

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 Aurélie – 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
 - Encadrement des apports de fertilisants sur les couverts d'interculture et sur les prairies (période été/automne)

PROBLÉMATIQUE

Encadrement des apports de fertilisants sur les couverts d'interculture et sur les prairies (période été/automne)

- Introduction de la notion d'azote potentiellement libéré jusqu'en sortie d'hiver (APLSH)
- Plafond à ne pas dépasser : 70 kg N/ha (100 kg/ha si l'innocuité de la pratique est démontrée en région)
- Manque de références pour calculer les doses d'azote équivalentes à ce nouveau plafond



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

PROBLÉMATIQUE

Demande du MASA au COMIFER

- Clarifier la notion d'APLSH par rapport à l'existant (azote efficace et Kéq N)
- Produire des références d'APLSH pour accompagner la mise en œuvre de la réglementation qui a évolué malgré l'absence de références



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Propositions COMIFER

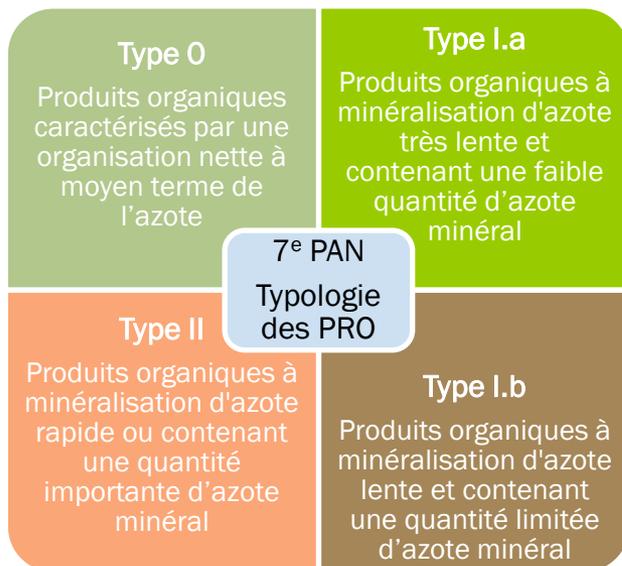
- Établir une liste de produits organiques représentant les 4 types de PRO du PAN7 et représentatif des différentes dynamiques de minéralisation des PRO
- Estimer, avec un modèle, l'azote potentiellement libéré par ces PRO sur la période été/automne
- Proposer des références nationales, en pourcentage 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

L'APLSH : DÉFINITION ET 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



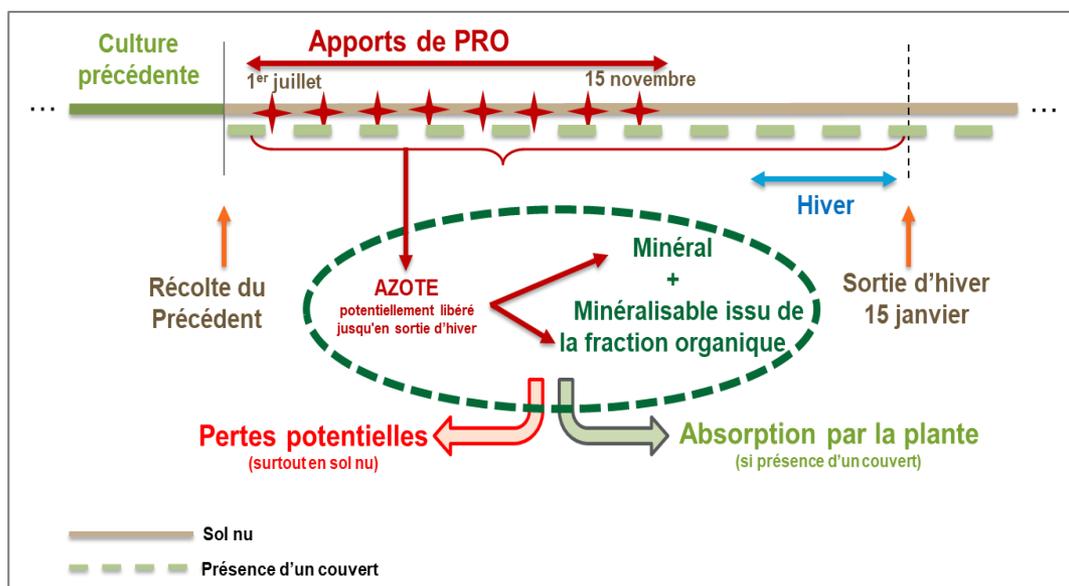
Type 0	Type I.a	Type I.b	Type II
Boues de papeterie, marcs de raisins frais, composts de déchets verts jeunes et ligneux	Fumiers compacts non susceptibles d'écoulement et composts d'effluents d'élevage à l'exception des composts de fientes de volailles. Compost de fractions solides de digestats de méthanisation.	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

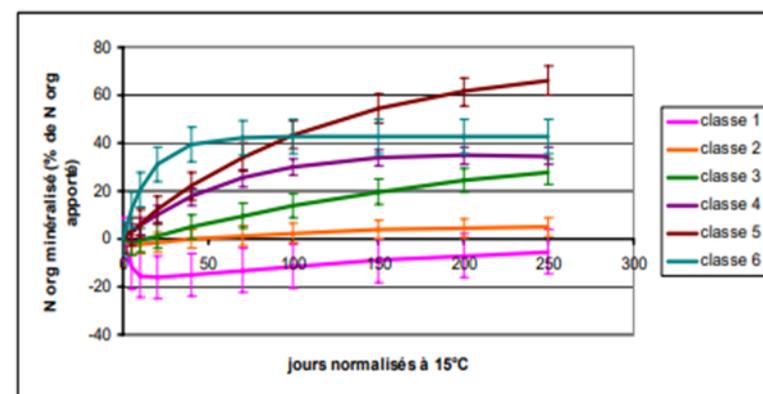
Valeurs guides	Fertilisants de type 0	Fertilisants de type I.a	Fertilisants de type I.b	Fertilisants de type II
C/N*	> 20	> 10	> 8	Tout effluent qui n'entre pas dans les catégories précédentes
Nmin/Ntot	< 20 %		< 40 %	
ISMO	Sans objet	> 70 % MO	> 50 % MO	

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)



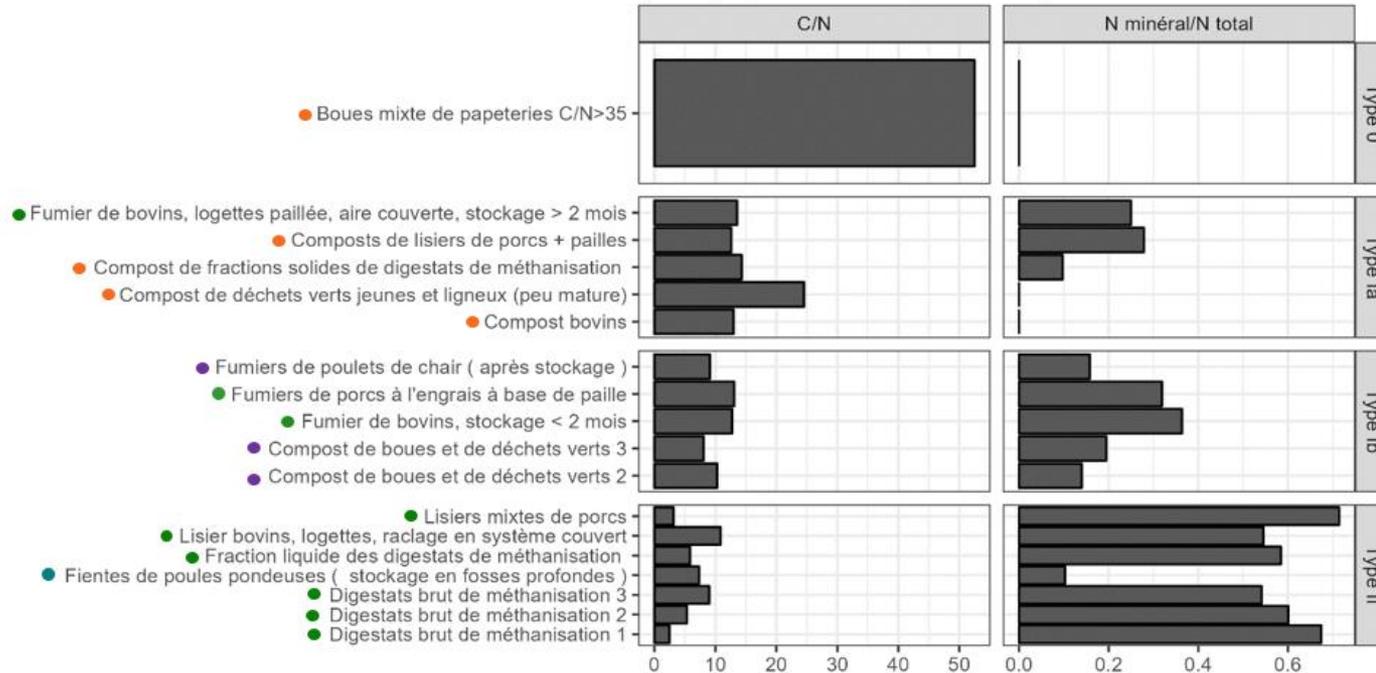
Représentation schématique de la notion d'APLSH



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

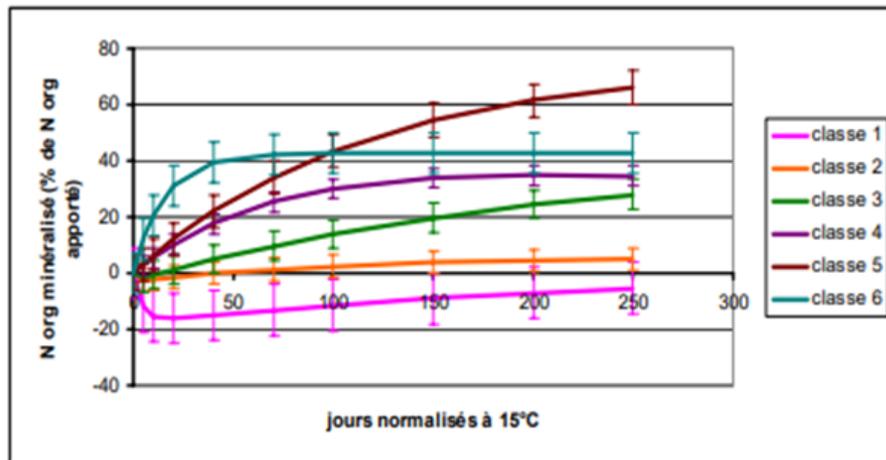
→ Caractéristiques des produits organiques et dates d'apport

[NDispo] caractéristiques des produits



18 Fertilisants organiques

- Organisation
- Minéralisation très lente
- Minéralisation à vitesse moyenne
- Minéralisation rapide



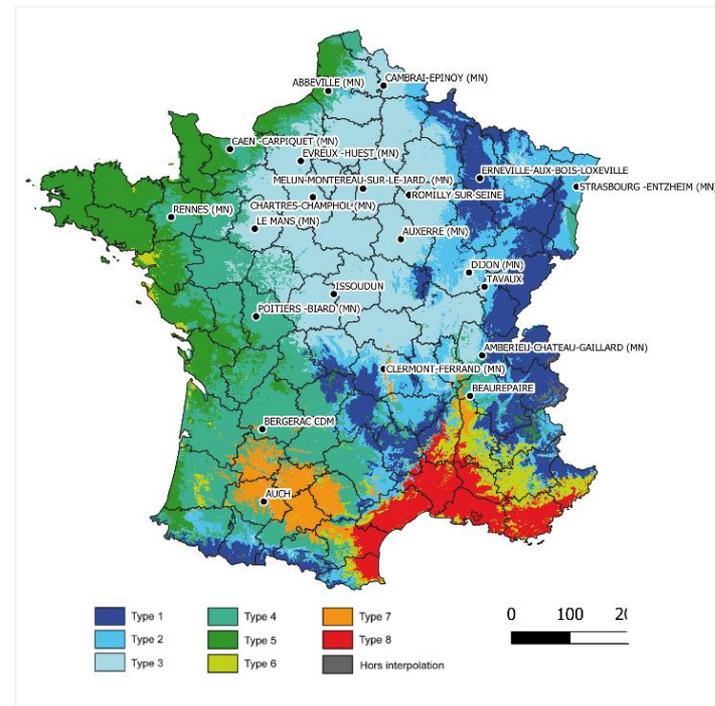
Cinétiques de minéralisation des PRO, sur la base de mesures réalisés au champ (Bouthier et al. 2009)

→ Données pédoclimatiques

- **Les climats : 21 stations météorologiques**
 - Pluviométrie, humidité et température du sol
 - Variabilité climatique sur une période de 20 ans
 - Estimation des jours normalisés
- **Les sols : profonds / moyens / superficiels**

Caractéristiques du sol impactant l'humidité de l'horizon minéralisant

- 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

63
Combinaisons
site*sol

Sol nu

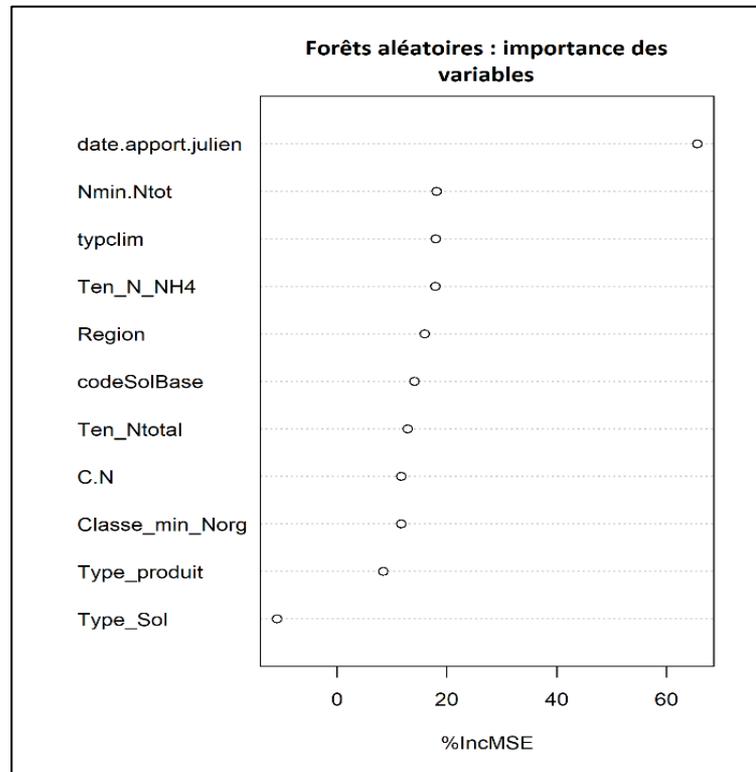
- **Modèle CHN (Arvalis) / Stocks et flux de carbone, eau et azote**
 - Base de données « météo »
 - Base de données « sols »
 - Base de données PRO
 - Aucune culture en place (sol nu)

- **Calcul fréquentiel basé sur 20 ans (2000 à 2020)**
 - Calcul des jours normalisés (JN)
 - Variation selon température et bilan hydrique du sol
 - Modélisation des courbes de minéralisation qui varient 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

- **Identification des variables impactant la teneur en APLSH des PRO**
- **Regroupement des références en grandes zones climatiques (stations météorologiques / sols) sur la base des variables d'intérêt**
 - Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis
 - Simplification en 5 zones climatiques
 - Simplification en classes selon les pourcentages de C/N ; N minéral (g/kg) ; N total (g/kg).

Effet des variables sur l'azote partiellement libéré jusqu'en sortie d'hiver



Principales Variables impactant l'APLSH

→ Teneur en azote minéral du PRO

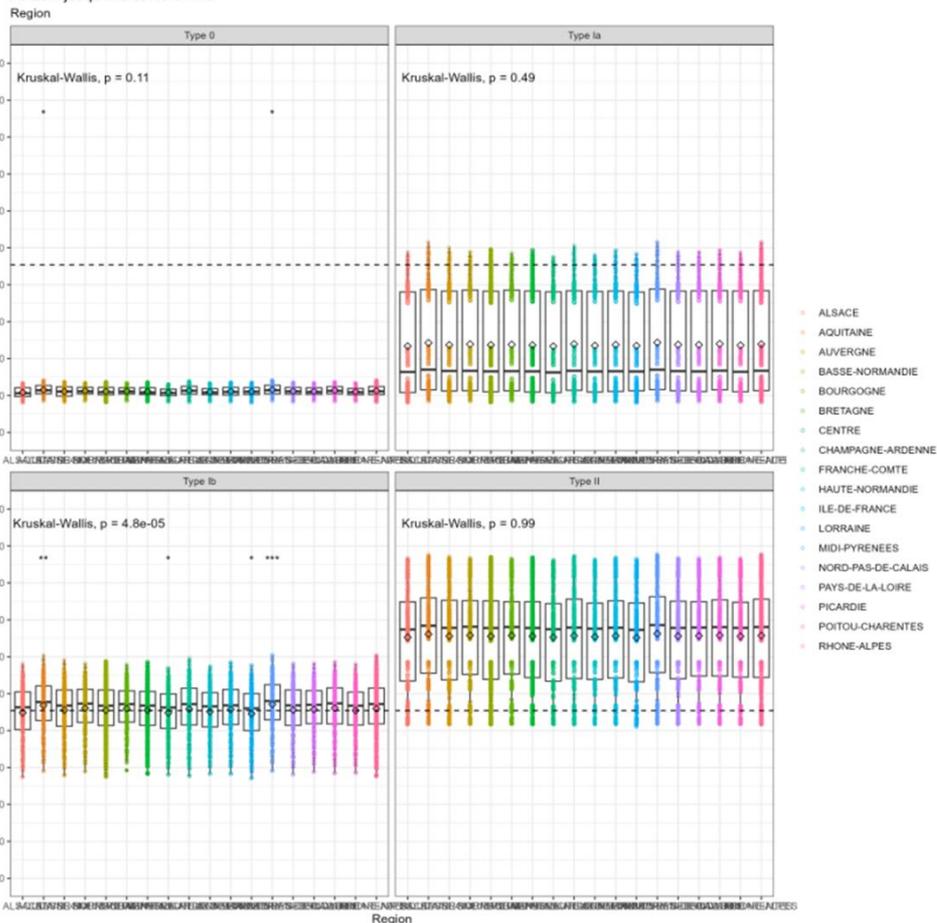
→ Date d'apport

→ Zone climatique

RÉSULTATS

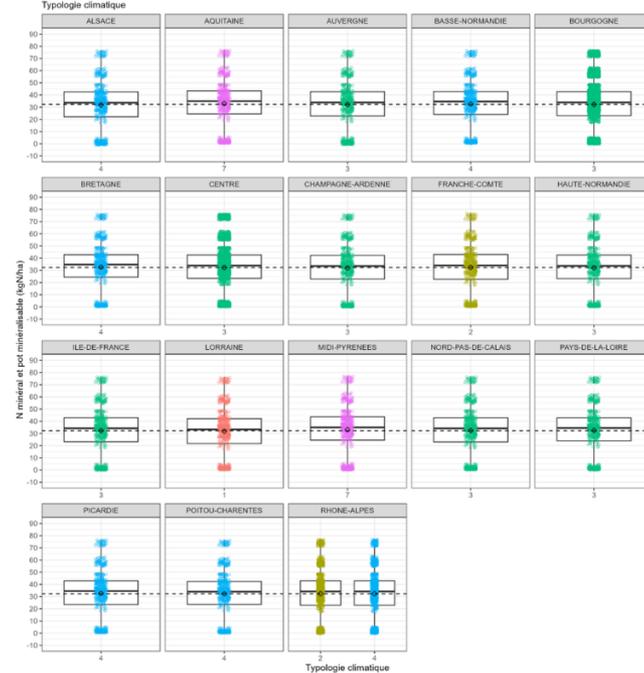
Regroupement des références d'APLSH selon les zones climatiques

APLSH jusqu'à la sortie d'hiver



Source : COMIFER : version : 18/03/2024

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

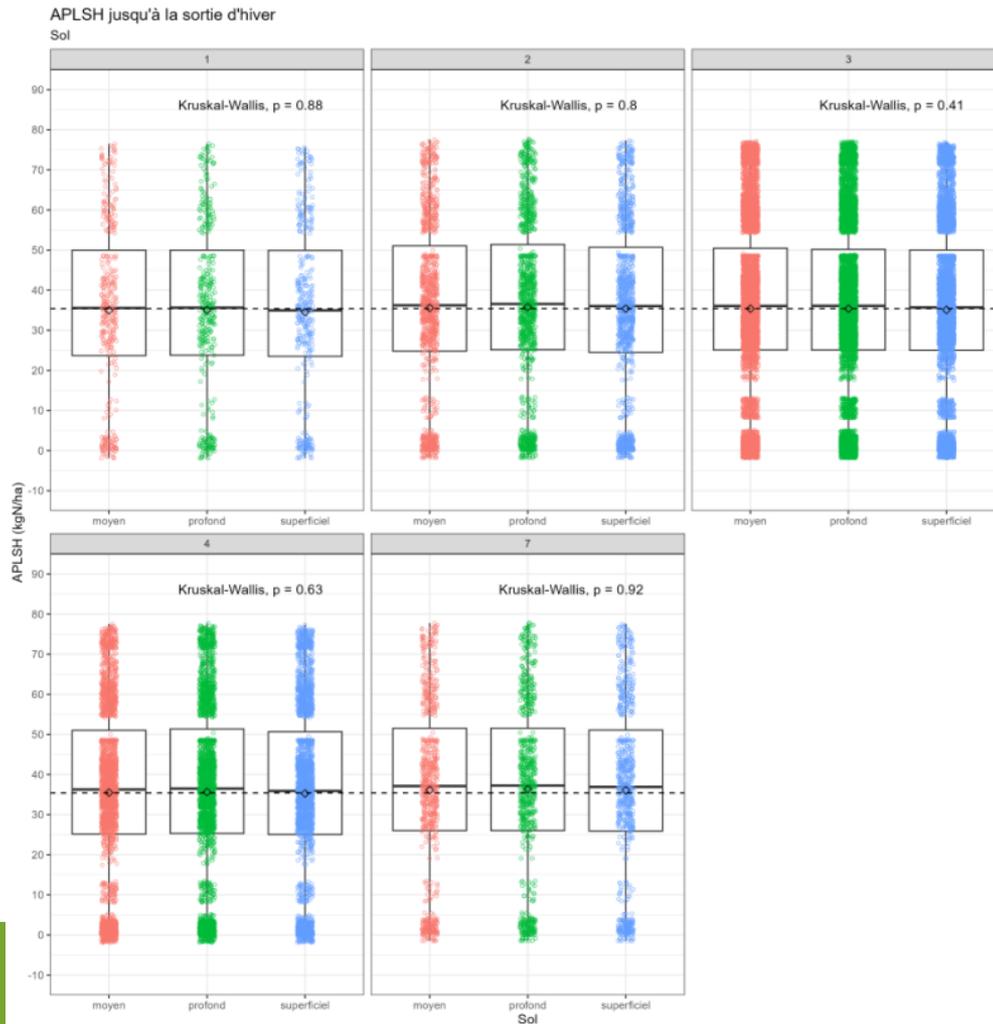


Source : COMIFER : version : 24/06/2023

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 (selon présence des stations météo)

Effet de la profondeur du sol sur l'APLSH

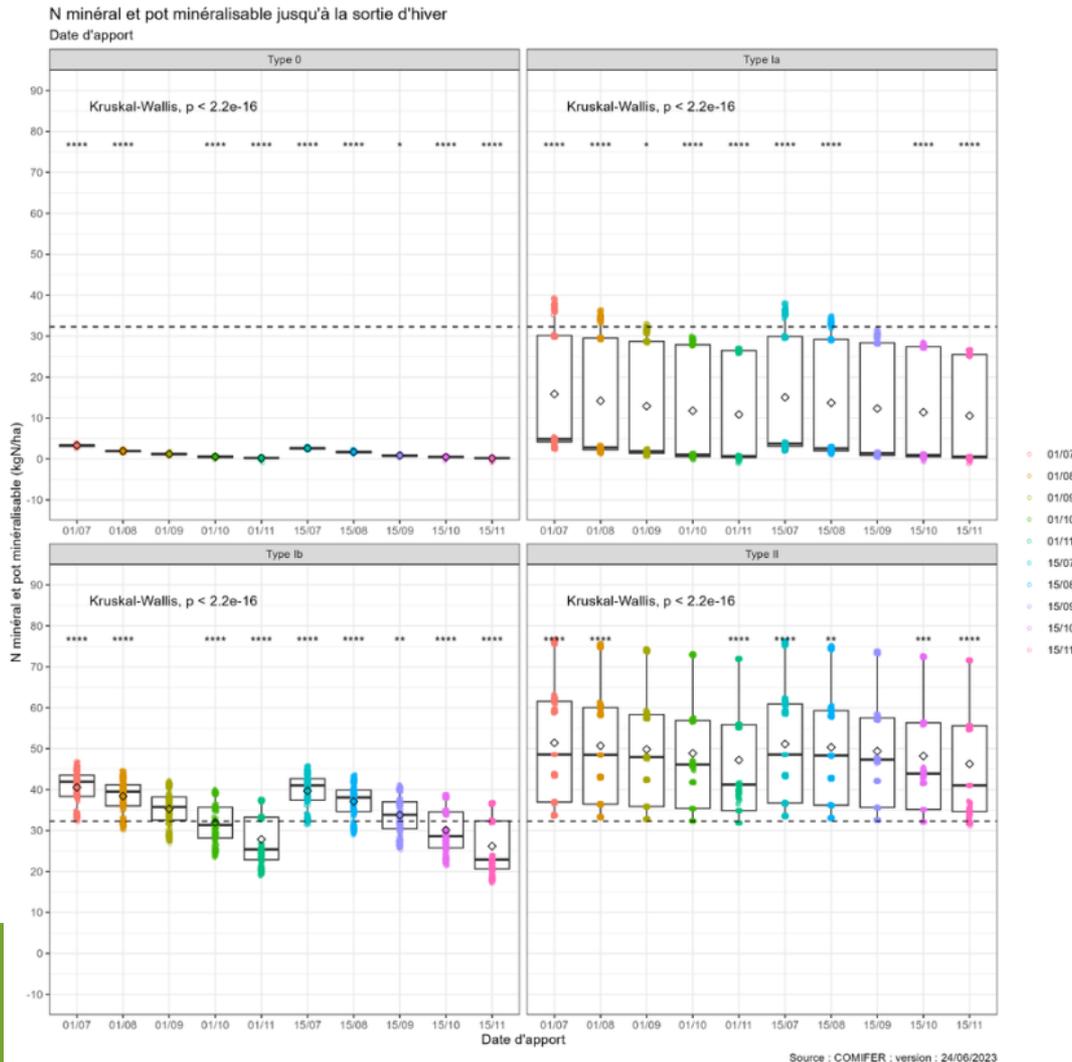


Les résultats entre sols de profondeurs différentes ne sont pas significativement différents, quelle que soit la zone climatique

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

RÉSULTATS

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

RÉSULTATS

Références selon les noms des PRO : Différences d'APLSH (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)

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

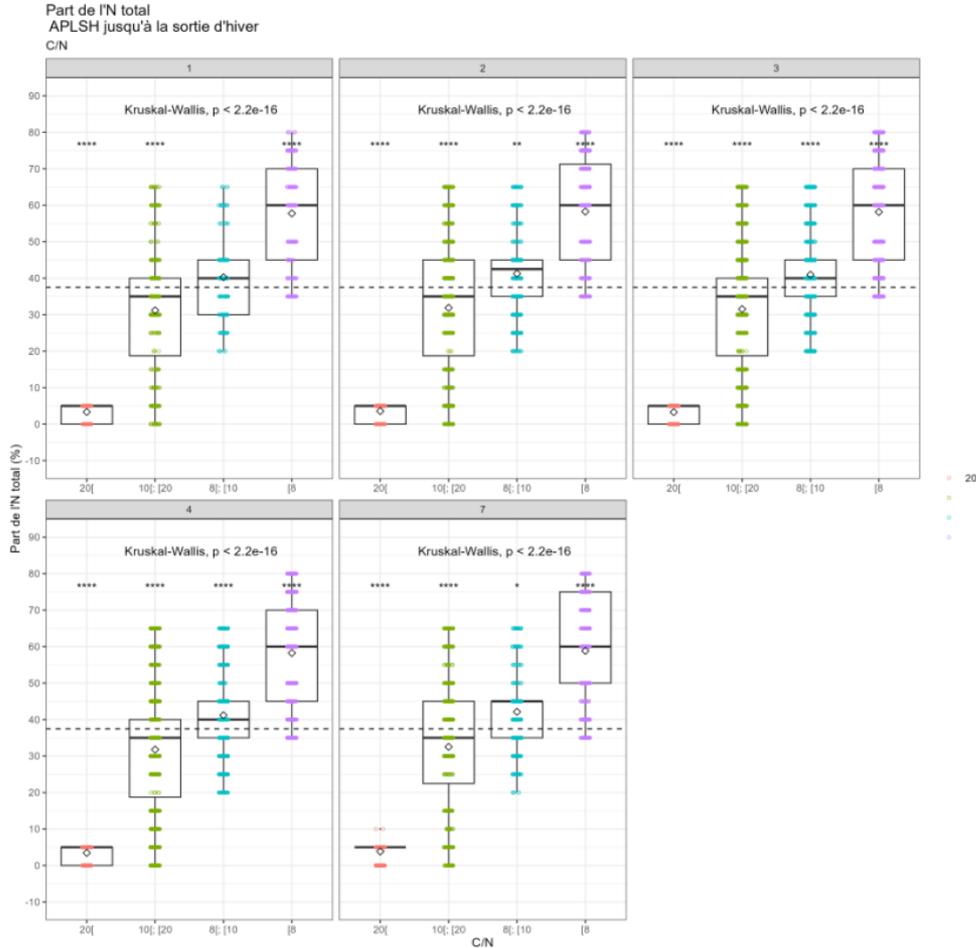
Zones climatiques utilisées pour le regroupement
des résultats (selon présence des stations météo)

Moyennes sur 20 ans

Exprimées en % et arrondies à 5%

RÉSULTATS

Classification des PRO par classe de C/N, N total et N ammoniacal



Source : COMIFER ; version : 18/03/2024

Bornes de classification

C/N

N total

N
ammoniacal (NH₄)

]20% - ... [

[0% - 5%[

[0% - 1%[

]10% - 20%]

[5% - 6%[

[1% - 2%[

]8% - 10%]

[6% - 9%[

[2% - 3%[

[0% - 8%]

[9% - ... [

[3% - ... [

RÉSULTATS

Références selon les caractéristiques des PRO : Différences d'APLSH (en %) entre deux zones climatiques

Caractéristiques du PRO			bassin.du.Su d-Ouest	océanique.dégradé.de s.plaines	bassin.du.Su d-Ouest	océanique.dégradé.des. plaines
C/N	N.ammoniacal (g/kg)	N.total (g/kg)	15-juil		15-août	
[20 ; ..[	[0 ; 1%[	[0 ; 5%[	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)
]10 ; 20]	[0 ; 1%[	[0 ; 5%[	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)	5 (+/- 2)
]10 ; 20]	[0 ; 1%[	[6% ; 9%[	10 (+/- 5,5)	10 (+/- 5)	10 (+/- 5,5)	10 (+/- 5)
]10 ; 20]	[1% ; 2%[	[0 ; 5%[	55 (+/- 14)	55 (+/- 14)	55 (+/- 14)	50 (+/- 14)
]10 ; 20]	[1% ; 2%[	[5% ; 6%[	50 (+/- 4)	50 (+/- 3,5)	50 (+/- 4)	45 (+/- 3,5)
]10 ; 20]	[1% ; 2%[	[6% ; 9%[	35 (+/- 1,5)	30 (+/- 1,5)	30 (+/- 1,5)	30 (+/- 1,5)
]10 ; 20]	[2% ; 3%[	[9% ; ...[	45 (+/- 6,5)	45 (+/- 6)	45 (+/- 6,5)	40 (+/- 6)
]8 ; 10]	[2% ; 3%[	[9% ; ...[	45 (+/- 7)	45 (+/- 6,5)	45 (+/- 7)	40 (+/- 6,5)
]8 ; 10]	[3% ; ...[	[6% ; 9%[	55 (+/- 9)	55 (+/- 8,5)	55 (+/- 9)	55 (+/- 8,5)
]8 ; 10]	[3% ; ...[	[9% ; ...[	45 (+/- 8)	45 (+/- 8)	40 (+/- 8)	40 (+/- 8)
]0 ; 8[	[2% ; 3%[	[0 ; 5%[	75 (+/- 7,5)	75 (+/- 7,5)	75 (+/- 7,5)	70 (+/- 7,5)
]0 ; 8[	[3% ; ...[	[6% ; 9%[	55 (+/- 17)	55 (+/- 16,5)	55 (+/- 17)	55 (+/- 16,5)
]0 ; 8[	[3% ; ...[	[9% ; ...[	50 (+/- 4)	50 (+/- 4,5)	50 (+/- 4)	50 (+/- 4,5)

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

Moyennes sur 20 ans

Exprimées en % et arrondies à 5%

Zones climatiques utilisées pour le regroupement
des résultats (selon présence des stations météo)

RÉSULTATS

→ Identification du pourcentage d'APLSH du PRO selon la date d'apport

→ Tables de références

- Positionnement
 - selon la dénomination (ou le type de produit)
 - selon les valeurs de C/N, N total et N ammoniacal
- Date d'épandage souhaité par l'opérateur
- Détermination du pourcentage d'APLSH correspondant (+ écart type associé)

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 (+/- 3,5)	50 (+/- 3,5)	50 (+/- 3,5)

RÉSULTATS

- Calcul de la dose d'azote à apporter pour respecter le seuil d'APLSH
- APLSH = Fraction minérale + fraction organique minéralisée
 - Pourcentage par rapport à l'azote total apporté par le PRO (résultats arrondis à 5% pour plus d'opérationnalité)

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

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 (+/- 3,5)	50 (+/- 3,5)	50 (+/- 3,5)

Exemple de calcul

Pourcentage « p » = 50 % ↔ ALSH = 50%

Dose maximale d'azote à épandre :
 $X = ((70 \times 100) / 50) = 140 \text{ kg N / ha}$

→ 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