- Avoir une **vue d'ensemble** de la situation : avec ses constituants (variables d'état du système + autres variables décrivant les pratiques, le climat et le sol), ses processus et comment ils interagissent
 - ♣ Les **pratiques « clés »**
 - ♣ Les **états « clés »**

} *Ceux qui sont les plus déterminants pour expliquer et prédire les pertes d'azote*
- Avoir une **vision dynamique** (car le champ cultivé évolue au cours du temps et traverse différents états) ➔ identification des **moments « décisifs »** de la campagne pour observer son champ cultivé

Exemple pour le nitrate : entrée d'hiver

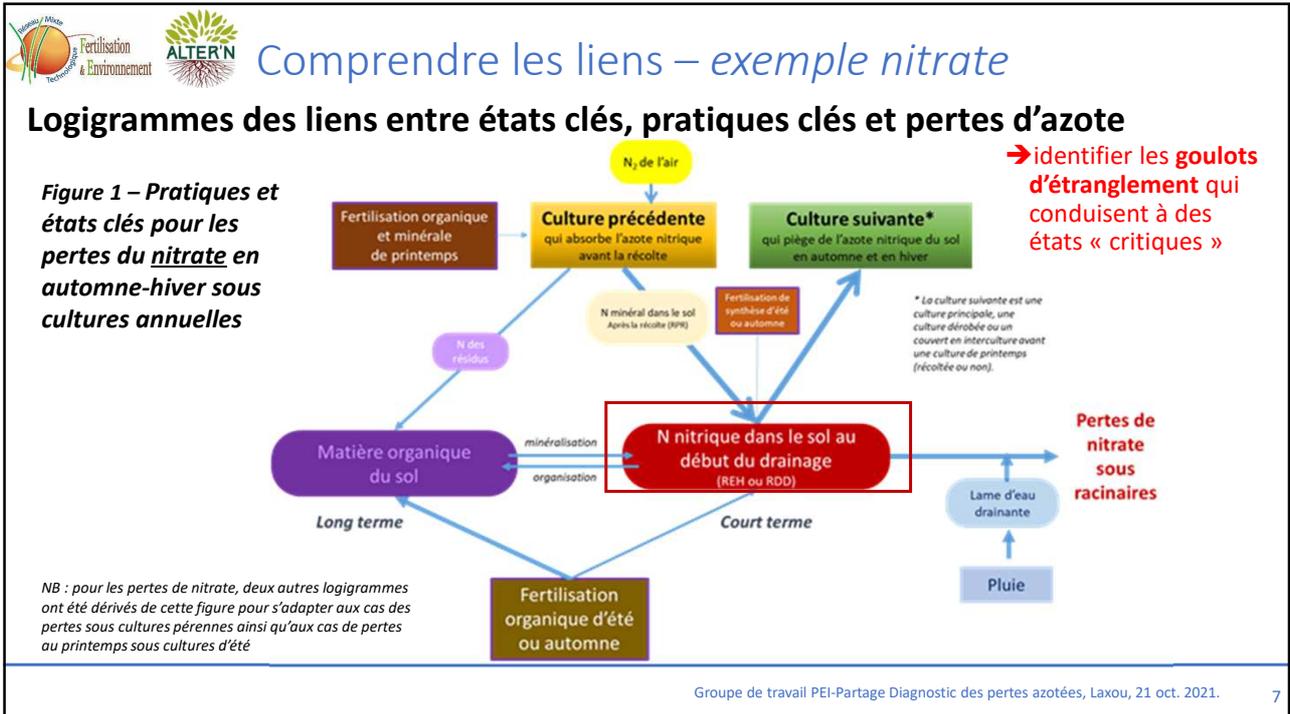


Pratiques agricoles ET actions du climat ➔ Etats ➔ Résultats de pertes

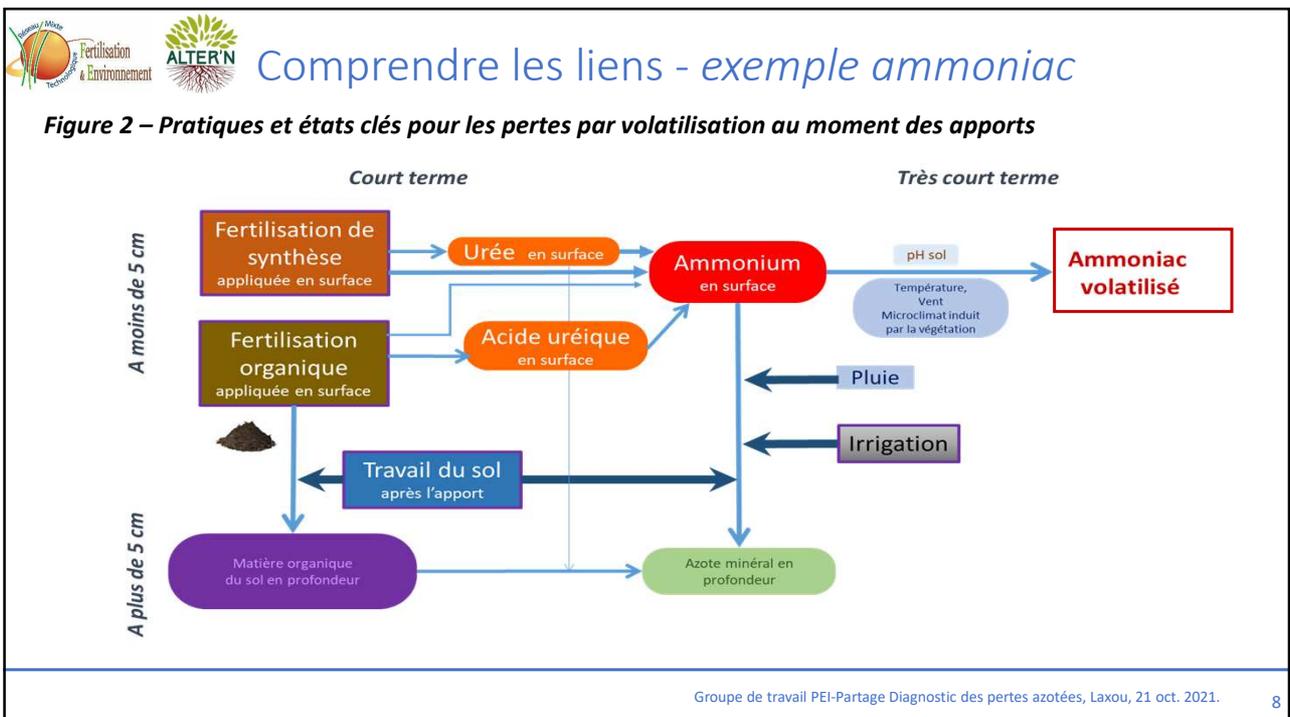
Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021.

6

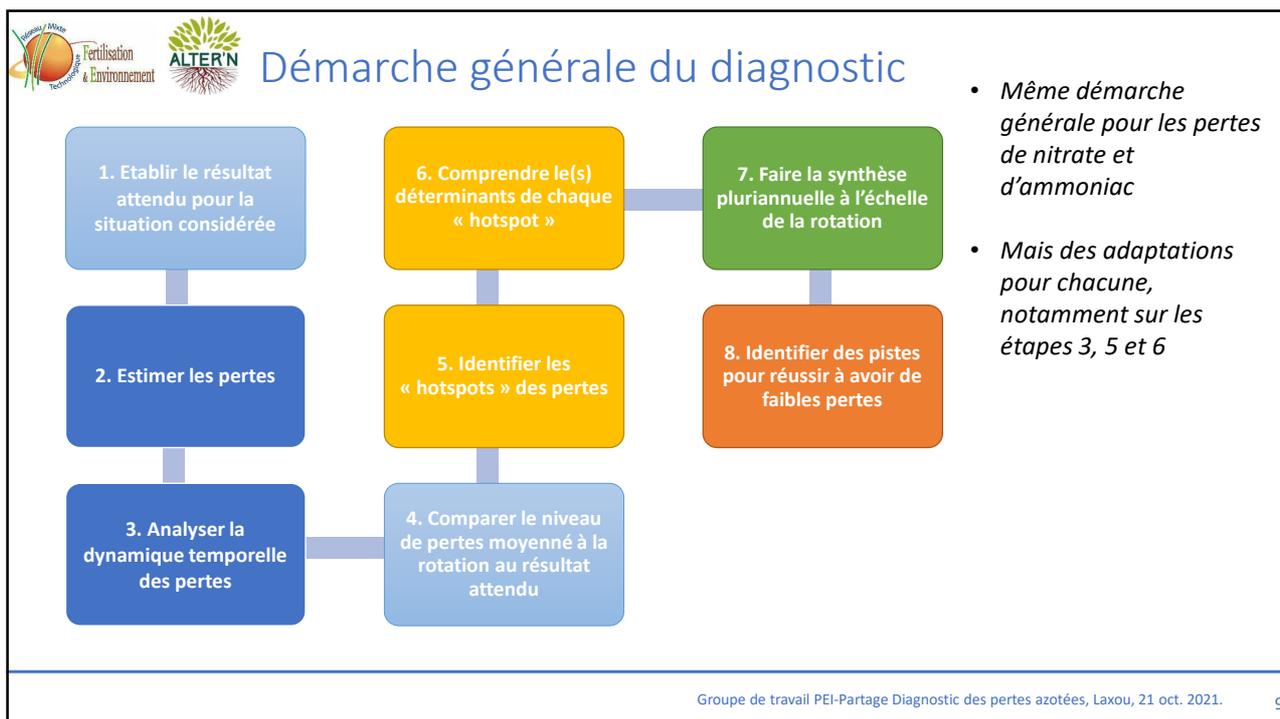
6



7



8



9

1. Etablir le résultat attendu pour la situation considérée

- Dans l'idéal, il faut établir un résultat **adapté** à chaque situation
 - ♣ Ne pas fixer un seul seuil mais plusieurs pour définir des « classes » :
 - classe de *réussite* / classe *d'échec* / classe *intermédiaire* de résultats « acceptables »
- Si cela n'est pas possible, s'appuyer sur les niveaux de performances élaborés dans le cadre du projet AESN:

Seuils des émissions hors du champ cultivé		Volatilisation d'ammoniac (kg N/ha pour 100 kg N apportés)		
		Plus de 10%	5 à 10%	Moins de 5%
Lixiviation de nitrate (kg N/ha /100 mm de lame d'eau drainante)	Moins de 5 u/ 100 mm	Intermédiaire	Haute	Haute
	5 à 10 u/ 100 mm	Basse	Intermédiaire	Haute
	Plus de 10 u/ 100 mm	Basse	Basse	Intermédiaire

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 10

10



2. Estimer les pertes

- Les pertes peuvent être mesurées directement au champ (le plus précis) mais ces mesures sont lourdes et coûteuses : appel à la simulation
 - ♣ Utilisation de d'outil  Syst'N
 - ♣ Ou d'autres outils (ex : LIXIM, STICS, INDIGO etc.)
- La fiabilité des résultats dépend beaucoup de la qualité des données d'entrée fournies aux outils → **estimer l'incertitude est crucial**

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 11

11



3. Analyser la dynamique temporelle des pertes

3.1. Calculer les pertes moyennes à la rotation



Pertes d'azote moyennes annuelles (kg N/ha/an)

Calculé

Protoxyde d'azote (N₂O)
 soit 116.0 kg éq. CO₂ *

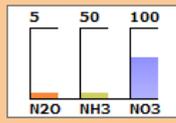
Ammoniac (NH₃)

Nitrate (NO₃) lessivé

Nitrate (NO₃) ruisselé

* 1kg N₂O = 265kg éq. CO₂ (Source: IPCC, 2013)

(outil de visualisation des résultats → 1^{er} onglet)



Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 12

12

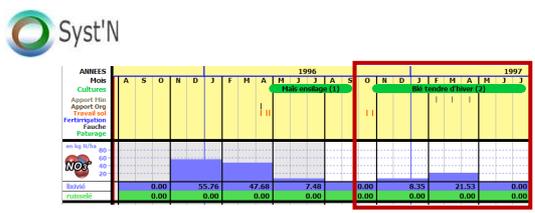


3. Analyser la dynamique temporelle des pertes

3.2. Pertes « annuelles »: à regarder sur l'ensemble des cultures répétées sur les différentes années climatiques → est-ce que les pertes sont « toujours au même endroit »?

Nitrate

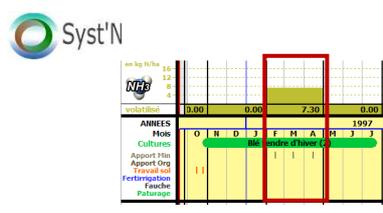
Perte moyenne par **succession de deux cultures**, entre la récolte de la culture précédente et celle de la culture suivante



(outil de visualisation des résultats → 3^{ème} onglet « Succession »)

Ammoniac

Perte moyenne pour **chaque période d'apport** de chaque culture



(outil de visualisation des résultats → 3^{ème} onglet « Succession »)

NB: Propositions d'évolution de l'interface pour mieux accompagner le diagnostic de l'ammoniac

Visualisation globale à l'échelle du mois et non plus du trimestre

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 13

13



4. Comparer le niveau de pertes moyenné à la rotation au résultat attendu

- Comparer la valeur moyenne obtenue à l'échelle de la rotation au résultat attendu
 - ♣ Si elle est supérieure → comment l'expliquer?
 - ♣ Si elle inférieure → Bravo!
- Tenir compte de compte de l'incertitude autour des estimations de pertes!

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 14

14



6. Comprendre le(s) déterminants de chaque « point chaud »

Pour chaque hotspot, analyser le lien avec pratiques clés et état clés (cf logigrammes)

Exemple du Nitrates

Lame d'eau drainante x **Qté d'azote nitrrique disponible au début du drainage**

Difficilement maitrisable

Reliquat EH ou DD
(quel niveau? quelle origine?)

- Minéralisation basale?
- Culture précédente?
 - Résidus?
 - Supplément de reliquat?
- Fertilisation de fin d'été?

N absorbé par la culture suivante

Compléter chaque item pour estimer le poids de chacun

Effet de la culture précédente

- Apport d'azote de symbiose en été-automne
- Apport de PRO en été-automne
- Supplément de reliquat du à la surfertilisation
- Reliquat standard à la récolte
- Minéralisation des résidus de culture
- Minéralisation de l'humus

Azote disponible dans le sol en été-automne



Mesures au champ en automne

- Azote piégé en été-automne
- Reliquat d'azote minéral en entrée d'hiver

Effet de la culture suivante



→ utiliser la macro de Syst'N pour estimer les différents postes – sauf supplément de reliquat lié à la sur-fertilisation

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 17

17



6. Comprendre le(s) déterminants de chaque « point chaud »

Pour chaque hotspot, analyser le lien avec pratiques clés et état clés (cf logigrammes)

Exemple de l'Ammoniac

T°C / pH / Vent sur 21 jours après l'apport x **Qté d'ammonium présent en surface sur 21 jours après l'apport**

Difficilement maitrisable

Qté d'azote apporté sous forme NH₄⁺ ou urée

A-t-elle été enfouie?

- Au moment de l'épandage
- Après (combien de temps?)
 - Irrigation? (>10 mm)
 - Pluie? (>10 mm)
 - Wsol?

Devenir de l'azote apporté et risque de volatilisation dans les 3 semaines

+

- N non volatilisable (nitrates et Norganique) en surface
- N non volatilisable (nitrates et Norganique) en profondeur

+

-

- N volatilisable non volatilisé en surface
- N volatilisable de l'engrais en profondeur

A moins de 5 cm

A plus de 5 cm

Travail du sol après apport

Pluie après apport

Irrigation après apport



→ utiliser la macro de Syst'N pour estimer les différents postes – sauf le vent

Groupe de travail PEI-Partage Diagnostic des pertes azotées, Laxou, 21 oct. 2021. 18

18



7. Faire la synthèse pluriannuelle à l'échelle de la rotation

- La distribution des pertes entre années
 - ♣ Les pertes sont-elles en moyenne élevées ou non?
 - ♣ Est-ce que les hautes performances de certaines années compensent les faibles performances des autres?
 - ♣ On recherche un équilibre (on ne peut pas être bon partout)
- Les explications des faibles performances azotées
 - ♣ Identification des « combinaisons perdantes »
- Et surtout, qu'est ce que nous apprend l'analyse des pertes sur le **fonctionnement du champ cultivé**?
 - ♣ **Quels sont les goulots d'étranglements?**



8. Identifier des pistes pour réussir à avoir de faibles pertes

- Imaginer **comment débloquent** les goulots d'étranglements
 - ♣ **Nouvelle combinaison** de « pratiques clés »
 - ♣ **Vérifier, par simulation**, que ces nouvelles combinaisons permettent de conduire à une haute performance azotée
- Pour aller plus loin, **reconcevoir** le système dans l'objectif d'avoir de faibles pertes
 - ♣ Sans **chercher à éliminer toutes les combinaisons « perdantes »**
 - la performance GLOBALE peut être satisfaisante mais pas forcément sur tous ses modules!
 - ♣ Tester l'impact d'un changement d'une seule pratique n'est pas une reconception : réfléchir le système dans sa **cohérence globale**