



Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée

# Azote potentiellement libéré jusqu'en sortie d'hiver

## Modélisation et Estimation

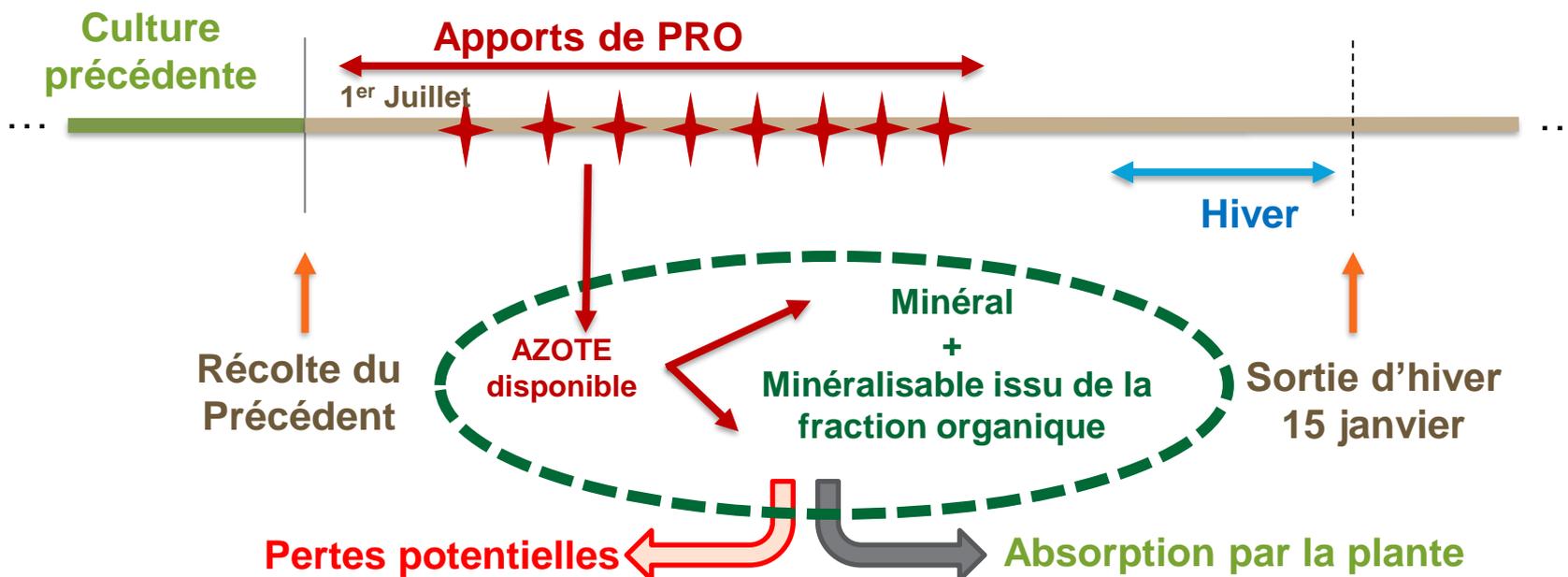
# CONTEXTE ET OBJECTIFS

- Mise en œuvre de la directive Nitrates : révision de la mesure 1 du PAN (PAN7)
  - Introduction de la notion d'azote potentiellement libéré jusqu'en sortie d'hiver (nouvelle formulation en juin 2022)
  - Absence de références pour son estimation
  - Interrogations sur les conditions de mise en œuvre de cette mesure
- **Besoins exprimés** : fournir un cadre conceptuel et des références permettant aux agriculteurs de raisonner leurs apports pour mieux respecter les nouvelles prescriptions réglementaires
- **Objectifs** :
  - Produire des références nationales d'azote potentiellement libéré jusqu'en sortie d'hiver en fonction de différents contextes pédoclimatiques (simulation des cinétiques de minéralisation des PRO de référence)
  - Proposer un méthode d'estimation facile à mettre en œuvre par les utilisateurs

# DÉFINITION

PAN 7: « somme de l'azote présent dans un fertilisant azoté sous forme minérale et sous forme organique minéralisable jusqu'à la sortie de l'hiver »

→ Estimée à partir des apports réalisés entre la récolte du précédent et la sortie d'hiver (15/01)



# DÉFINITION

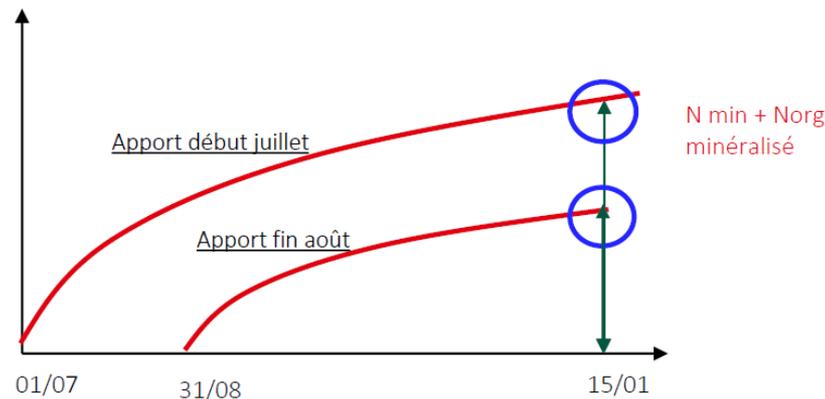
→ **Apports réalisés entre la récolte du précédent et la sortie d'hiver (15/01)**

- Varie en fonction de :
  - la date d'apport
  - la nature du produit organique :
    - C/N, N minéral etc.,
    - la cinétique de minéralisation du produit organique
    - les classes du PAN7
  - Des contextes pédoclimatiques (type de sol, climat)

# DÉFINITION

**PAN 7 : plafonds d'azote potentiellement libéré en sortie d'hiver** (Dose maximale totale apportée au second semestre)

- **70 kg / ha**, à compter de la récolte du précédent, en **cumulant les apports de type 0, I, II et III.**
- **100 kg / ha** pour les plan d'épandage soumis à autorisation et à étude d'impact ou d'incidence



→ quantité minéralisée à la fin de l'hiver variable selon la date d'apport  
Mais aussi selon le contexte pédoclimatique : effet jours normalisés

# MATÉRIELS ET MÉTHODES

- **Des bases de données**
  - Produits organiques de référence
  - Listes de stations météo (+ position géographique)
  - Types de sols associés aux stations météo (étude sur sol nu)
- **Un plan de simulation** : expérimentation virtuelle (à défaut de la mise en œuvre d'essais de longue durée)
  - Choix des contexte agronomique et pédoclimatique (basé sur études ACTA 2020; outil STICS; et des exemples par grande région)
  - 20 années climatiques (2001 à 2020) => utiliser les moyennes
  - Simulation des cinétiques de minéralisation de PRO de référence
  - 11 dates d'apport, entre le 1<sup>e</sup> juillet et le 15 janvier (par quinzaine)
  - Sortie d'hiver : le 15 janvier
- **L'outil CHN** : un modèle de culture d'ARVALIS, utilisé pour simuler la cinétique de minéralisation des PRO et estimer la quantité d'azote minéralisé issu du produit organique (MhPRO)
- **Traitement statistique des résultats** de la simulation (**logiciel R**)
  - Premiers résultats sur sol nu

# LES PRODUITS ORGANIQUES

Typologie PAN7	Nom Produit	Forme	N_total	N_NH4	C_total	C/N
<b>Type 0</b>	Boues mixtes de papeteries C/N>35	solide	2,00	0,00	105,00	52,50
<b>Type 0</b>	Effluents de féculeries	liquide	0,77	0,16	43,80	56,59
<b>Type Ia</b>	Fumier de bovins, logettes paillée, aire couverte, stockage > 2 mois	solide	4,80	1,20	65,00	13,54
<b>Type Ia</b>	Compost de lisiers de porcs + pailles	solide	6,10	1,70	77,00	12,62
<b>Type Ia</b>	Vinasse viticole	solide	13,00	2,30	130,00	10,00
<b>Type Ib</b>	Fumier de porcs à l'engrais à base de paille	solide	9,40	3,00	123,00	13,09
<b>Type Ib</b>	Fumier de bovins, stockage < 2 mois	solide	5,50	2,00	70,00	12,73
<b>Type Ib</b>	Compost bovins	solide	5,00	0,00	65,00	13,00
<b>Type II</b>	Fumier de poulets de chair (après stockage)	solide	15,20	2,40	138,50	9,11
<b>Type II</b>	Boue de malterie	solide	11,26	1,75	51,46	4,57
<b>Type II</b>	Lisier bovins, logettes, raclage en système couvert	Liquide	2,20	1,20	23,91	10,87
<b>Type II</b>	Lisiers mixtes de porcs	liquide	3,50	2,50	11,00	3,14

# LES CONTEXTES PÉDOCLIMATIQUES (SOLS / CLIMATS)

21 stations météo, 19 départements (anciennes régions administratives), 20 années climatiques



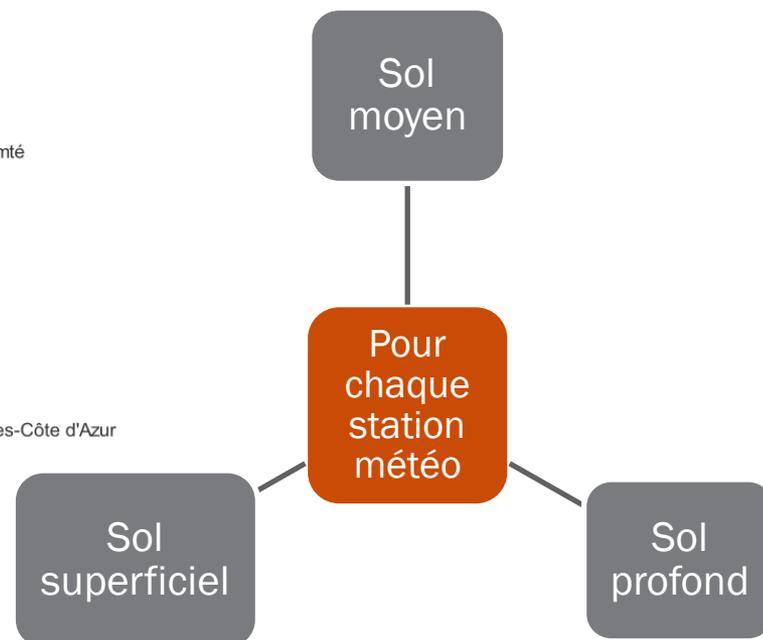
Alsace;  
Aquitaine;  
Auvergne;  
Basse-Normandie;  
Bourgogne;  
Bretagne;  
Centre;  
Champagne-Ardenne;  
Franche-Comté;  
Haute-Normandie;  
Ile-de-France;  
Lorraine;  
Midi-Pyrénées;  
Nord-Pas-de-Calais;  
Pays-de-la-Loire;  
Picardie;  
Poitou-Charentes;  
Rhône-Alpes.

# LES CONTEXTES PÉDOCLIMATIQUES (SOLS / CLIMATS)

21 stations météo, 19 départements (anciennes régions administratives), 20 années climatiques

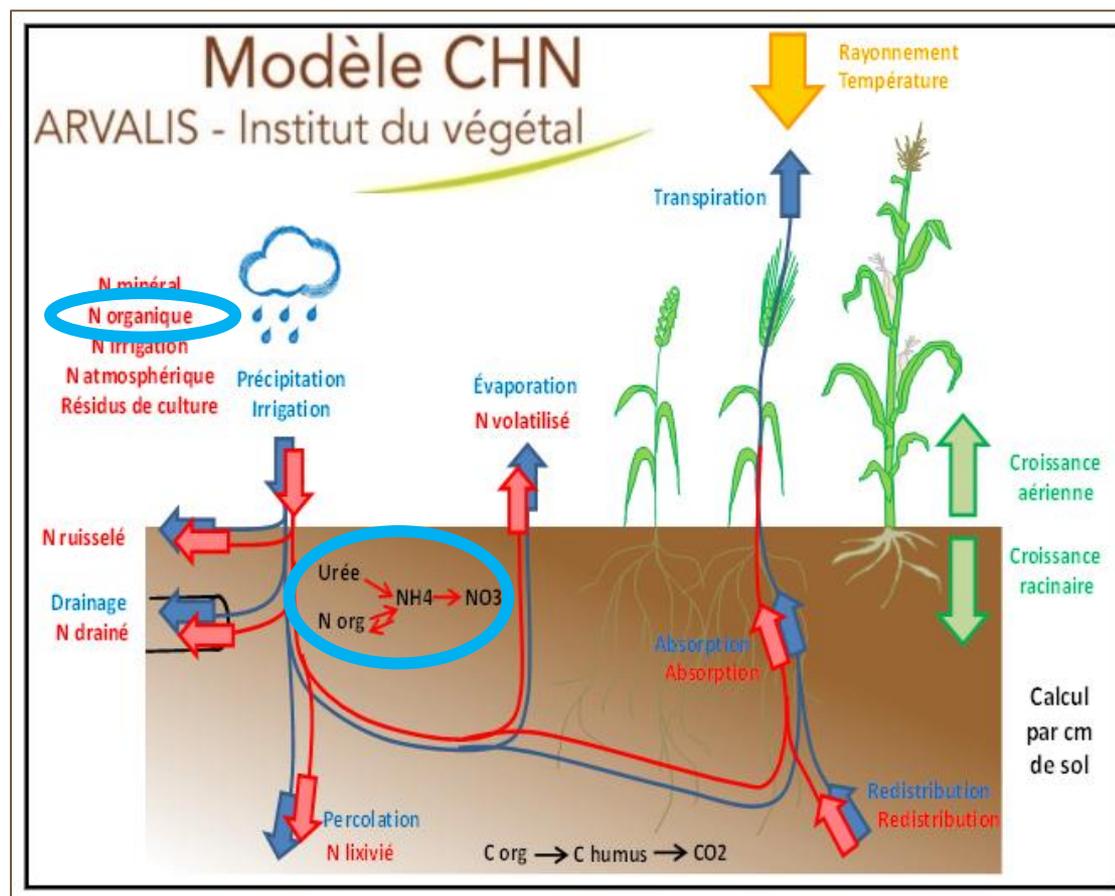


Majorité de sols limoneux et limoneux-argileux



## LE MODÈLE DE CULTURE CHN

- **Nécessite la caractérisation de la parcelle**
  - Informations sur le sol
  - La position géographique de la parcelle (données climatiques)
  - Itinéraire technique (couverture du sol, fertilisants, etc.)
- **Permet d'accéder à des variables agronomiques majeures**
  - Etat hydrique de la parcelle
  - Flux d'azote dans le système
    - Absorption
    - Minéralisation
    - Drainage
    - Lixiviation
    - Etc.



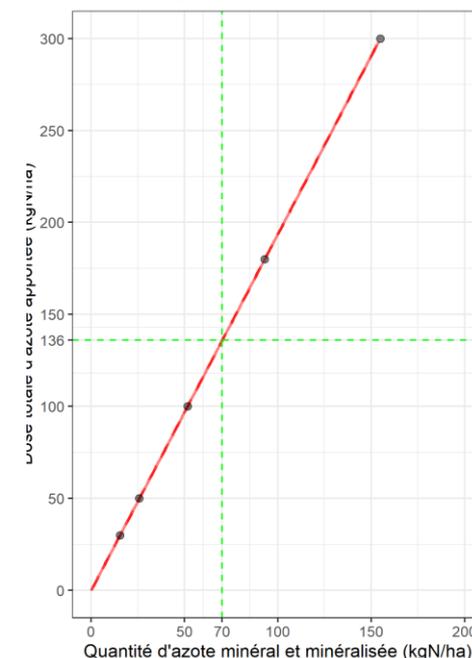
# Azote potentiellement libéré jusqu'en sortie d'hiver

## RÉSULTATS

- **Estimation de la teneur en *APLSH* (fichiers Excel)**
  - Par type de sol (profond, moyen, superficiel)
  - Par département (19 anciennes régions administratives; position des station météo)
  - Par catégorie de produits organiques (typologie du PAN7)
- **Estimation de la dose d'N total maximale à apporter pour ne pas dépasser le plafond d'*APLSH* pour un type de fertilisant donné, une date d'apport, un type de sol (fichiers Excel)**
  - Régression linéaire, paramétré par type de PRO, par date et par site : estimation de la quantité d'APLSH en fonction de la quantité d'N total dans le produit organique
- **Représentation Graphiques des**
  - Par type de sol
  - Par département
  - Par produit organique

[NDispo] Modélisation de la dose totale d'azote (organique plus minérale) du PRO par rapport à la quantité d'azote minérale et minéralisée entre la date d'apport et début janvier de l'année suivante (moyenne 2001-2021)

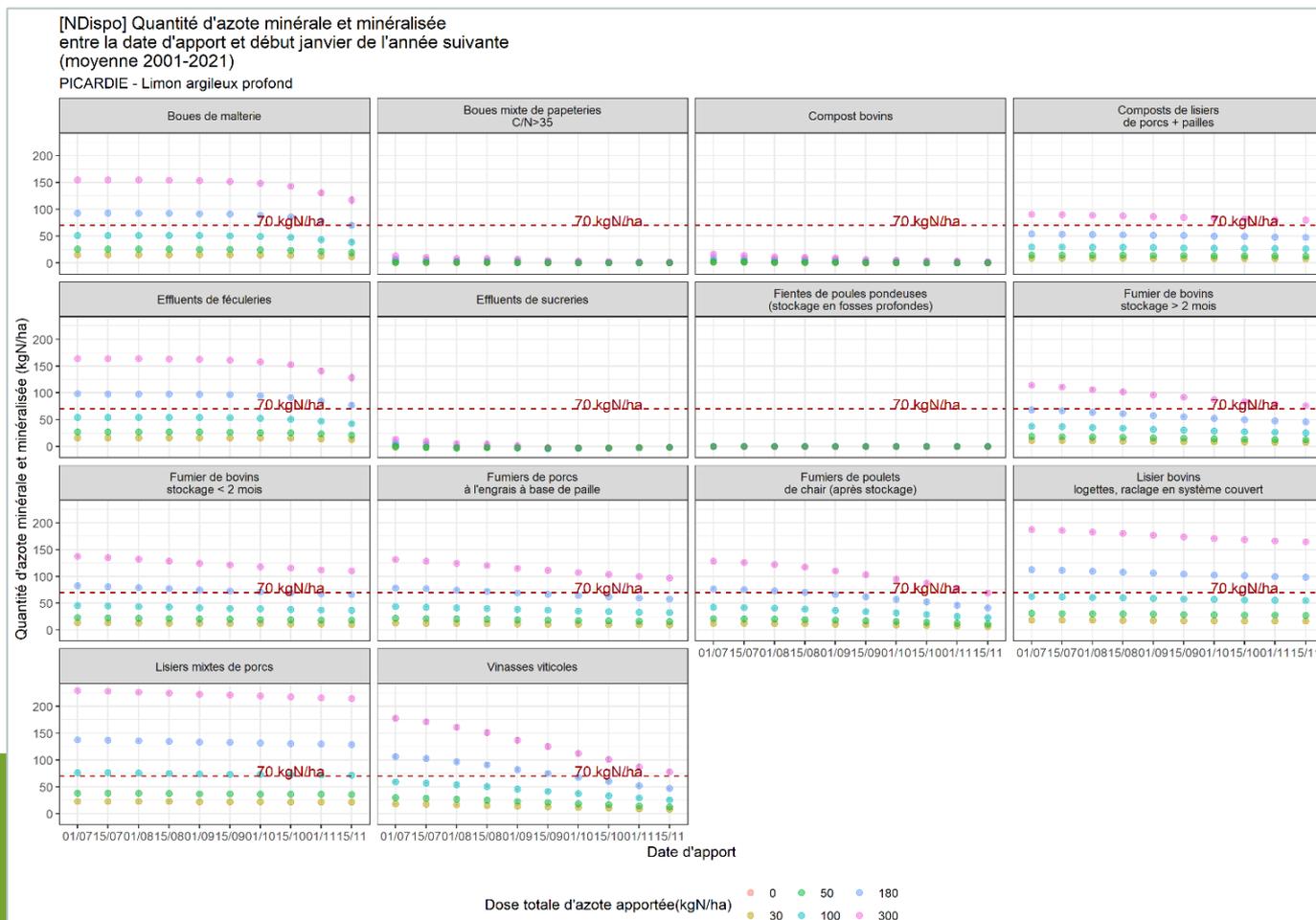
ALSACE - AL0036002  
Boues de malterie - 01/07 - LIN



# Azote potentiellement libéré jusqu'en sortie d'hiver

Evolution des teneurs en APLSH en fonction du temps.

En rouge, la limite réglementaire de 70kg



Par département

Pour chaque  
fertilisant simulé

# Azote potentiellement libéré jusqu'en sortie d'hiver

## EXEMPLE DES RÉFÉRENCES RÉGIONALES

Dose max N tot. à apporter, selon la date d'apport, pour ne pas dépasser les 70 kg

### APLSH

Dose totale d'azote en kg/ha à apporter pour ne pas dépasser la limite des 70 kg	01-juil	15-juil	01-août	15-août	01-sept	15-sept	01-oct	15-oct	01-nov	15-nov
Boues de malterie	140	140	140	140	140	140	140	140	160	170
Boues mixte de papeteries C/N>35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Compost bovins	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Composts de lisiers de porcs + pailles	230	230	240	240	240	250	250	250	260	260
Effluents de féculeries	130	130	130	130	130	130	130	140	150	160
Boulbènes superficielles Fumier de bovins, logettes paillée, aire couverte, stockage > 2 mois	180	190	200	200	220	220	230	250	260	270
Fumier de bovins, stockage < 2 mois	150	150	160	160	170	170	180	180	190	190
Fumiers de porcs à l'engrais à base de paille	160	160	170	170	180	190	190	200	210	210
Fumiers de poulets de chair ( après stockage )	160	170	170	180	190	200	210	230	260	290
Lisier bovins, logettes, raclage en système couvert	110	110	110	120	120	120	120	120	130	130
Lisiers mixtes de porcs	90	90	90	90	90	90	100	100	100	100
Vinasses viticoles	120	120	130	140	150	160	180	200	230	260
% d'APLSH en fonction de la date d'apport	01-juil	15-juil	01-août	15-août	01-sept	15-sept	01-oct	15-oct	01-nov	15-nov
Boues de malterie	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	44%	41%
Boues mixte de papeteries C/N>35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Compost bovins	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Composts de lisiers de porcs + pailles	30%	30%	29%	29%	29%	28%	28%	28%	27%	27%
Effluents de féculeries	54%	54%	54%	54%	54%	54%	54%	50%	47%	44%
Boulbènes superficielles Fumier de bovins, logettes paillée, aire couverte, stockage > 2 mois	39%	37%	35%	35%	32%	32%	30%	28%	27%	26%
Fumier de bovins, stockage < 2 mois	47%	47%	44%	44%	41%	41%	39%	39%	37%	37%
Fumiers de porcs à l'engrais à base de paille	44%	44%	41%	41%	39%	37%	37%	35%	33%	33%
Fumiers de poulets de chair ( après stockage )	44%	41%	41%	39%	37%	35%	33%	30%	27%	24%
Lisier bovins, logettes, raclage en système couvert	64%	64%	64%	58%	58%	58%	58%	58%	54%	54%
Lisiers mixtes de porcs	78%	78%	78%	78%	78%	78%	70%	70%	70%	70%
Vinasses viticoles	58%	58%	54%	50%	47%	44%	39%	35%	30%	27%

Pour trouver la quantité de N total à apporter pour ne pas dépasser 70 kg d'APLSH au 15/01, il faut calculer  $[ 70 / \%N_{disp}(t) ]$

## PROCHAINE ÉTAPES

- Réajustent de la liste des PRO simulés
  - Suppression des PRO aberrant
  - Rajout de PRO tels que composts et digestats
- Analyses statistiques de la variabilité pour étudier si les différences observées sont significatives :
  - Selon la profondeur du sol
  - Entre produits d'un même type
  - Objectif: simplifier pertinent

## QUESTIONS EN SUSPENS

- **Si épandage d'un fertilisant qui n'est pas listé exactement dans les produits simulés, comment faire ?**
  - Regarder les critères Nmin/Ntot, C/N, ISMO des fertilisants simulés, et choisir un représentant proche ?
  - Décider de se rapprocher d'un des fertilisants du même type au choix ?
  - Se référer à une situation moyennée (pour un type donné, une date, sol, et région donnés) ?
- **Quid d'un épandage de plusieurs fertilisants de types différents sur une même parcelle**
- **Si le sols n'est pas exactement un des types de sols proposés à la simulation, à quel type de sol se « raccrocher » ?**

