

AZOTE POTENTIELLEMENT LIBÉRÉ

JUSQU'EN SORTIE D'HIVER

CONTRIBUTEURS :

Diedhiou Khady- COMIFER
Degan Francesca- ARVALIS
Leduc David- CAPays-de-la-Loire
Le Roux Caroline- LDAR
Lambert Marc- YARA
Michaud Aurélia- INRAE
Morel Chloé- MASA/DGPE

CONTEXTE

- **Directive Nitrates**
 - Lutte contre la pollution diffuse par les nitrates d'origine agricole
 - Protection des zones vulnérables aux Nitrates
- **Programme d'actions national « Nitrates » (PAN) et Programmes régionaux (PAR)**
 - Mesure 1 du PAN : interdiction d'épandage des fertilisants pendant les périodes à risque pour la qualité de l'eau
 - Mesure 3 du PAN : limitation de l'épandage des fertilisants azotés / Équilibre entre les besoins prévisibles des cultures et les apports

PROBLÉMATIQUE

- **Ambiguïté de la notion d'APLSH par rapport à l'existant (azote efficace et Kéq N)**
- **Manque de références pour calculer les doses d'azote équivalentes au plafond d'APLSH**

Demande du MASA au COMIFER

- **Clarifier la notion d'APLSH par rapport à l'existant**
- **Produire des références d'APLSH pour accompagner l'évolution de la réglementation**



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

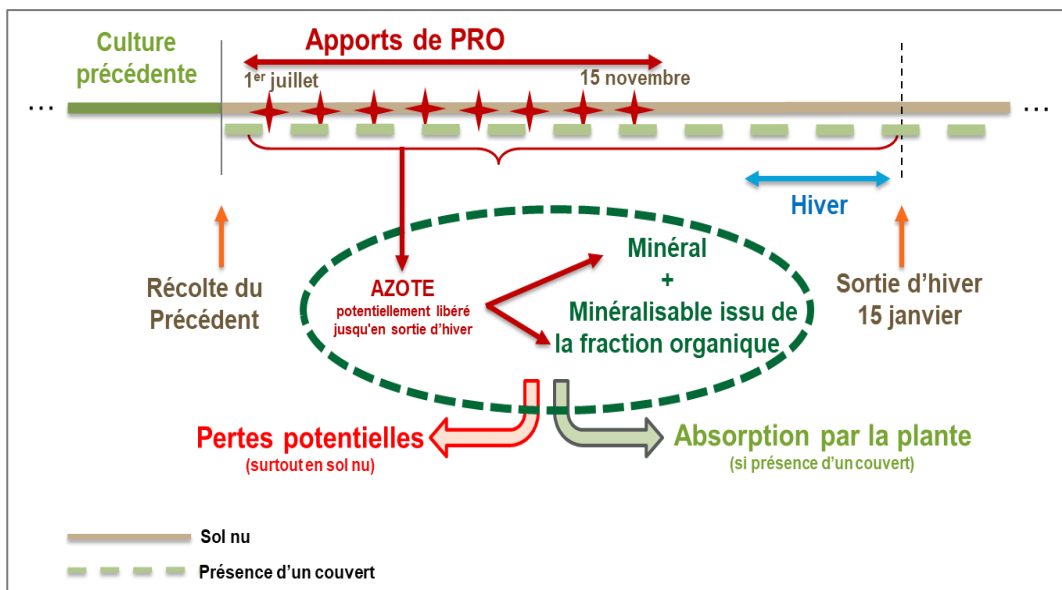
*Liberté
Égalité
Fraternité*

OBJECTIFS COMIFER

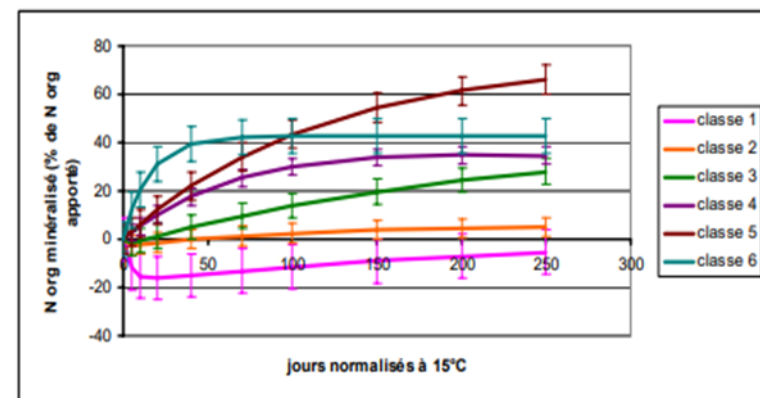
- Établir une liste de produits organiques représentant les 4 types de PRO du PAN7 et représentant les dynamiques de minéralisation des PRO
- Estimer, avec un modèle, l'azote potentiellement libéré par ces PRO sur la période été/automne
- Proposer des références nationales, en pourcentage d'APLSH par rapport à la teneur en azote total des PRO
- Fournir les éléments nécessaires à la mise en œuvre pratique des plafonds d'APLSH : méthode de calcul et recommandations d'usage des références

DEFINITION DE L'AZOTE POTENTIELLEMENT LIBÉRÉ JUSQU'EN SORTIE D'HIVER

- Variable en fonction du type de PRO et sa cinétique de minéralisation
- Plafond de 70 kg N/ha d'APLSH en sortie d'hiver (15 janvier)



Représentation schématique de la notion d'APLSH



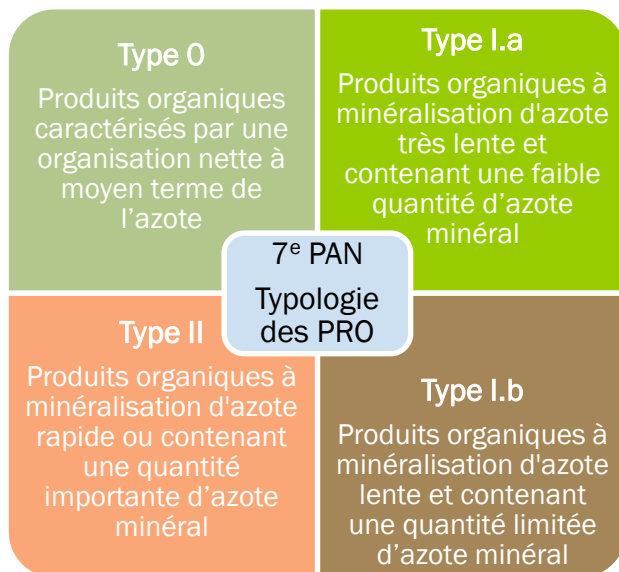
Cinétiques de minéralisation des PRO, sur la base de mesures réalisées au champ (*Bouthier et al. 2009*)

L'APLSH : POSITIONNEMENT PAR RAPPORT À L'EXISTANT

Azote efficace	Kéq N	APLSH
Notion Règlementaire	Notion Technique / Agronomique	Notion Règlementaire
Objectif : Limiter les épandages de PRO pendant la période automnale en quantifiant la libération d'azote par minéralisation	Objectif : évaluer l'équivalence d'absorption d'azote entre un apport de fertilisant et l'engrais minéral de référence	Objectif : d'évaluer le supplément d'azote minéral dans le sol, à la suite d'un épandage de produit organique réalisé entre l'été et l'automne
Fraction minérale + fraction organique minéralisée pendant la présence d'une culture ou pendant le bilan	Kéq N bilan ou Kéq N cycle	Fraction minérale + fraction organique minéralisée et disponible dans le sol en sortie d'hiver
Plafond d'apport pour limiter les épandages de PRO		Plafond d'apport pour limiter les épandages de PRO sur les cultures d'été et intercultures
Notion « d'offre » pendant la présence d'une culture	Effet direct des engrais organiques en équivalence avec les engrais minéraux	Notion qui ne fait intervenir ni l'absorption par une culture ou un couvert végétal, ni la référence à un engrais minéral
Période : de l'apports jusqu'à la fin de l'absorption	Période : de l'apports (ou à l'ouverture du bilan) jusqu'à la fin de l'absorption	Période : de l'apport jusqu'à la sortie d'hiver (15 janvier)
Pas de références COMIFER	Pas de références à l'automne	Pas de références : Proposition par le COMIFER à la demande du MASA

LES FERTILISANTS ORGANIQUES DANS LA RÉGLEMENTATION NITRATES

Quelques exemples du PAN7



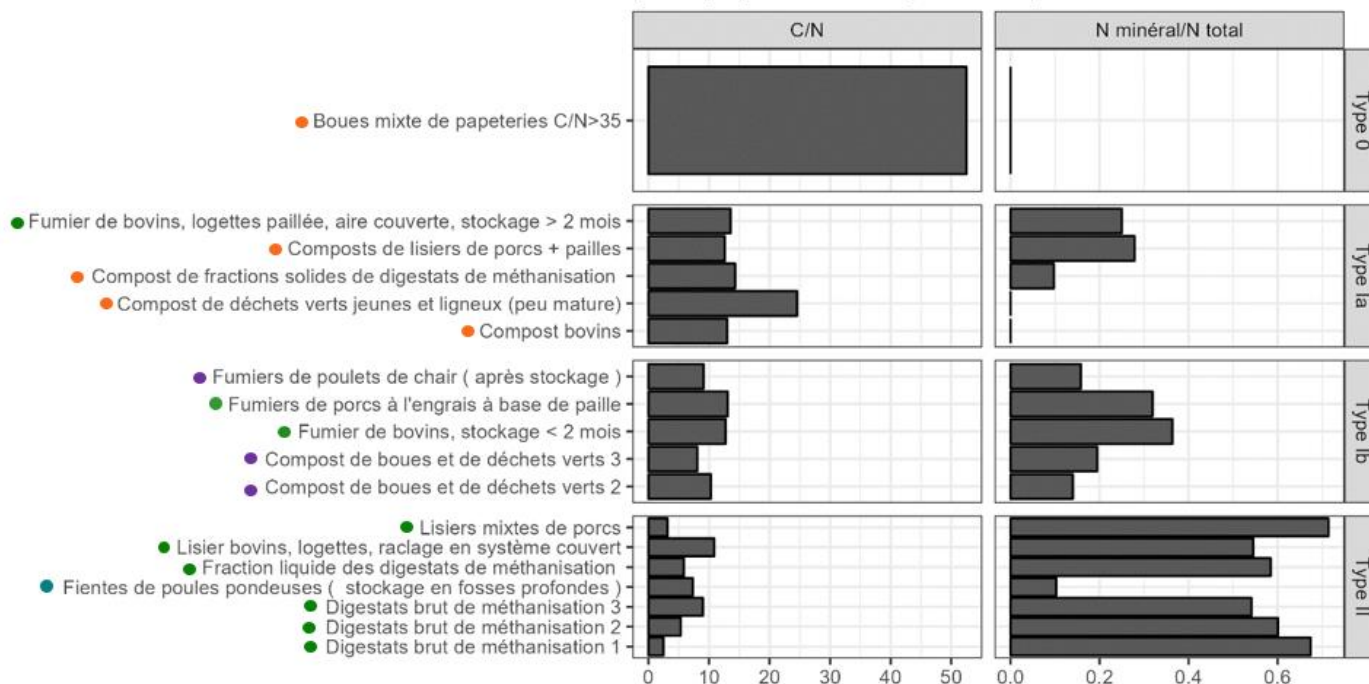
Type 0	Type I.a	Type I.b	Type II
Boues de papeterie, marcs de raisins frais, composts de déchets verts jeunes et ligneux	Fumiers compacts non susceptibles d'écoulement et composts d'effluents d'élevage à l'exception des composts de fientes de volailles. Compost de fractions solides de digestats de méthanisation.	Fumiers susceptibles d'écoulement Composts de MIATE (matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux) mélangées à un support carboné, composts de biodéchets	Déjections sans litière de ruminants, d'équins, de porcins et de volaille, Fractions liquides issues d'un raclage en V en élevage porcin, fractions liquides issues de la séparation de phase des lisiers, Digestats bruts de méthanisation, fractions liquides des digestats de méthanisation.

Une règle de classification pour les PRO non listés dans le PAN

Valeurs guides	Fertilisants de type 0	Fertilisants de type I.a	Fertilisants de type I.b	Fertilisants de type II
C/N*	> 20	> 10	> 8	Tout effluent qui n'entre pas dans les catégories précédentes
Nmin/Ntot	< 20 %		< 40 %	
ISMO	Sans objet	> 70 % MO	> 50 % MO	

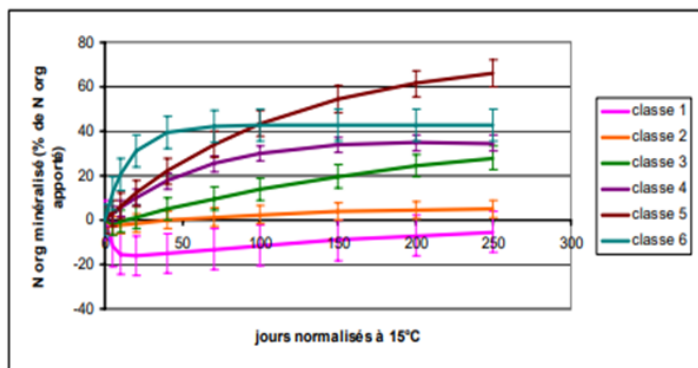
Caractéristiques des produits organiques de la modélisation

[NDispo] caractéristiques des produits



18 Fertilisants organiques

- Organisation
- Minéralisation très lente
- Minéralisation moins lente
- Minéralisation rapide



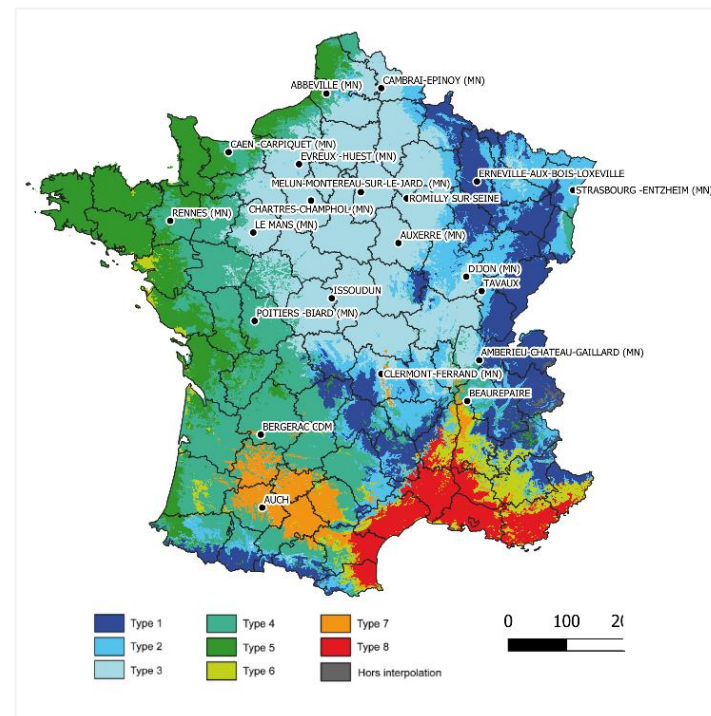
Cinétiques de minéralisation des PRO, sur la base de mesures réalisés au champ (Bouthier et al. 2009)

Données pédoclimatiques

- **Les climats : 21 stations météorologiques**
 - Pluviométrie, humidité et température du sol
 - Variabilité climatique sur 20 ans (2000 - 2020)
 - Estimation des jours normalisés

- **Les sols :**
 - 3 sols par station météo
 - profonds / moyens / superficiels

 - Caractéristiques du sol impactant l'humidité de l'horizon minéralisant et pris en compte dans le modèle
 - Texture
 - Densité
 - Profondeur
 - Teneur en éléments grossiers
 - Etc.



- 1 : montagne
 2 : semi-continentale
 3 : océanique dégradé des plaines
 4 : océanique altéré
 5 : océanique franc
 6 : méditerranéen altéré
 7 : bassin du Sud-Ouest
 8 : bassin méditerranéen

LE PLAN DE SIMULATION : SYNTHÈSE

18
fertilisants
organiques

10 dates
d'apports

180 stratégies
de
fertilisations :
combinaisons
produit*date

Simulation
avec une
seule dose
d'apport :
100 Kg N
total/ha

11 340 cas types

21 stations
météorologiques
5 zones
climatiques

3 types de :
Profond
moyen
superficiel

**Modélisation
via CHN**

63
Combinaisons
site*sol

Sol nu

LA MODÉLISATION

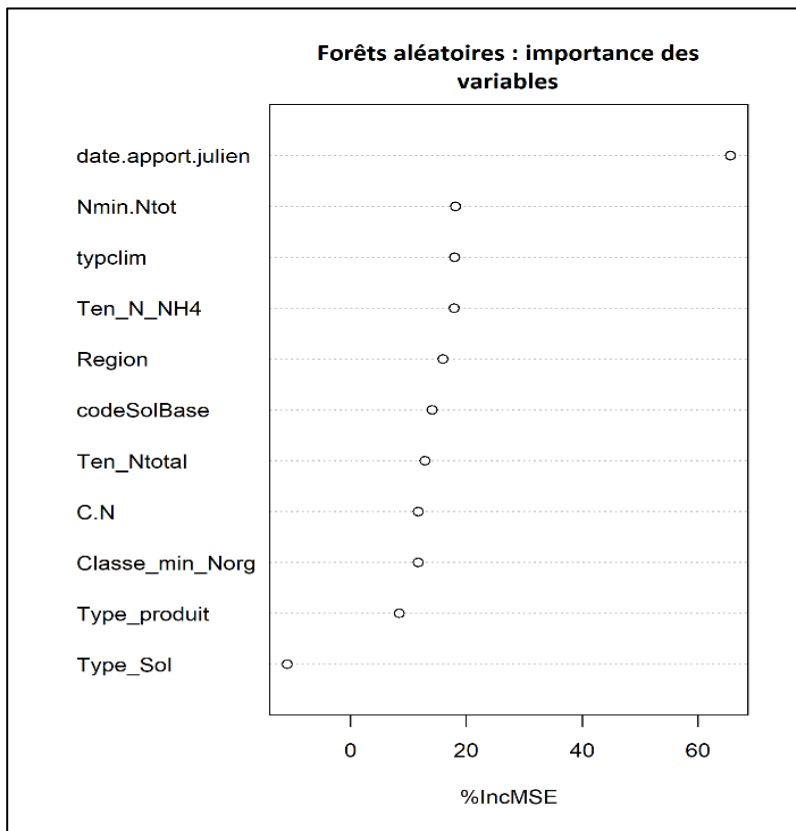
- **Modèle CHN (Arvalis) / Stocks et flux de carbone, eau et azote**
 - Base de données « météo »
 - Base de données « sols »
 - Base de données PRO
 - Aucune culture en place (sol nu)

- **Calcul fréquentiel basé sur 20 ans (2000 à 2020)**
 - Calcul des jours normalisés (JN) : selon la température et bilan hydrique du sol
 - Modélisation des courbes de minéralisation : variation en fonction des JN
 - Estimation de la minéralisation des fractions organiques des PRO
 - Cumul de l'azote minéralisé au cours du temps

ANALYSES DES RÉSULTATS DE LA SIMULATION D'APLSH

- **Identification des variables impactant l'APLSH des PRO**
- **Synthèse des données**
 - Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis
 - Simplification en 5 zones climatiques
 - Simplification en classes en fonction du C/N ; N minéral ; N total

Effet des paramètres de la modélisation sur la libération d'azote (APLHS)



Principales variables impactant l'APLSH

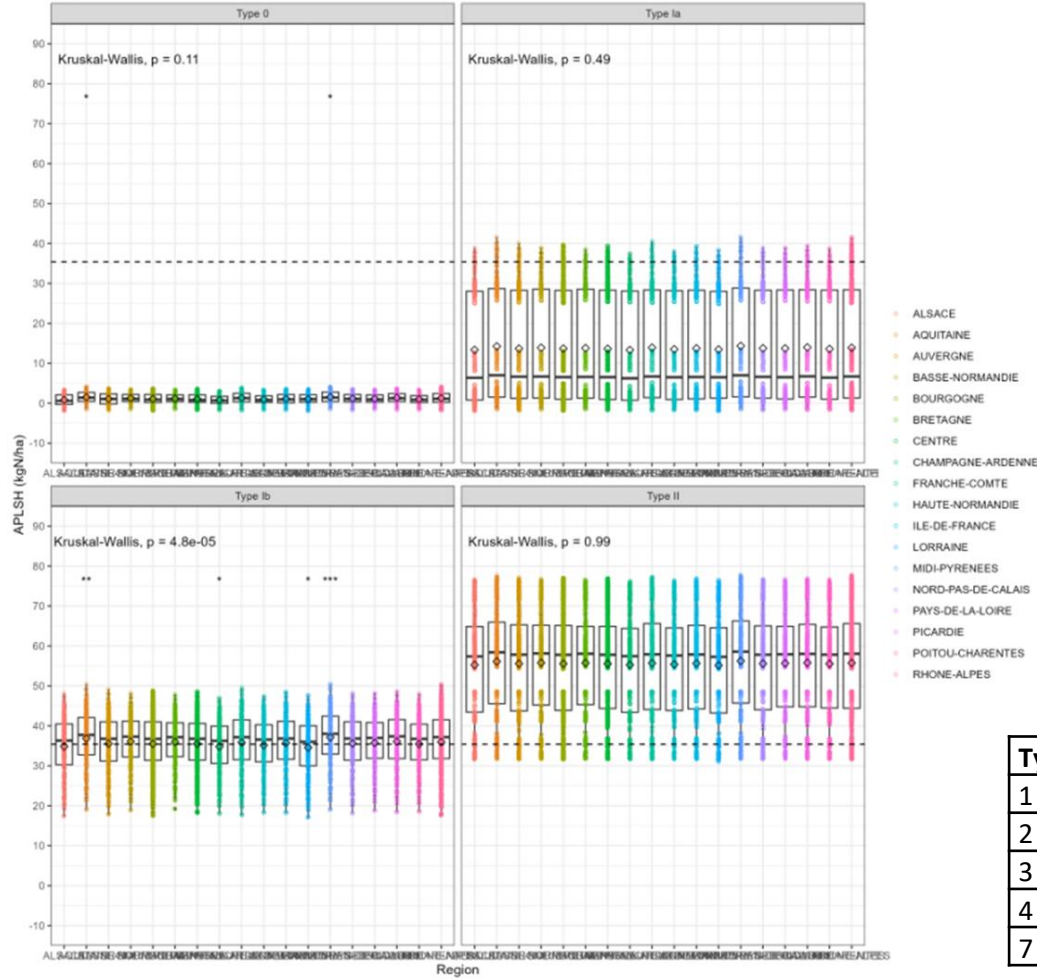
- Teneur en azote minéral du PRO
- Date d'apport
- Zone climatique

« %IncMSE » = *Per cent increase in MSE*

Calculé à partir de la différence entre l'Ecart-Type réel du modèle et un Ecart-Type aléatoire issu des calculs statistiques

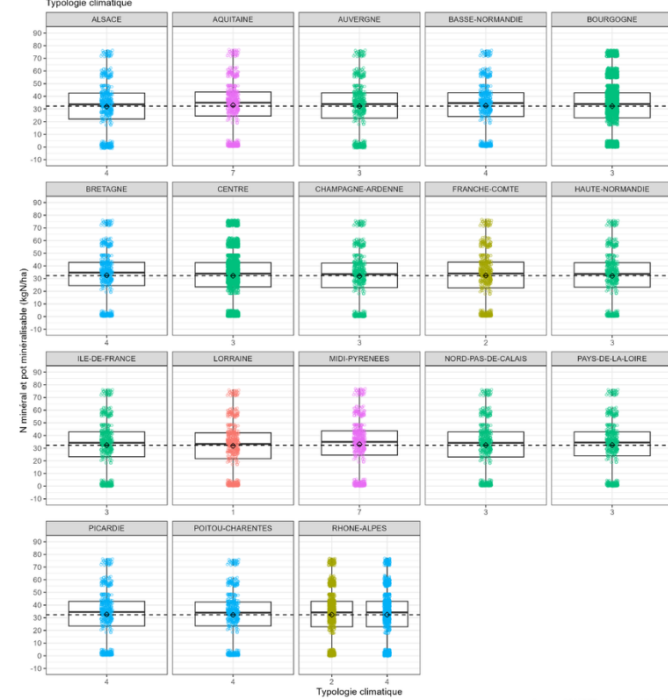
Synthèse des données par zone climatique

APLSH jusqu'à la sortie d'hiver
Region



Source : COMIFER ; version : 18/03/2024

N minéral et pot minéralisable jusqu'à la sortie d'hiver

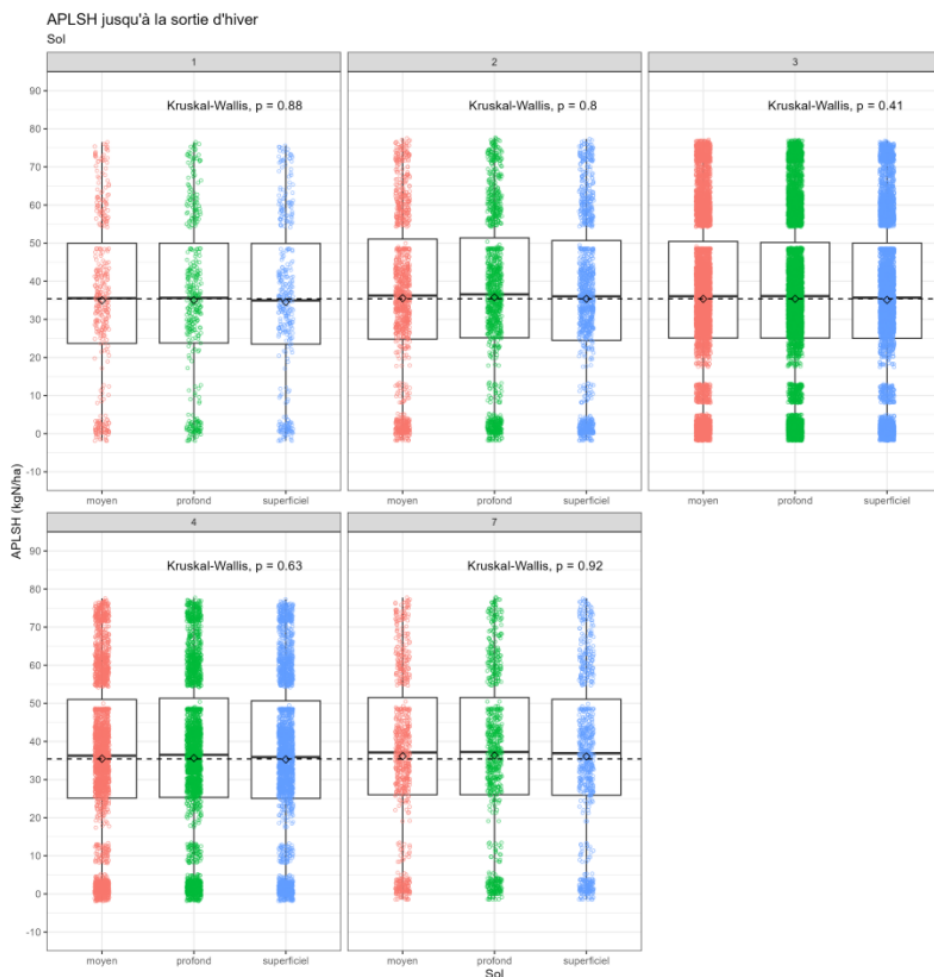


Source : COMIFER ; version : 24/06/2023

Type de climat	Nom
1	Montagne
2	Semi-continentale
3	Océanique dégradé des plaines du centre et du nord
4	Océanique altéré
7	Bassin du Sud-Ouest

Zones climatiques utilisées pour le regroupement des résultats

Effet de la profondeur du sol sur l'APLSH

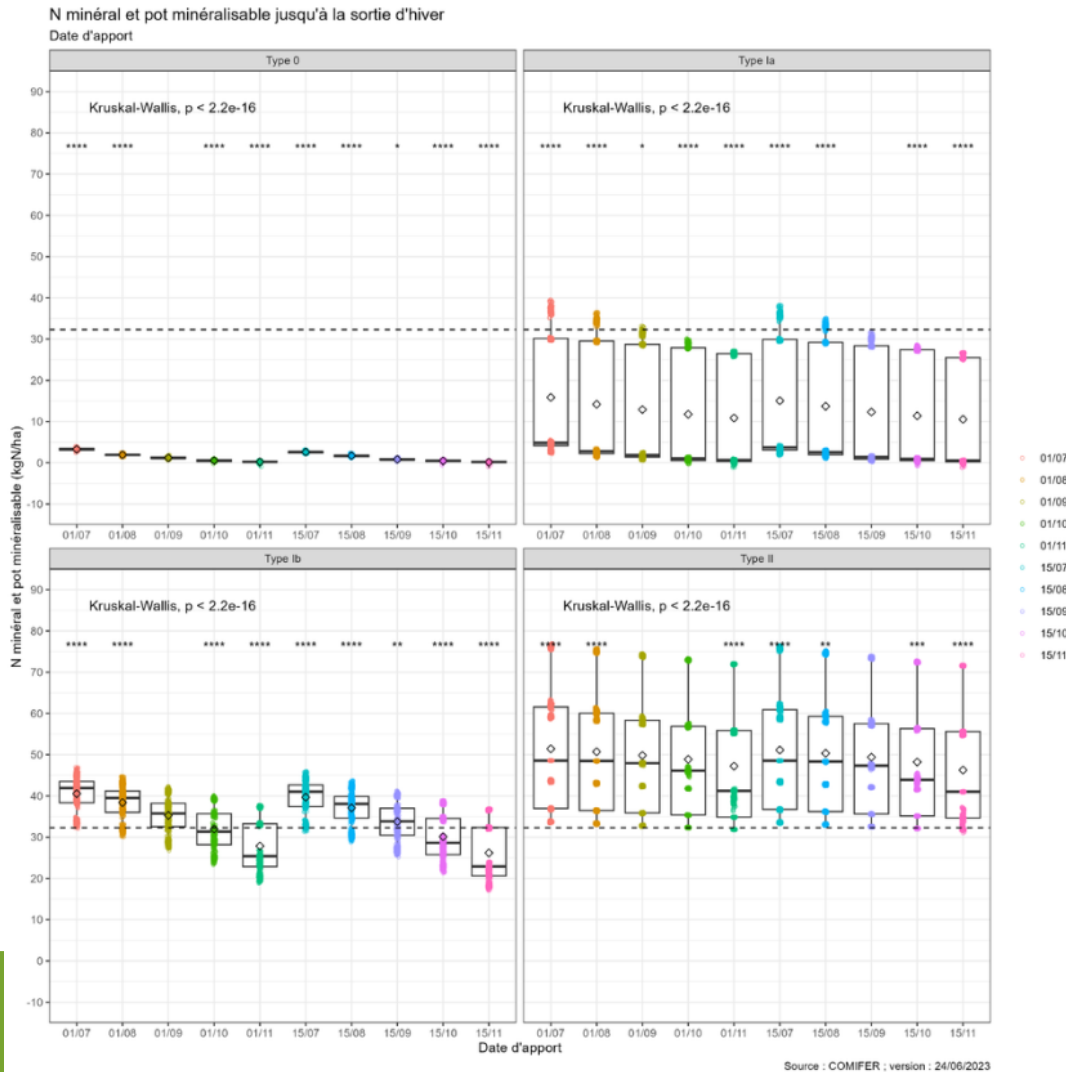


Pas de différences significatives liées à la profondeur du sol, quel que soit la zone climatique

La profondeur du sol n'a pas d'impact significatif sur l'APLSH

Source : COMIFER ; version : 18/03/2024

Effet de la date d'apport sur l'APLSH



La teneur en APLSH varie significativement en fonction des dates d'apport.

Ces variations sont plus marquées pour les PRO de type I.b

APLSH moins élevé pour les apports tardifs (faible minéralisation)

APLSH selon la dénomination du PRO : différences (en %) entre deux zones climatiques

Nom du Produit	bassin.du. Sud-Ouest	océanique.dégradé. des.plaines	bassin.du. Sud-Ouest	océanique.dégradé. des.plaines
	15-juil		15-août	
Boue mixte de papeteries C/N>35	5 (+/- 0,5)	5 (+/- 0,5)	5 (+/- 0,5)	5 (+/- 0,5)
Compost bovin	5 (+/- 0,5)	5 (+/- 0,5)	5 (+/- 0,5)	5 (+/- 0,5)
Compost de boues et de déchets verts 2	45 (+/- 2)	45 (+/- 2)	40 (+/- 2)	40 (+/- 2)
Compost de boues et de déchets verts 3	45 (+/- 6)	45 (+/- 6)	40 (+/- 6)	40 (+/- 6)
Compost de déchets verts jeunes et ligneux (peu mature)	5 (+/- 0,5)	5 (+/- 1)	5 (+/- 0,5)	5 (+/- 0,5)
Compost de fractions solides de digestats de méthanisation	10 (+/- 5,5)	10 (+/- 5,5)	10 (+/- 5,5)	10 (+/- 5,5)
Composts de lisier de porcs + pailles	35 (+/- 0,5)	30 (+/- 0,5)	30 (+/- 0,5)	30 (+/- 0,5)
Digestats brut de méthanisation 1	55 (+/- 20)	55 (+/- 20)	55 (+/- 20)	55 (+/- 19,5)
Digestats brut de méthanisation 2	65 (+/- 4,5)	65 (+/- 4)	65 (+/- 4)	65 (+/- 4)
Digestats brut de méthanisation 3	55 (+/- 9,5)	55 (+/- 9,5)	55 (+/- 9)	55 (+/- 8,5)
Fientes de poules pondeuses (stockage en fosses profondes)	50 (+/- 0)	50 (+/- 0,5)	50 (+/- 0,5)	50 (+/- 0,5)
Fraction liquide des digestats de méthanisation	55 (+/- 15)	55 (+/- 14,5)	55 (+/- 14,5)	55 (+/- 14)
Fumier de bovins, logettes paillée, aire couverte, stockage > 2 mois	40 (+/- 1,5)	40 (+/- 1,5)	40 (+/- 1)	40 (+/- 1)
Fumier de bovins, stockage < 2 mois	50 (+/- 2)	50 (+/- 1,5)	50 (+/- 1,5)	50 (+/- 1,5)
Fumier de porcs à l'engrais à base de paille	50 (+/- 1,5)	45 (+/- 1)	45 (+/- 1)	45 (+/- 1)
Fumier de poulets de chair (après stockage)	45 (+/- 1)	45 (+/- 1)	45 (+/- 1)	45 (+/- 1,5)
Lisier bovin, logettes, raclage en système couvert	65 (+/- 1)	65 (+/- 1)	65 (+/- 1)	65 (+/- 1)
Lisier mixte de porcs	80 (+/- 1)	80 (+/- 0,5)	80 (+/- 0,5)	80 (+/- 0,5)

Moyennes sur 20 ans

*Exprimées en % et
arrondies à 5%*

Type de climat	Nom
1	Montagne
2	Semi-continental
3	Océanique dégradé des plaines du centre et du nord
4	Océanique altéré
7	Bassin du Sud-Ouest

Zones climatiques

Calcul de la dose d'azote par rapport au seuil d'APLSH

- APLSH = Fraction minérale + fraction organique minéralisée
- Positionnement selon le type de PRO ou selon les valeurs de C/N, N total et N ammoniacal
- Identification du pourcentage d'APLSH en fonction de la date (ou période) d'épandage souhaitée

$$\text{Dose maximale d'azote total à apporter (kg N / ha)} = \left(\frac{70 \times 100}{\% \text{ azote potentiellement libéré jusqu'ensortie d'hiver}} \right)$$

Caractéristiques du PRO

Caractéristiques du PRO			Région climatique	Pourcentages		
C/N	N.ammoniacal (g/kg)	N.total (g/kg)		01-juil	15-juil	01-août
[0 ; 20[	[0 ; 1%[	[0 ; 5%[	océanique.altéré	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)
]10 ; 20]	[0 ; 1%[	[0 ; 5%[	océanique.altéré	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)
]10 ; 20]	[0 ; 1%[	[6% ; 9%[	océanique.altéré	10 (+/- 5)	10 (+/- 5)	10 (+/- 5)
]10 ; 20]	[1% ; 2%[	[0 ; 5%[	océanique.altéré	55 (+/- 14)	55 (+/- 14)	50 (+/- 14)
]10 ; 20]	[1% ; 2%[	[5% ; 6%[	océanique.altéré	50 (+/- 14)	50 (+/- 3,5)	50 (+/- 3,5)

Exemple de calcul

Pourcentage « p » = 50 % ↔ ALSH = 50%

Dose maximale d'azote à épandre :
X = ((70*100) / 50) = 140 kg N / ha

→ A convertir en produit brut

CONCLUSION

Travail préalable pour pallier le manque de références et accompagner la mise en œuvre du PAN7

Les pourcentages « p » d'APLSH fournis dans les tables de références permettent de calculer la dose maximale d'azote à ne pas dépasser pour respecter le seuil de 70 kg/ha d'APLSH en sortie d'hiver

L'APSLH est surtout impactée par la teneur en azote minéral du PRO, sa date d'apport et la cinétique de minéralisation du PRO

Les différences entre régions n'étant pas significatives, le regroupement en zones climatiques est réalisé pour éviter de gommer les effets du climat et du sol sur les jours normalisé et la minéralisation

LIMITES ET PERSPECTIVES

- Références indicatives et non exhaustives
 - Variabilité au sein d'une même typologie de PRO
 - Variabilité des sols / Variabilité climatique dans une même régions
- Moyennes climatiques sur 20 ans (de 2000 à 2020) : années particulières ou situations à risque non prises en compte
- Certaines zones climatiques sont peu ou pas représentées
- Mise en œuvre du PAN à court terme / Travaux complémentaires à prévoir selon les besoins et après les premiers retours d'expérience au niveau régional



**MERCI POUR
VOTRE ATTENTION**

