



Valeur agronomique de digestats de méthanisation



L. JORDAN-MEILLE, Bordeaux Sciences Agro, UMR ISPA
J. MICHAUD, Chambre Agriculture Dordogne
C. MOREL, INRA, UMR ISPA
X. SALDUCCI, Celesta-lab



PLAN

Introduction – Enjeux – Objectifs opérationnels

Matériel et méthodes – Démarche générale – Présentation succincte des méthodes utilisées – Les digestats utilisés

Résultats - Composition élémentaire - Caractérisation biochimique et biologique - Valeur fertilisante N & P

Discussion Valeur agronomique globale – Digestat ou produit brut ?

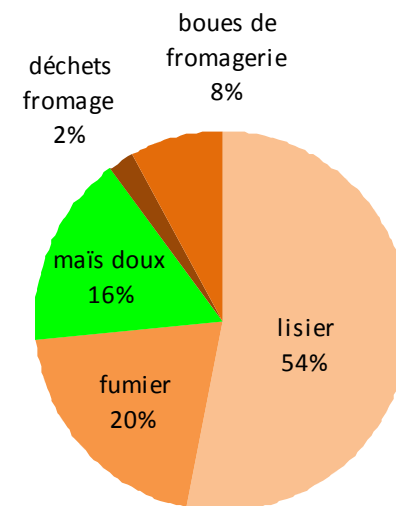
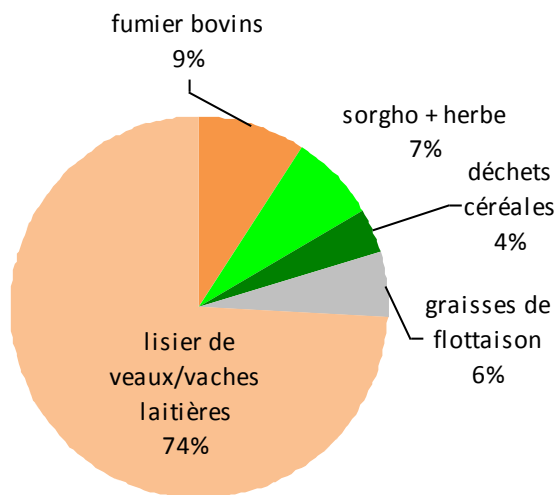
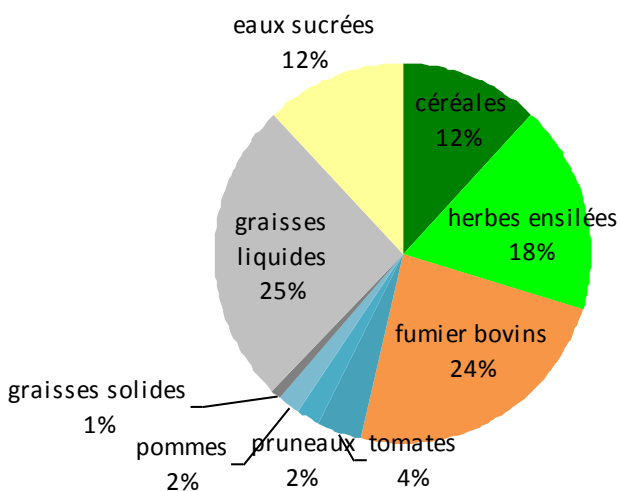
Introduction – Objectifs opérationnels

- ⇒ Quelle est la **disponibilité des minéraux** contenus dans les **digestats** pour les plantes ? Cas de N et P. Comparaison à des valeurs de référence (fumiers, compost, boues ...)
- ⇒ La matière organique des digestats est-elle **stable à long terme** ou constitue t'elle une offre de minéraux à court terme ?
- ⇒ Comment **raisonner globalement** l'apport de digestat ? **Quelles analyses** sont pertinentes pour connaître la valeur agronomique N, P, C ?
- ⇒ Quel est le meilleur système de **post-traitement** ?

Matériel et méthodes - Démarche générale

- ① **Composition élémentaire** des digestats de méthanisation
→ Analyses chimiques et biochimiques, ISMO (NF U44-164)
- ② **Incubation** (digestat × sol)
→ Potentiels de minéralisation de N_{org} , C (XP U44-163)
- ③ **Mise en culture** (sol × digestat × plante) en conditions contrôlées
→ CAU, $Keq-NH_4NO_3$
- ③_{bis} **Mise en culture** (sol ^{32}P × digestat × plante) en conditions contrôlées
→ CRU, % Pdf, $Keq-TPP$
- ④ **Conditions de plein champ**
→ CAU, $Keq-NH_4NO_3$

Matériel et méthodes – Digestats utilisés



3X

« Agri.60_Br » (digestat brut dont une part importante est issue des industries agro-alimentaires)

3X

« Agri.60_Sé » (digestat séché sous chapelle chauffée)

« Agri.94_Br » (digestat d'origine majoritairement agricole, non traité après passage dans le digesteur)

5X

3X

« Agri.90_So » (Phase solide du digestats agricole brut après filtres à bandes)

4X

« Agri.90_Li » (Phase liquide du digestats agricole brut après filtres à bandes)

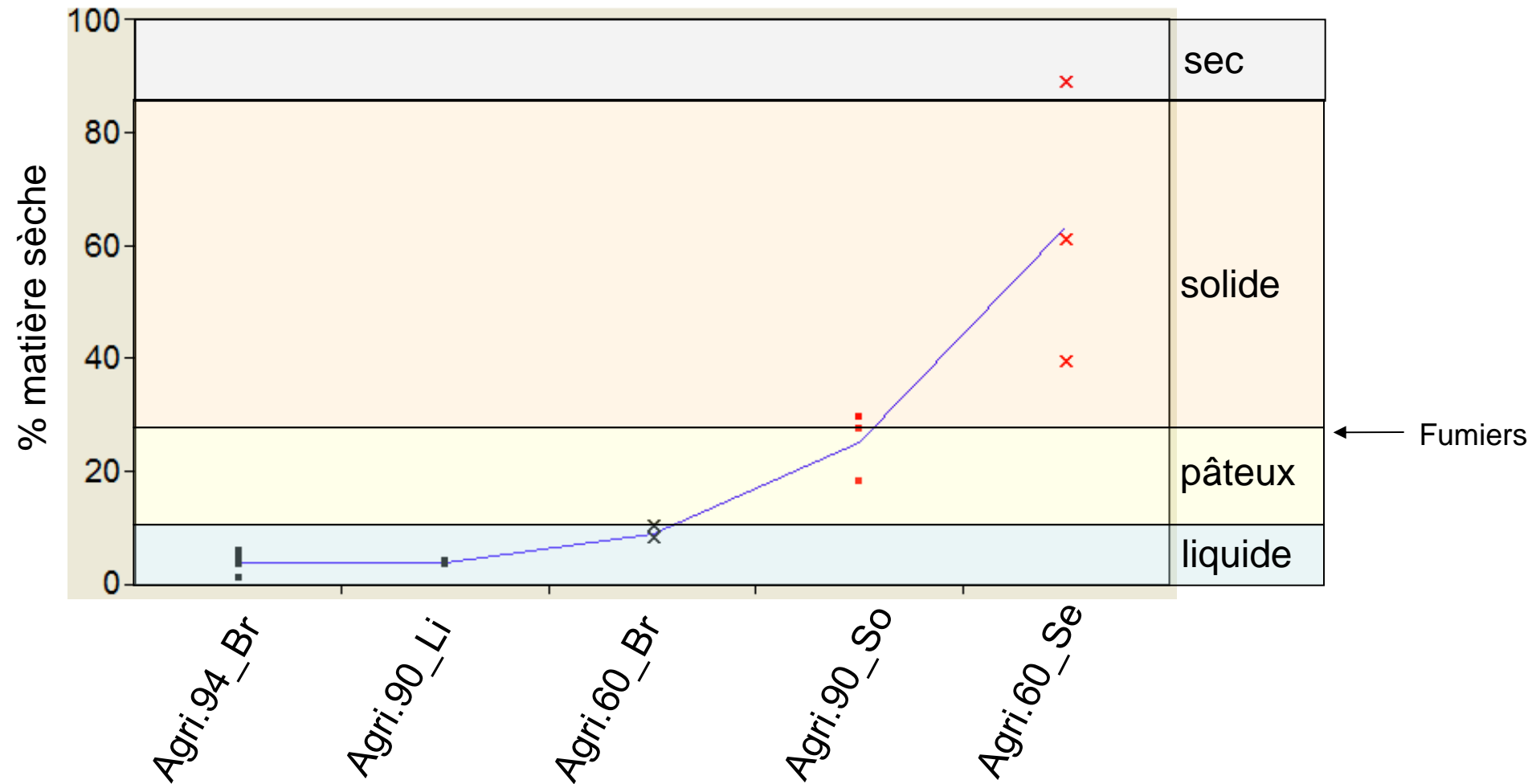
Composition élémentaire des digestats

Caractérisation biochimique et biologique des digestats

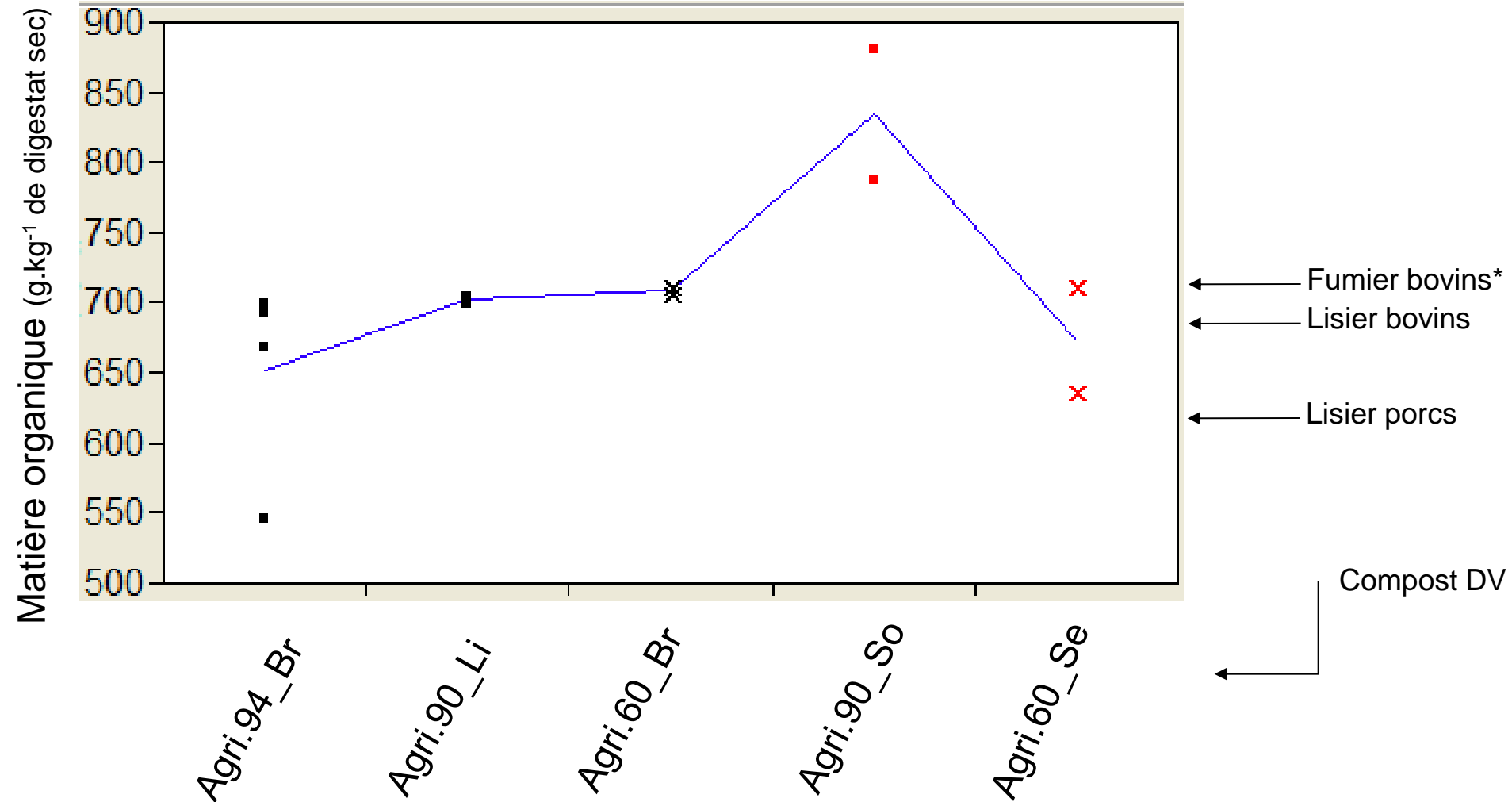
Valeur fertilisante azotée

Valeur fertilisante phosphatée

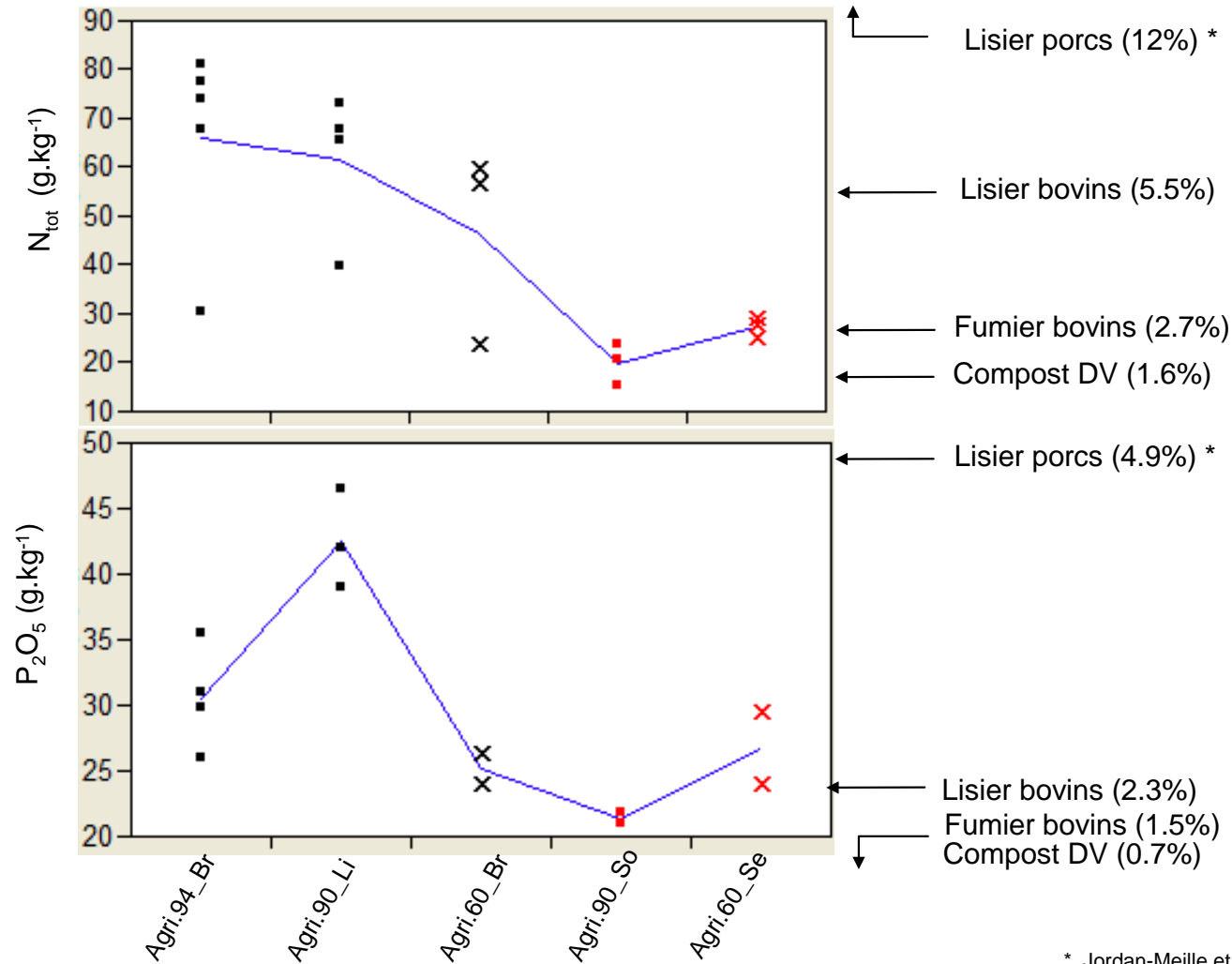
Quelle est la siccité des digestats ?



Contenu en matière organique dans la matière sèche des digestats

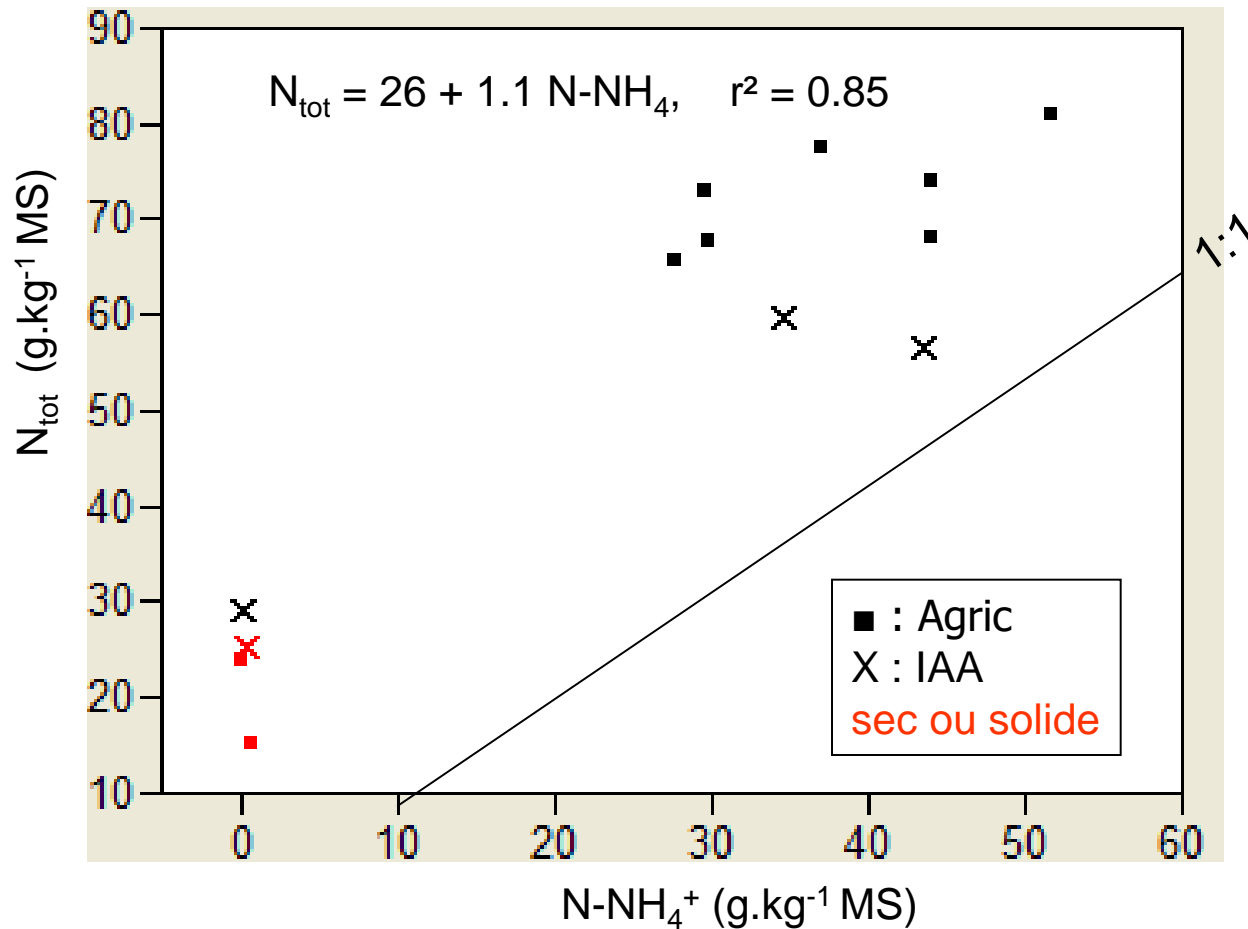


Contenu en azote dans la matière sèche des digestats



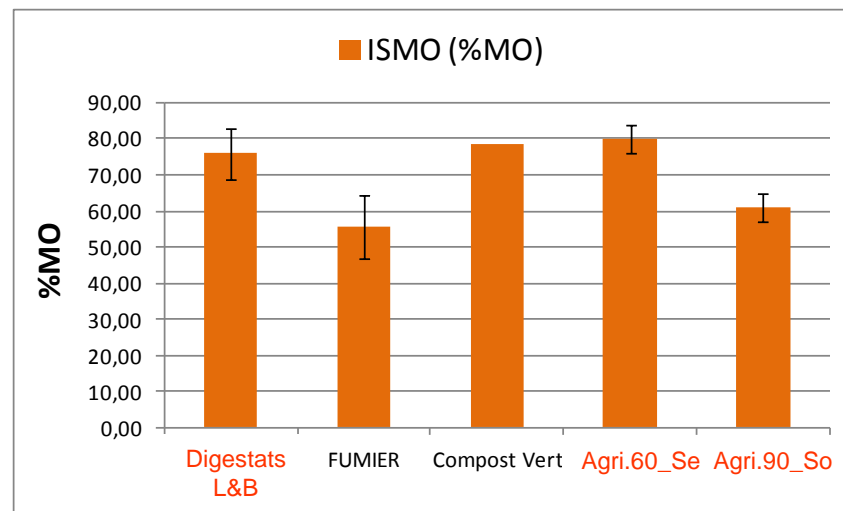
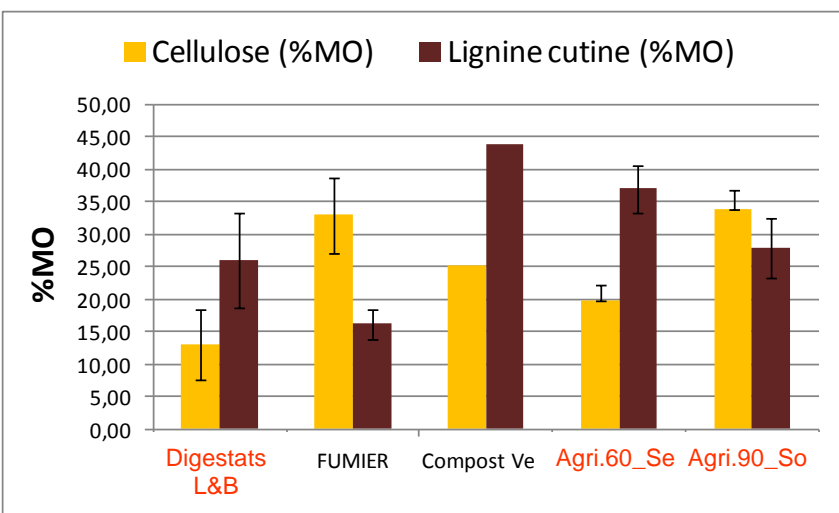
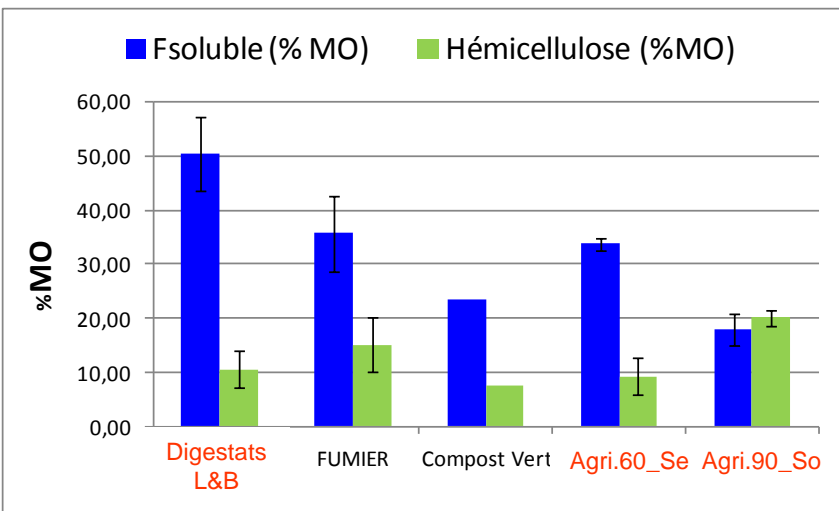
* Jordan-Meille et Guillotin, 2007

Influence de la teneur en azote ammoniacal sur la teneur en azote total



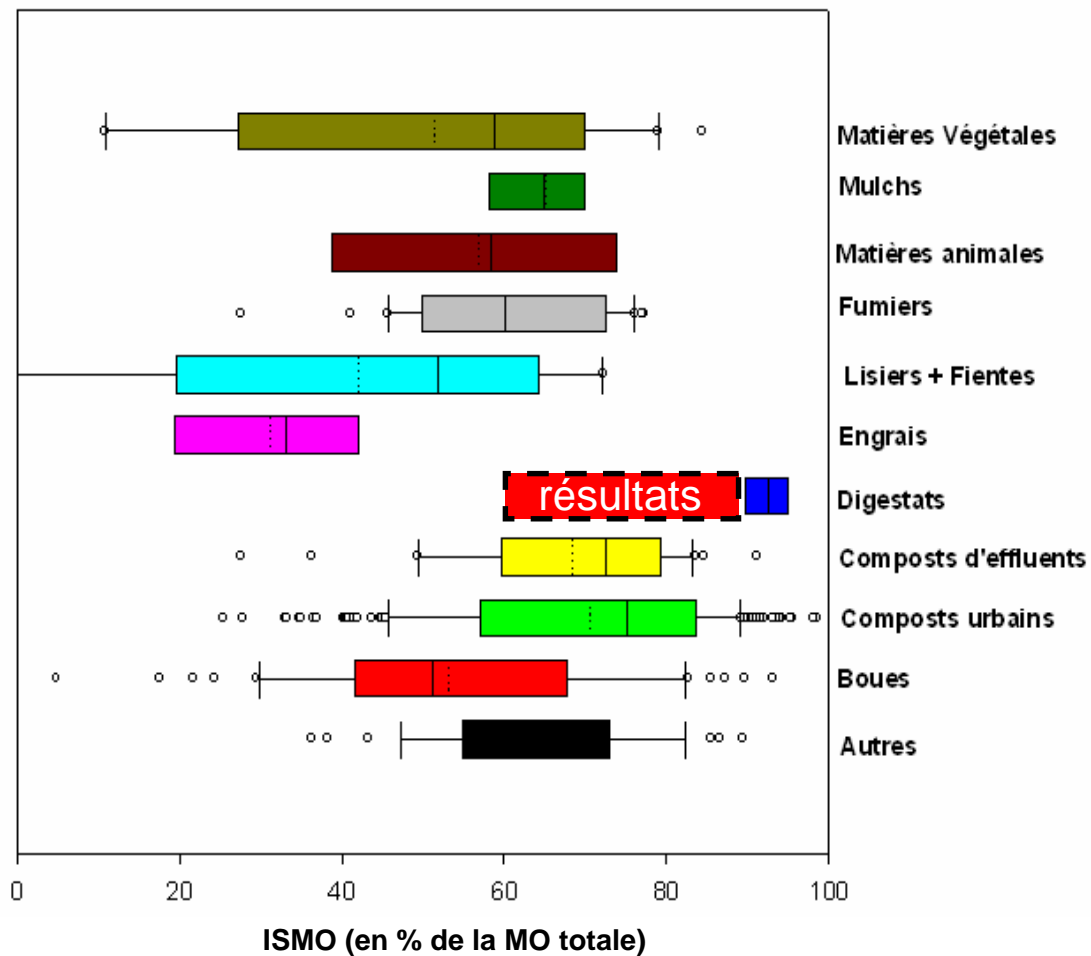
⇒ la teneur en N_{tot} est fortement conditionnée par la teneur en $N\text{-NH}_4^+$

Fractionnement biochimique - ISMO

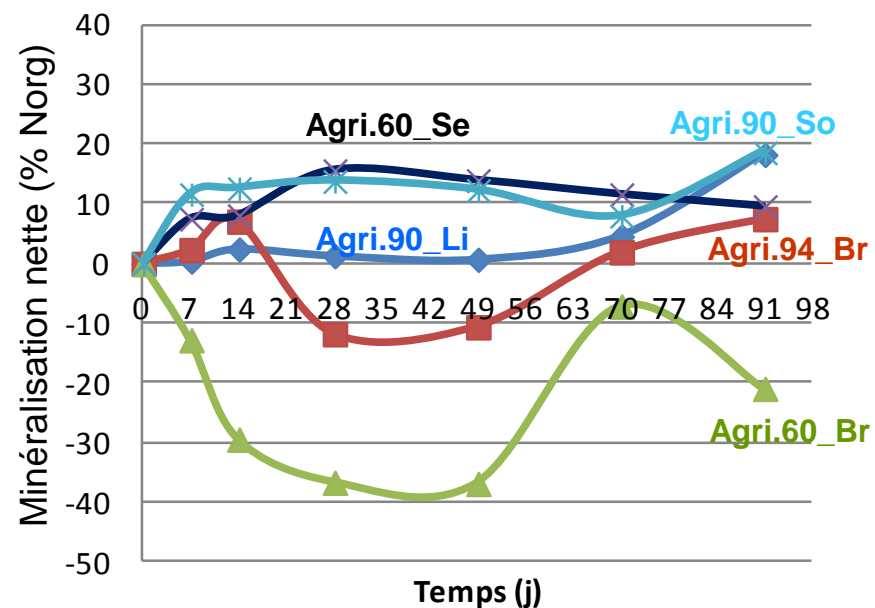
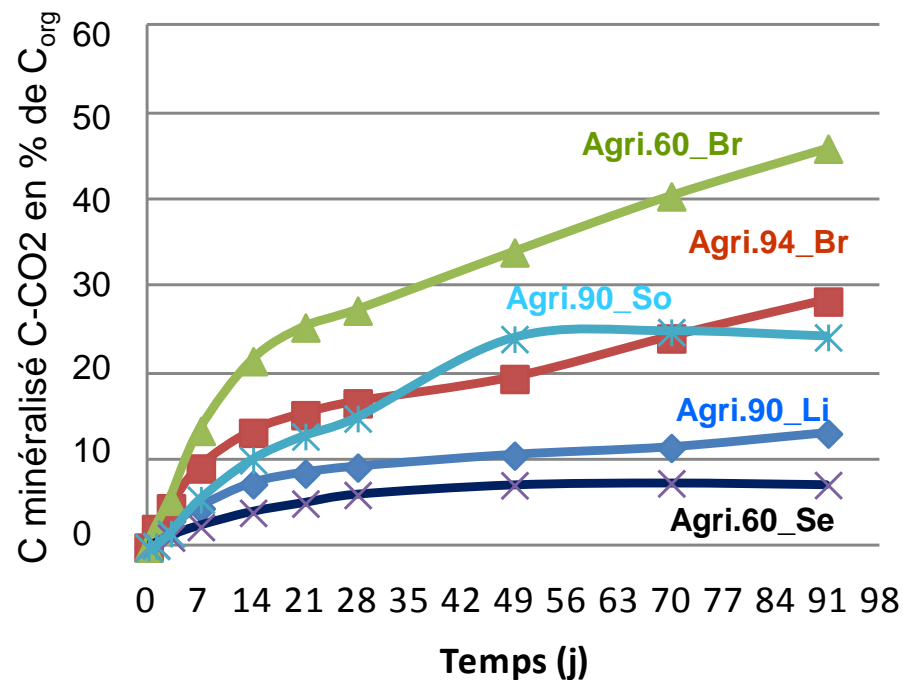


⇒ ISMO élevés > 60% (fort rdt humigène)
 ⇒ Fumier (So) < ISMO < Compost Vert (L&B, Se)

Fractionnement biochimique - ISMO



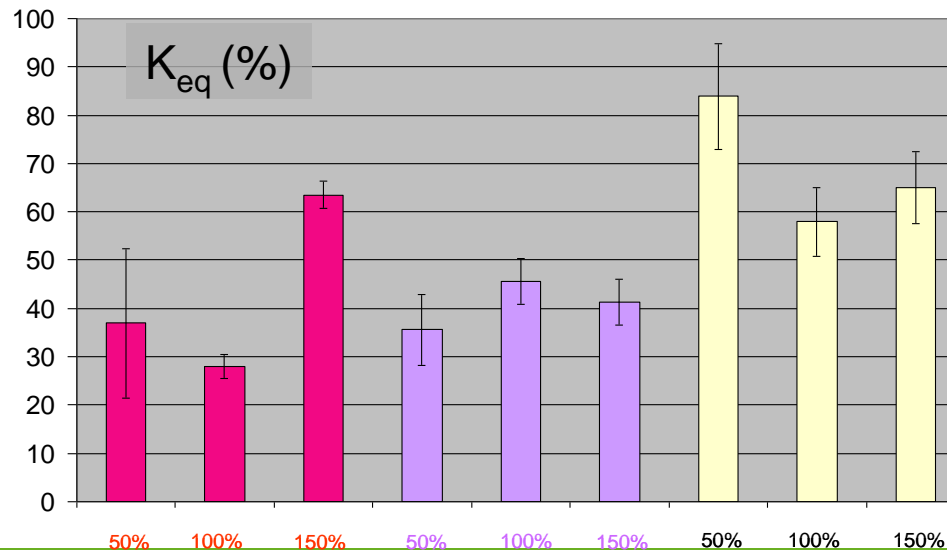
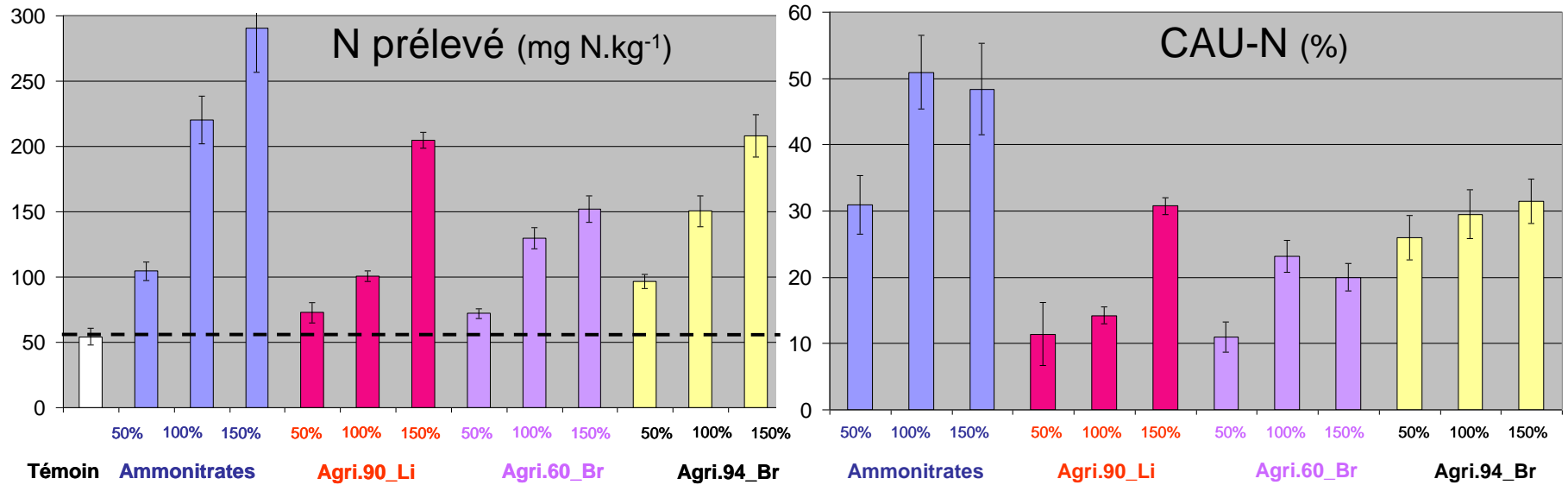
Potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote



⇒ Potentiel de minéralisation de C_{org} faible (Agri.60_Se et Agri.90_Li, # Compost) à moyen pour Agri.90_So, Agri.94_Br, Agri.60_Br, # Fumier)

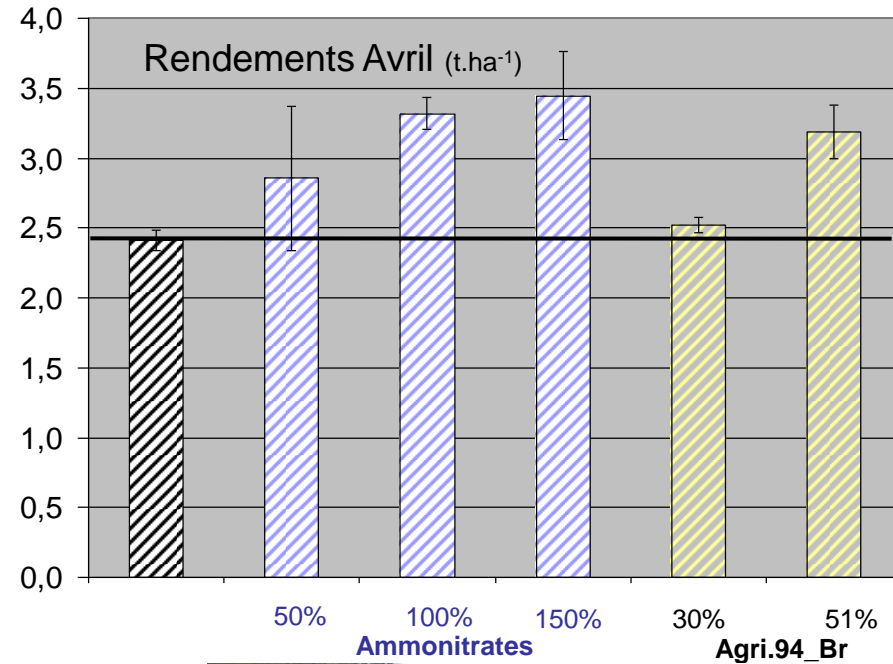
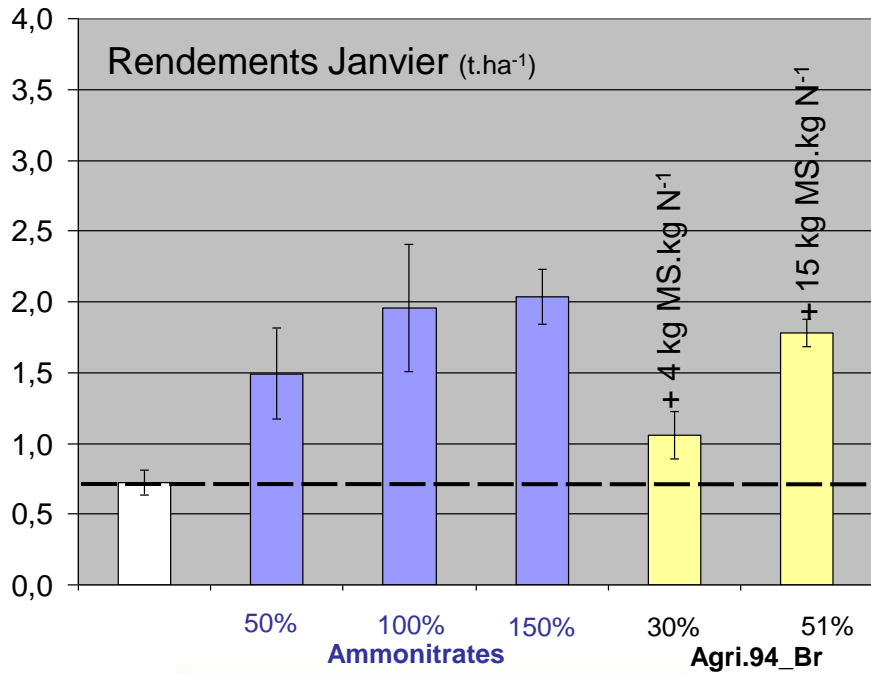
⇒ Potentiel de minéralisation de N_{org} faible (Agri.60_Se, Agri.90_Li, Agri.90_So) à immobilisation (Agri.94_Br, Agri.60_Br)

Exemples de résultats du biotest n°1

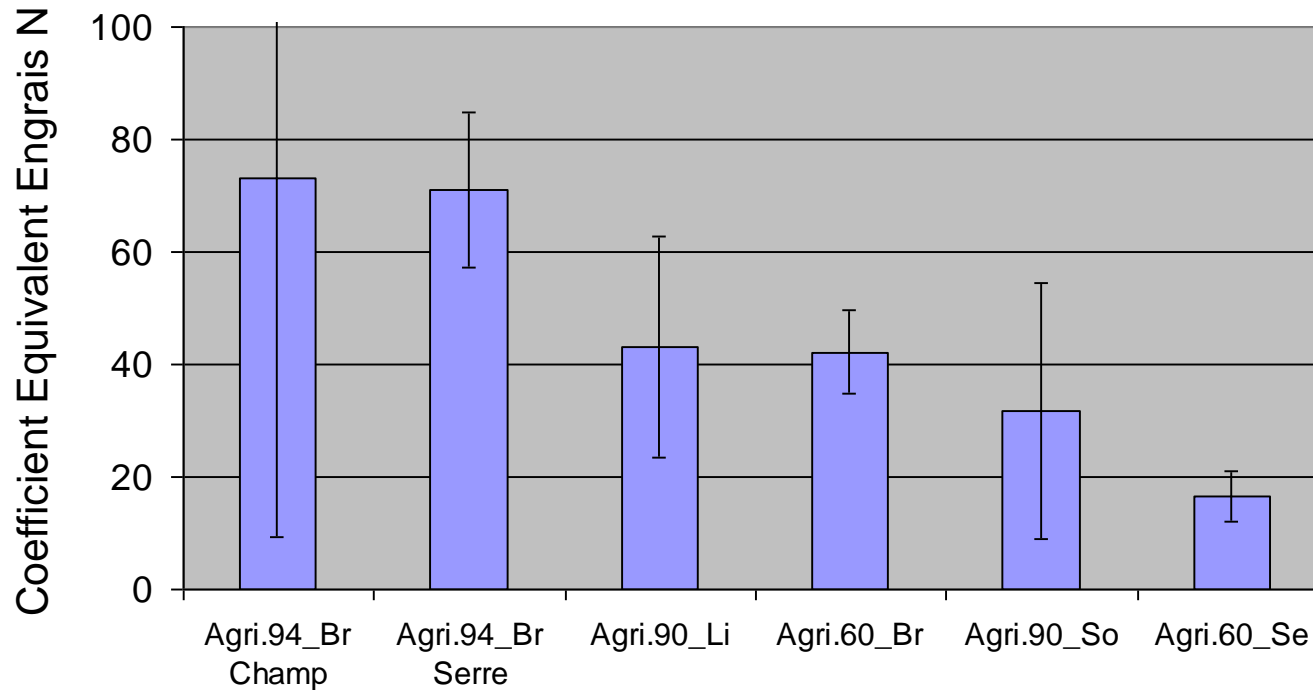


Résultats – Valeur fertilisante azotée

Aperçu de quelques résultats de l'essai au champ



Synthèse des résultats des biotests sur N



⇒ Fortes variabilités des réponses, tous essais confondus

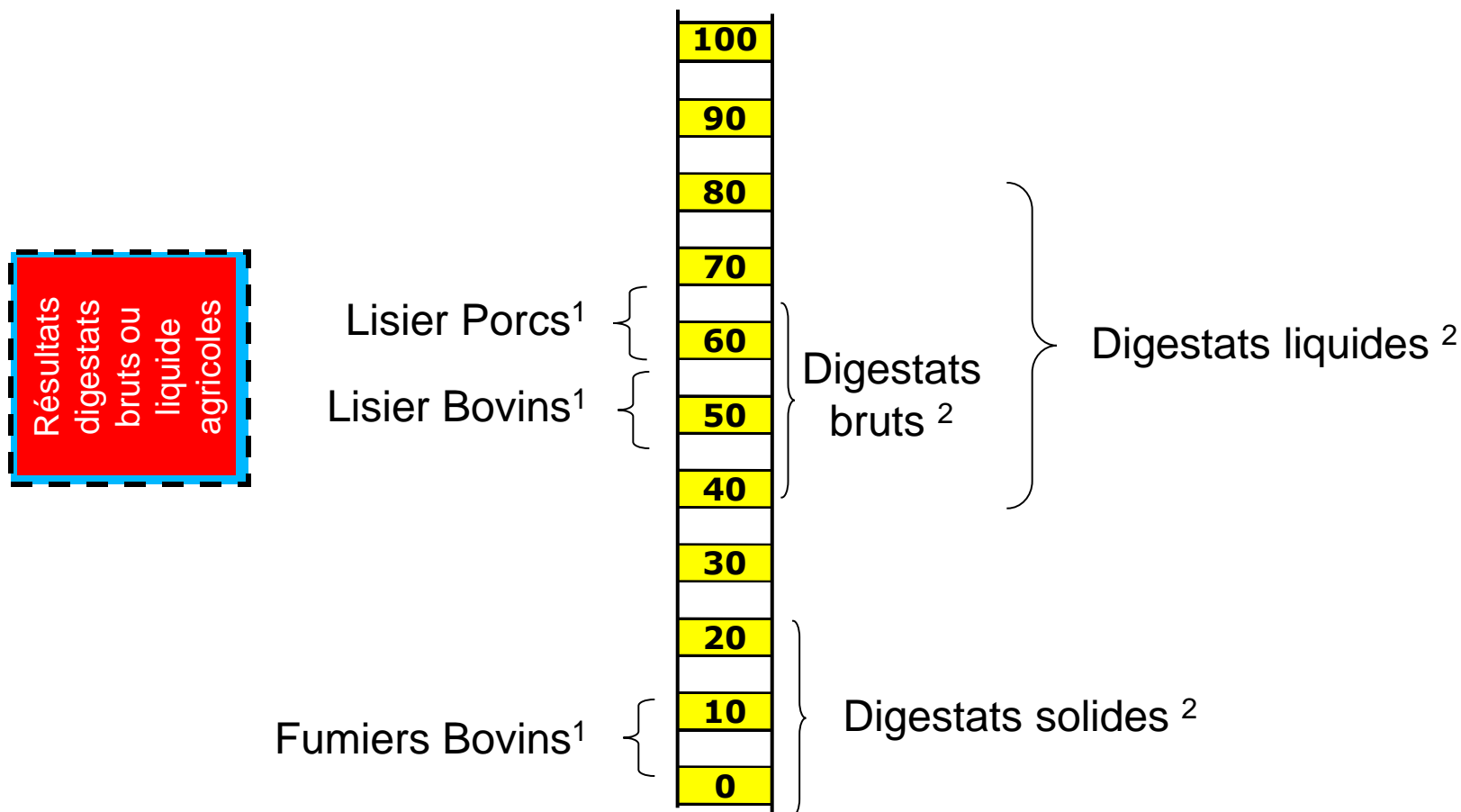
⇒ Meilleures valeurs azotées pour produits bruts ou liquide d'origine essentiellement agricole

⇒ La valeur fertilisante azotée des digestats agricoles bruts s'élève à 70% de celle d'un ammonitrate

Résultats – Valeur fertilisante azotée

Grande variabilité des résultats de valeur fertilisante azotée des digestats

(équivalent % NH_4NO_3)



Résultats
digestats
bruts ou
liquide
agricoles

Lisier Porcs¹

Lisier Bovins¹

Fumiers Bovins¹

Digestats
bruts²

Digestats solides²

Digestats liquides²

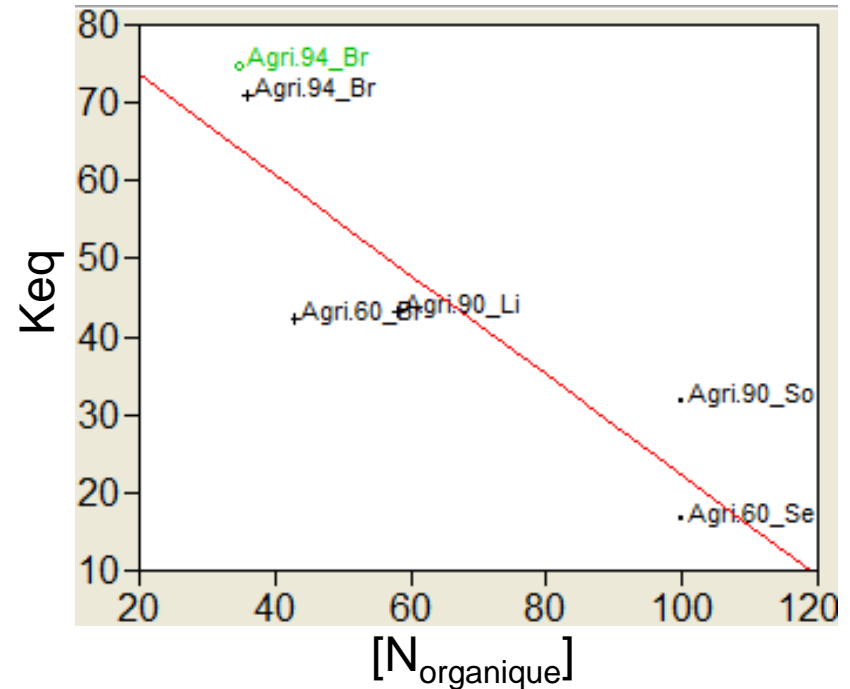
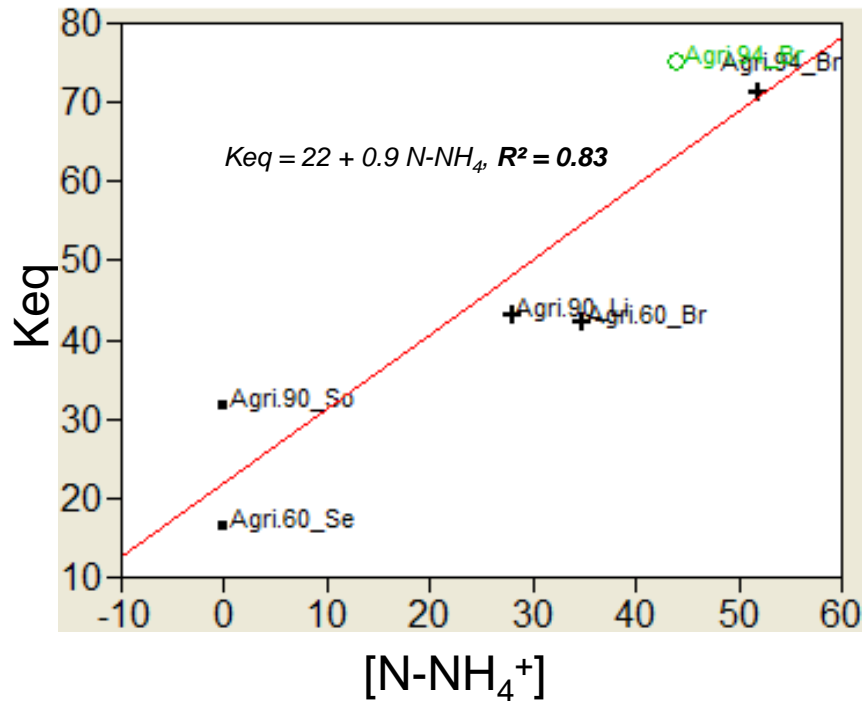
Prairies, épandage de surface

Maïs, injection

¹ Cabaret, Hanocq et al. 2002. Coefficient d'équivalence engrais azotée des principaux engrais de ferme. Chambre Agri. de Bretagne.
² Cavalli et al. 2016 Nitrogen fertilizer replacement value of undigested liquid cattle manure and digestates.

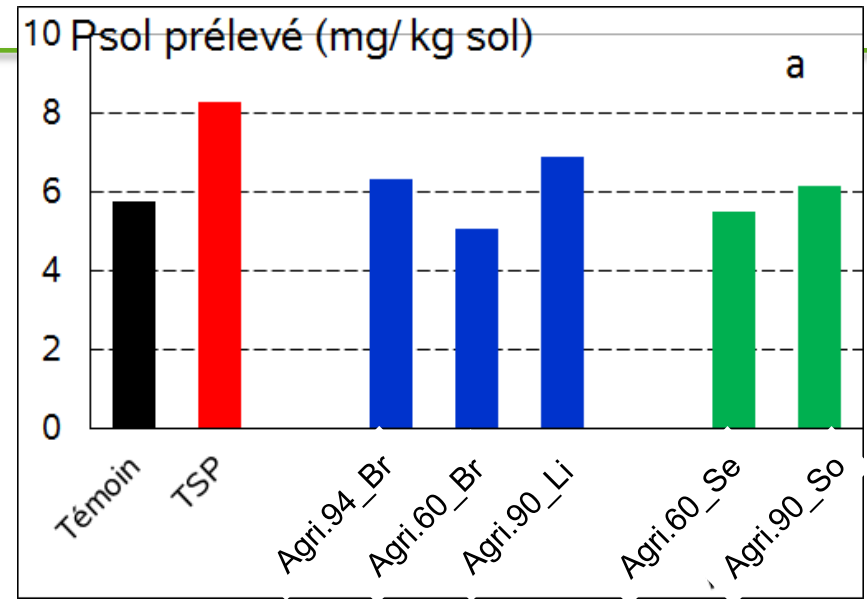
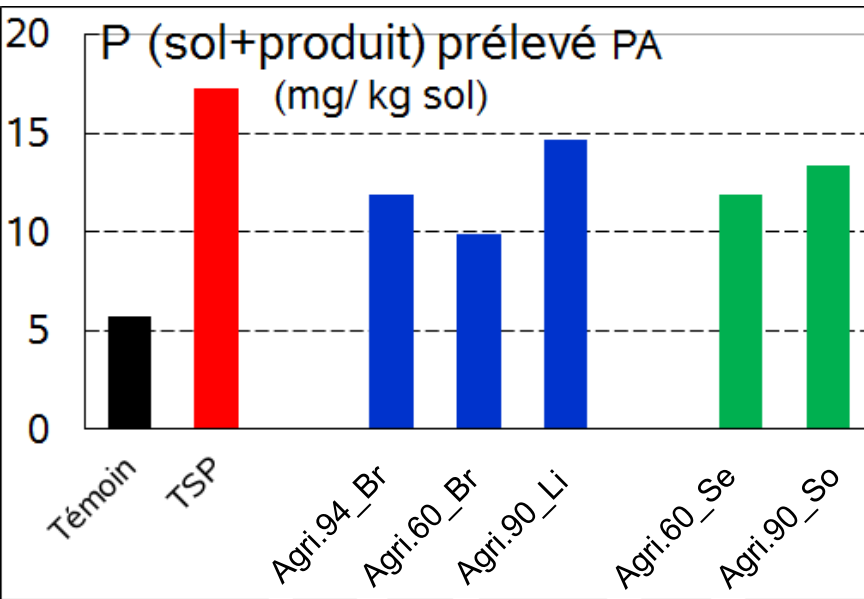
Résultats – Valeur fertilisante azotée

Facteur explicatif principale du Keq : l'ammonium

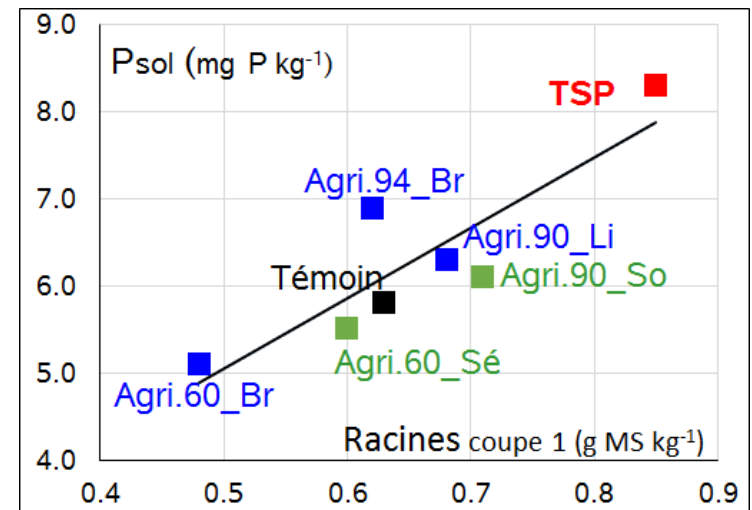


- ⇒ La concentration en $N_{organique}$ ne joue pas en faveur du Keq.
- ⇒ Il n'y a pas d'arrière-effets sur la durée des biotests

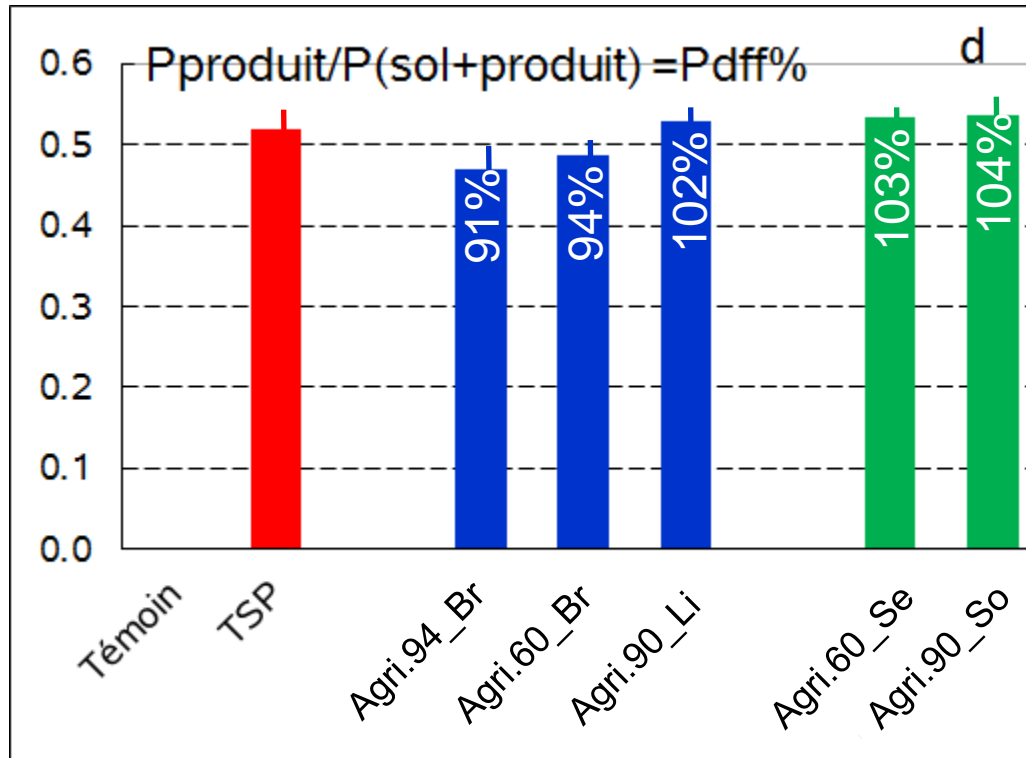
Le traitement influence la part de nutrition par le sol "seul"



⇒ L'exploration du P du sol par les racines explique ces écarts de P_{sol} prélevé.



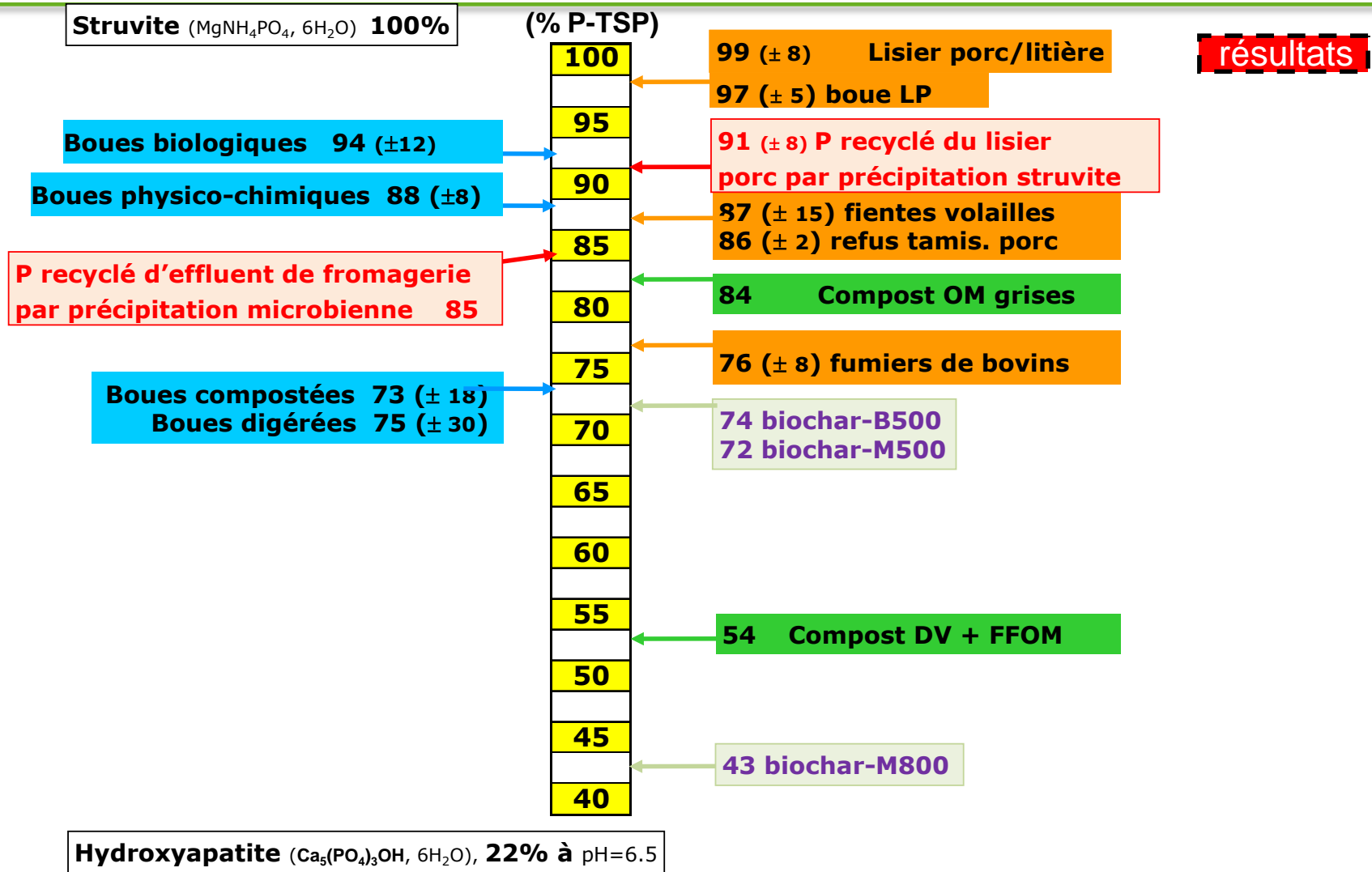
Coefficient équivalent engrais TSS



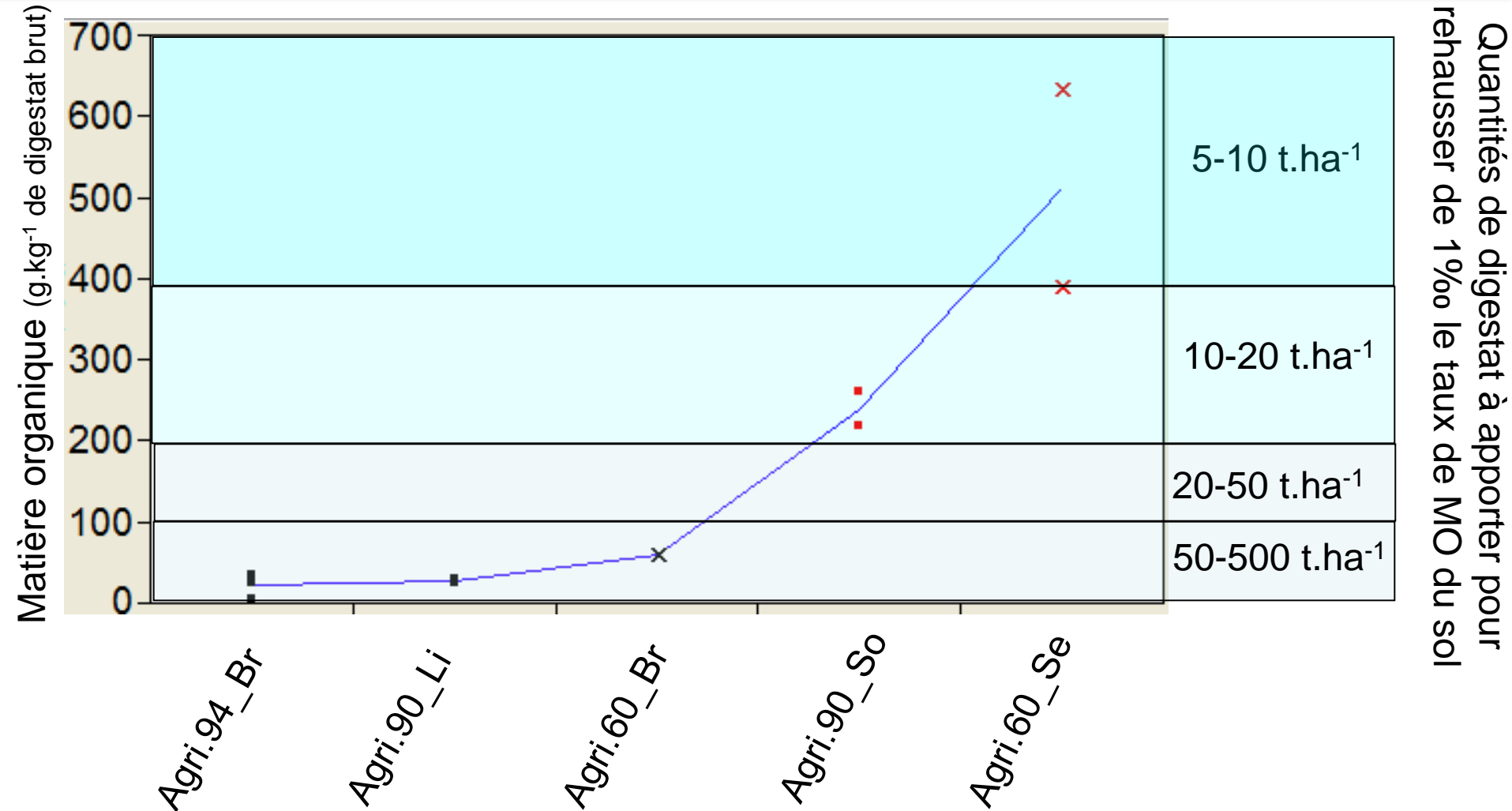
← % Keq TSP

- ⇒ Après "correction" de de l'interaction avec les racines, le %Pdff des digestats ne diffère pas significativement de celui du TSP: moyenne = **51 %** dans cette étude.
- ⇒ La VFP des digestats est **équivalente à celle du TSP soit 100 %**

Coefficient équivalent engrais TSS

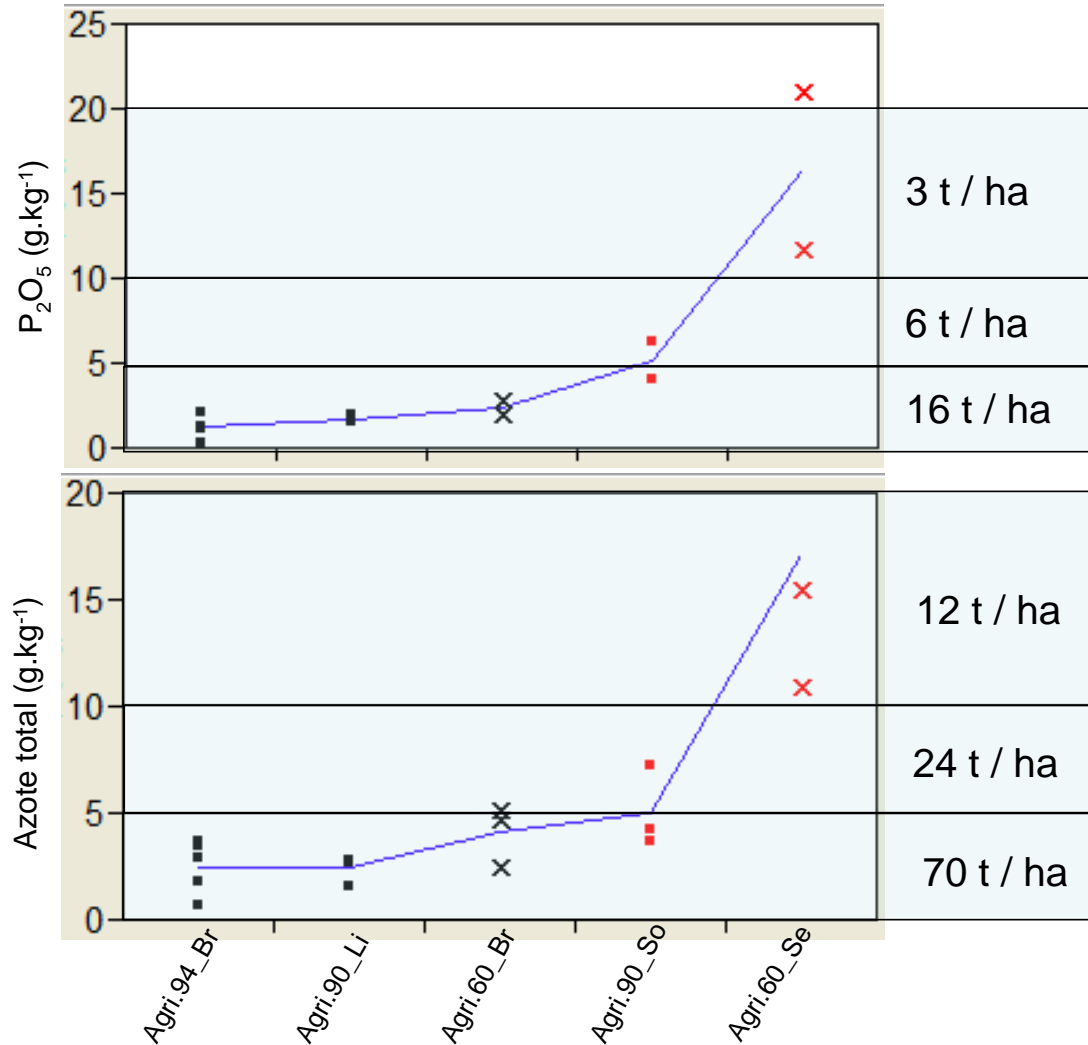


La problématique de la teneur en eau ...



Discussion - Questionnements sur la qualité des digestats

La problématique de la teneur en eau ...

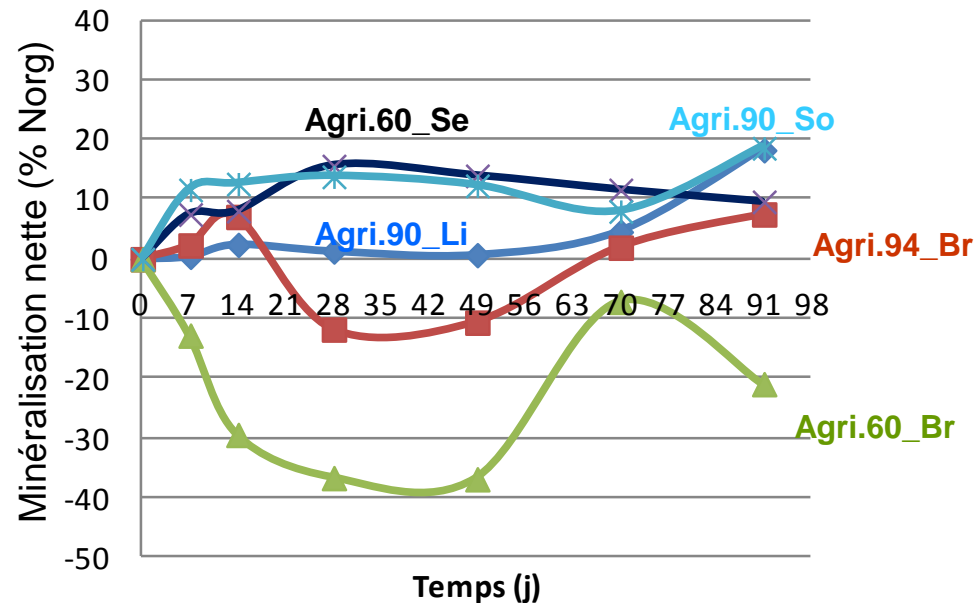
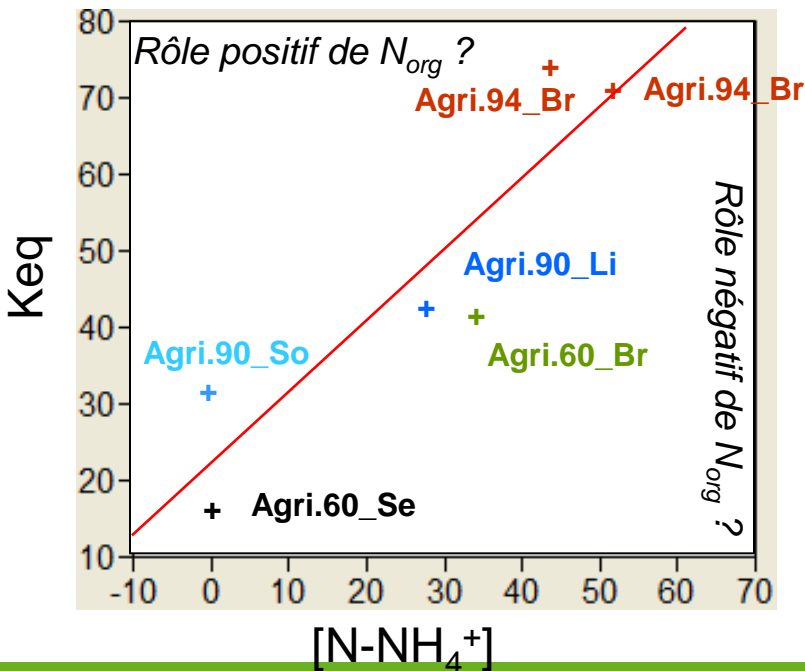


40 kg de P₂O₅ sont
compris dans :

170 kg de N_{tot} sont
compris dans :

Discussion - Mise en cohérence des valeurs sur l'azote

- La valeur fertilisante N est surtout liée au contenu en NH_4^+
- L'azote organique ne joue pas de rôle majeur (18% de min. au maximum)
- Les produits immobilisant du N ont un Keq en deçà du "modèle" et vice versa
- Post-traitement compte plus que ration sur la valeur fertilisante N



Les analyses chimiques (NH_4^+ , P_{tot} , K_{tot} , MO, Siccité) réalisées juste avant épandage sont suffisantes pour raisonner la fertilisation

- La teneur en NH_4^+ contrôle presque entièrement la biodisponibilité de l'azote total.
- 100 % de biodisponibilité pour le phosphore total.
- 100 % de biodisponibilité pour le potassium
- Coefficient isohumique plutôt élevé et stable (60-80%)
- Le pH est toujours basique
- Le rapport C/N ne se corrèle pas bien avec ISMO, donc peu d'utilité

Un agriculteur a-t-il avantage, sur le plan agronomique, à utiliser un produit digéré plutôt que brut ?

- * Amélioration de la disponibilité en azote minéral du digestat brut mais attention à la volatilisation de l'azote !
- * Amélioration de la valeur fertilisante du fait de la variation de la ration (enrichissement NPK via les co – produits),
- * Amélioration de la valeur fertilisante du fait du "dégazage" de C
- * Mais des caractéristiques agronomiques très variables selon les rations et surtout le type de post – traitement (séparation de phase, évapo – concentration, séchage...).

Discussion – Quel digestat produire ?

⇒ Nécessité d'adapter le type de digestat aux caractéristiques des territoires et aux objectifs agronomiques spécifiques des agriculteurs (effet engrais notamment azote, MO structurante, richesse en P et K...)



Prendre en compte la problématique du digestat en amont du projet de méthanisation


Type de digestats	Forme des digestats	Type de post-traitement	Caractéristiques agronomiques					Niveau d'investissement	Distances de transport
			MO	N _{organique}	N _{min}	P _{total}	K _{total}		
			structuration	arrières effets	effets engrais				
Digestats liquides bruts	Liquide	X	faible	moyen	fort	fort	fort	fort	>10 km
Refus solides de séparation de phases	Solide	Séparateur de phases	fort	moyen	faible	fort	fort	fort	>10 km
Refus liquides de séparation de phases	Liquide		faible	faible	fort	fort	fort	fort	>10 km
Distillat par ferti-irrigation	Liquide	Evapo-concentration	faible	faible	fort	fort	fort	fort	>10 km
Concentrat	Liquide à chaud		faible	faible	fort	fort	fort	fort	>10 km
Refus solide sép. phase + concentrat	Solide		fort	moyen	faible	fort	fort	fort	>10 km
Digestats séchés	Solide	Serre solaire	fort	moyen	faible	fort	fort	fort	>10 km

faible moyen fort


fort coût <10 km
faible coût >10 km

Merci de votre attention

LA MÉTHANISATION AGRICULTEURS COLLECTIVITÉS FORMATION LES PROJETS LES DIGESTATS



CASDAR Méth@+.com
un modèle d'intégration
de méthanisation agricole et rurale.



À LA UNE

Un méthaniseur qui fédère éleveurs, céréaliers et industries...

A Saint-Astier en Dordogne, ce modèle est un bel exemple de méthanisation agricole et rurale, initié par des éleveurs bovins

▶▶

CASDAR METH@+.COM

- Présentation du projet
- L'origine du projet
- Les partenaires du projet
- Qu'est-ce qu'il apporte
- Quelle est sa particularité ?

C'est quoi le CASDAR Méth@+.com ?

NOTRE EXPERTISE

NOS PUBLICATIONS

NOTRE OFFRE DE FORMATION



SE FORMER POUR ACCOMPAGNER DES COLLECTIFS

Vous êtes chef de service ou agent et vous souhaitez développer une activité de développement de méthanisation sur votre territoire ?

Bénéficiez d'une formation pour devenir référent dans l'émergence et l'accompagnement des projets de méthanisation agricole et rurale !

LES PROJETS EN DORDOGNE



- Un méthaniseur porté par une CUMA à Marçolac-Saint-Quentin.
- Un méthaniseur qui fédère éleveurs, céréaliers et industries agro-alimentaires locales à Saint-Astier
- Un méthaniseur thermophile en construction à Saint-Aquilin

ASSELDOR, l'Association des Eleveurs de DORDOGNE et la Chambre d'agriculture de Dordogne

accompagnent depuis **10 ans** des projets de méthanisation sur le département.

Au total **80 fermes** ont déjà été accompagnées.

Le département compte **5 unités en fonctionnement** et autant en développement.

Les **3 années de recherche** au travers du **programme Méth@+.com** ont renforcé la place d'expert des deux partenaires sur le développement de la méthanisation en milieu agricole et rural !

1 Composition élémentaire des digestats de méthanisation

→ Analyses chimiques et biochimiques



Fraction SOL

Fraction HEM

Fraction CEL

Fraction LIC

SOL = soluble

HEM = Hémicellulose

CEL = Cellulose

LIC = Lignine + Cutine

+ **ct3** : coefficient de minéralisation
du carbone après 3 j à 28°C

$$\mathbf{ISMO} = 44,5 + (0,5 \times \mathbf{SOL}) - (0,2 \times \mathbf{CEL}) + (0,7 \times \mathbf{LIC}) - (2,3 \times \mathbf{ct3})$$

NF U44-164, 11-2014

2 Incubation (système digestat × sol)

→ potentiels de minéralisation de N_{org} , C

Principe :

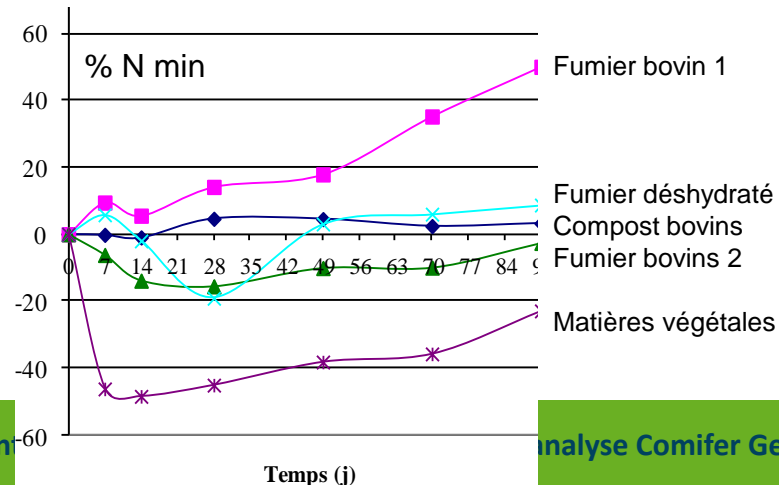
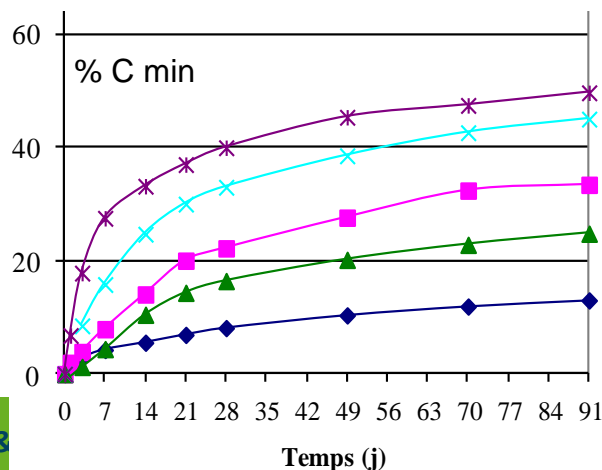
Suivi de la production :

-de dioxyde de carbone ($C_{organique} \rightarrow CO_2$)

-d'azote minéral ($N_{organique} \rightarrow NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$)

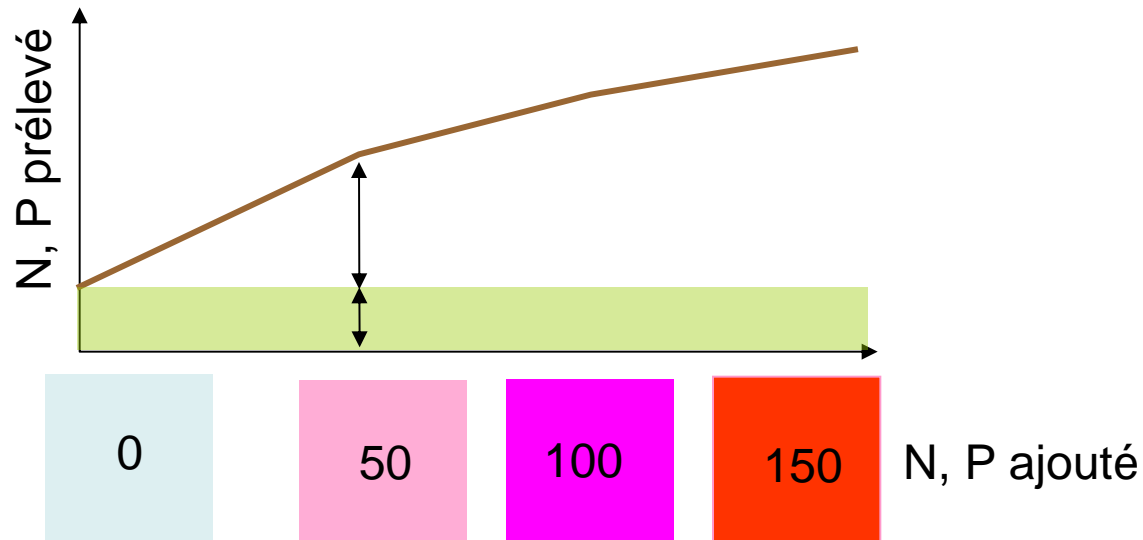
91 jours en conditions contrôlées de T° (28°C) et H° (pF 2,5)

XP U44-163

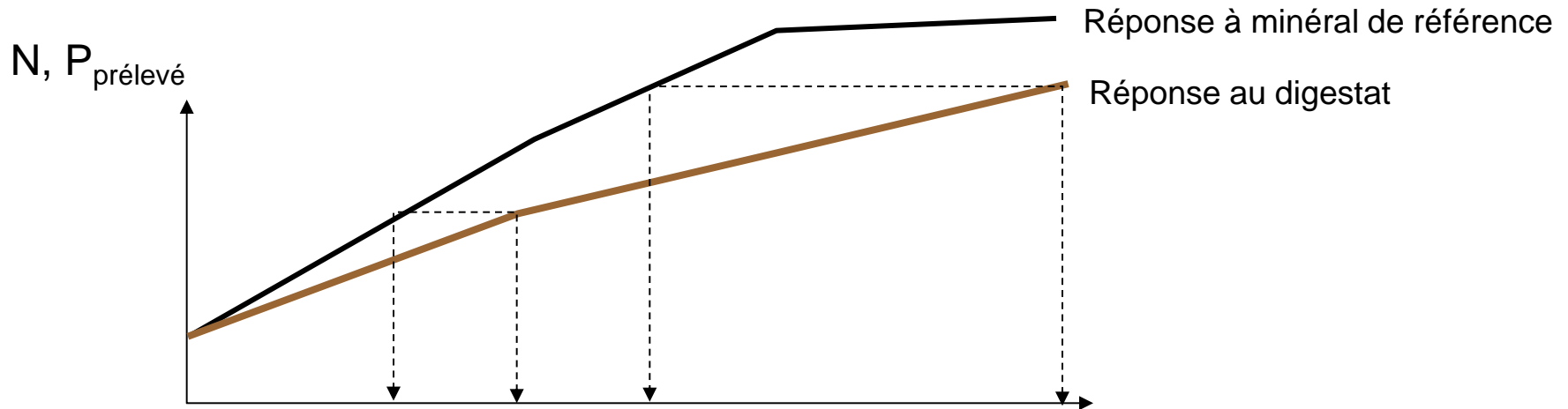


3 Mise en culture (sol × digestat × plante) en conditions contrôlées

$$\text{CAU} = \frac{(\text{N, P prélevé}_{\text{sol + digestat dose X}} - \text{N, P prélevé}_{\text{sol}})}{\text{Dose X}}$$



3 Mise en culture (sol × digestat × plante) en conditions contrôlées



Avec une dose «50» sous forme de digestat, on obtient le même résultat qu'avec une dose 35 d'engrais minéraux.

50

150

Avec une dose «150» sous forme de digestat, on obtient le même résultat qu'avec une dose 75 d'engrais minéraux.

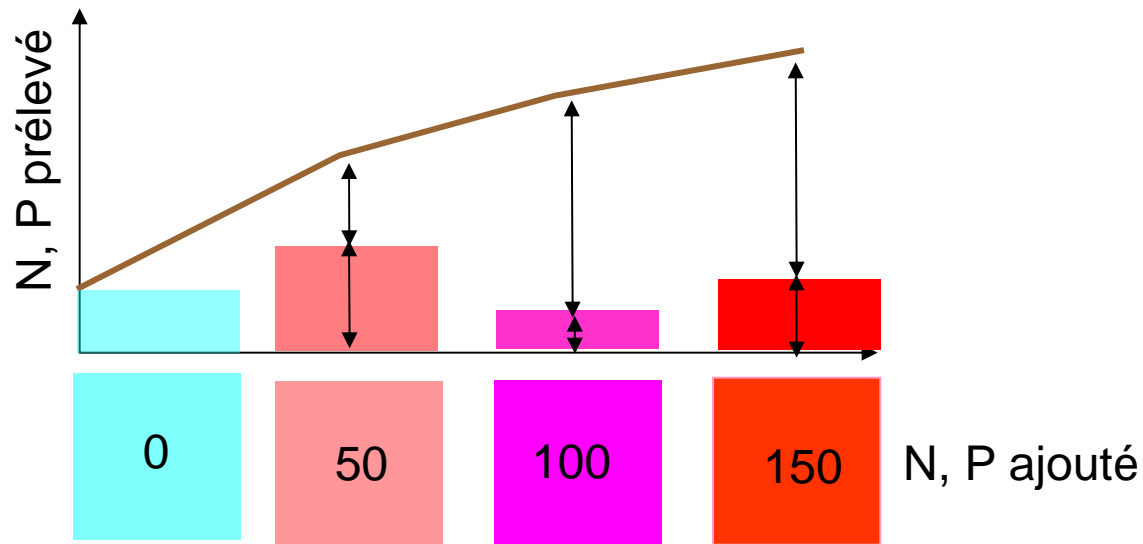
$$\Rightarrow Keq = 35/50 = 70\%$$

$$\Rightarrow Keq = 75/150 = 50\%$$

$$Keq = \frac{CAU_{\text{digestat}}}{CAU_{\text{minéral référence}}}$$

3^{bis} Mise en culture (sol ₃₂P × digestat × plante) en conditions contrôlées

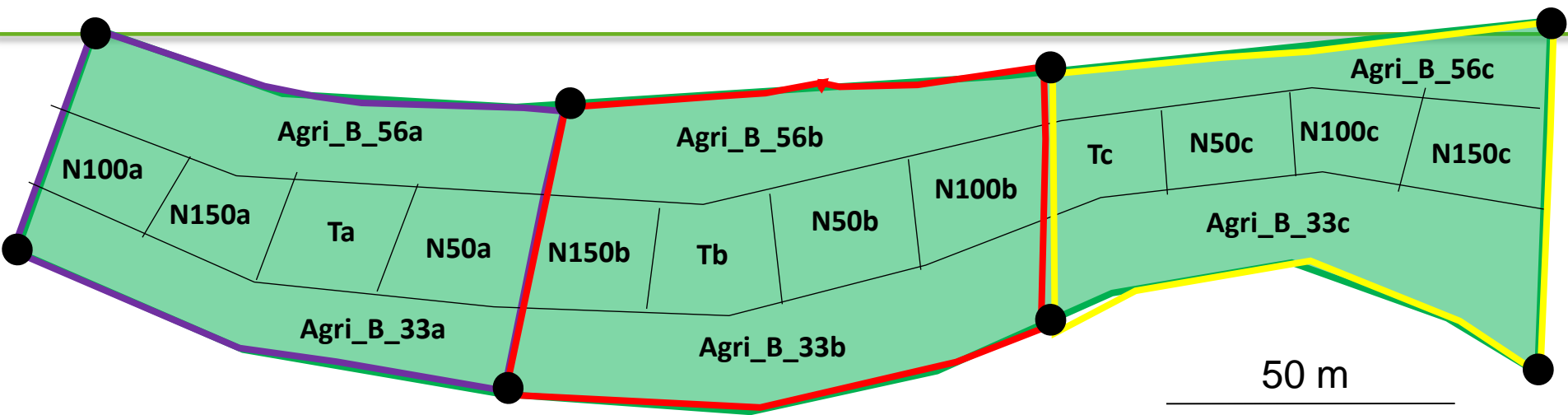
$$\text{CRU} = \frac{(\text{P prélevé}_{\text{sol} + \text{digestat dose X}} - \text{P prélevé}_{\text{sol } 32\text{P en mélange avec digestat}})}{\text{Dose X}}$$



Recherche des causes,
 → Correction % Pdf
 → Calcul Keq

$$\text{Keq} = \frac{\% \text{Pdf}_{\text{digestat}}}{\% \text{Pdf}_{\text{minéral référence}}}$$

4 Conditions de plein champ



Ray Grass

3 doses de N_{\min} (50, 100, 150% des besoins) et 2 doses de N_{org}

2 dates de mesures (janvier prélèvements, avril herbométrie)

4 Conditions de plein champ



④ Conditions de plein champ



Résultats - Composition élémentaire des digestats

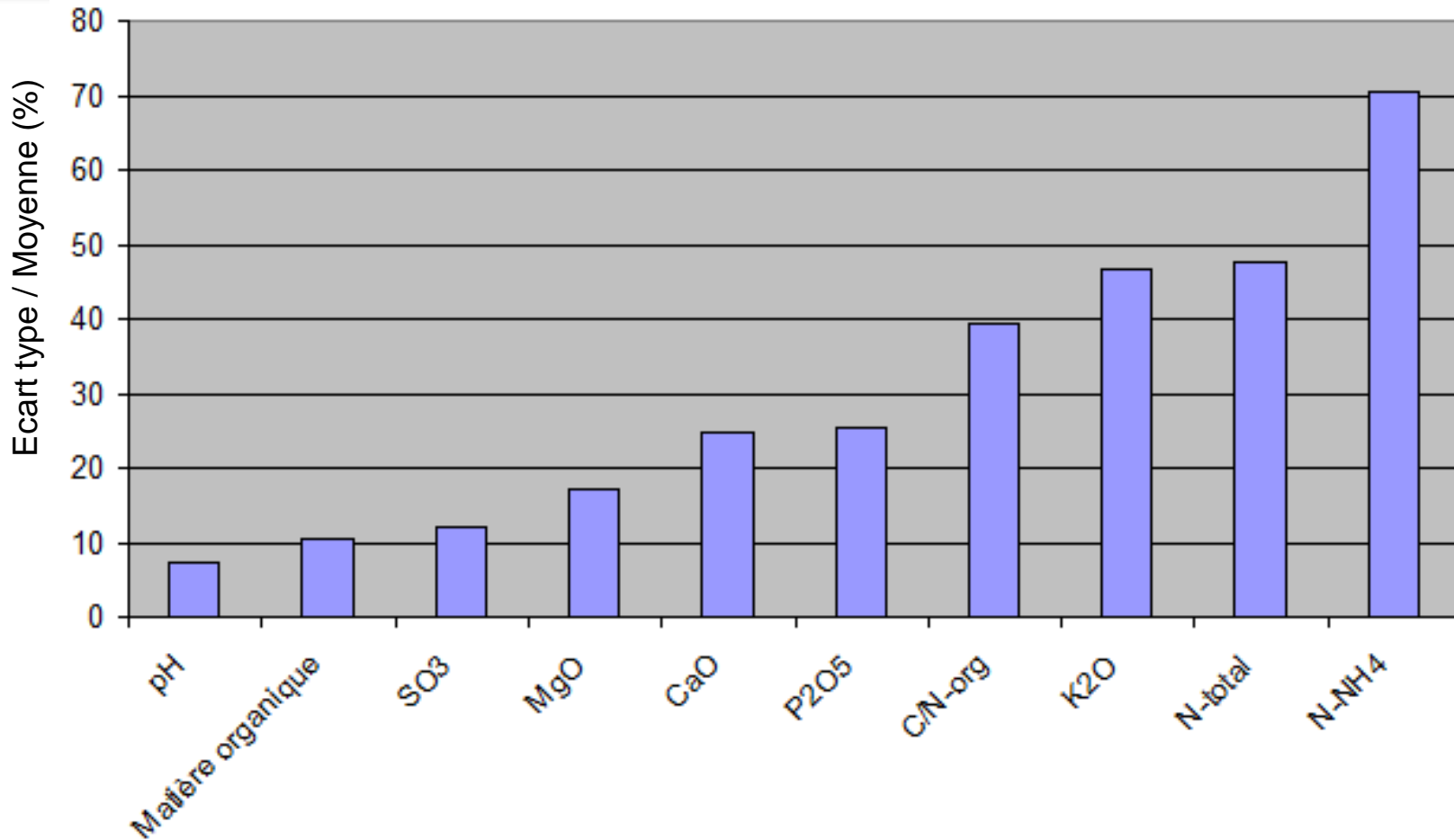
Siccité croissante →

Teneurs exprimées
par rapport à la MS

		Agri.96_B (5)	Agri.90_Li (4)	Agri.60_B (3)	Agri.90_So (3)	Agri.60_Sé (3)
MS	%	4 (2)	4 (0)	9 (1)	25 (5)	63 (20)
MO	g kg ⁻¹	651 (63)	702 (2)	708 (2)	834 (47)	673 (38)
pH	/	7,9	7,9	8,3	7,2	9,3
C/N	/	4 (0)	5 (0)	6 (0)	22 (4)	12 (0)
N-total	g kg ⁻¹	66 (18)	62 (13)	47 (16)	20 (4)	27 (2)
N-NH4	g kg ⁻¹	44 (5)	29 (1)	39 (4)	0 (0)	0 (0)
N-org	% N-total	53 (24)	68 (18)	55 (33)	98 (2)	100 (0)
N-NH4	% N-total	47 (24)	32 (18)	45 (33)	2 (2)	0 (0)
P	g kg ⁻¹	13 (1)	19 (1)	11 (1)	9 (0)	12 (1)
K	g kg ⁻¹	76 (13)	46 (2)	40 (2)	11 (0)	54 (5)
Ca	g kg ⁻¹	25 (1)	31 (1)	21 (1)	12 (1)	24 (1)
Mg	g kg ⁻¹	7 (1)	8 (0)	6 (0)	5 (0)	6 (0)
N / P	/	5,1	3,3	4,3	2,2	2,3
ISMO	/	68 (1)	79 (6)	76 (11)	61 (4)	80 (4)

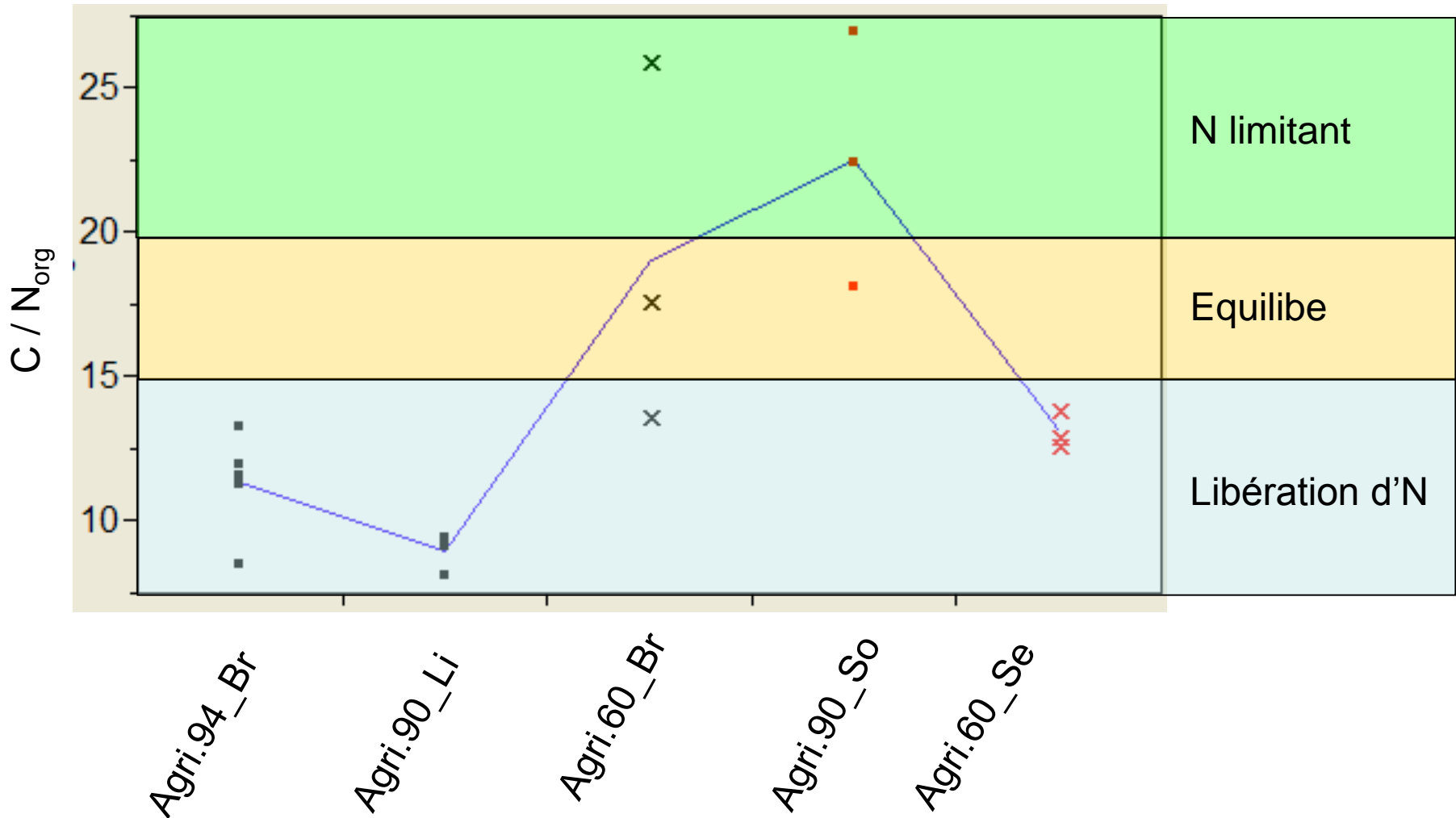
Les nombres entre parenthèse du tableau désignent les écarts types

Variabilité des produits

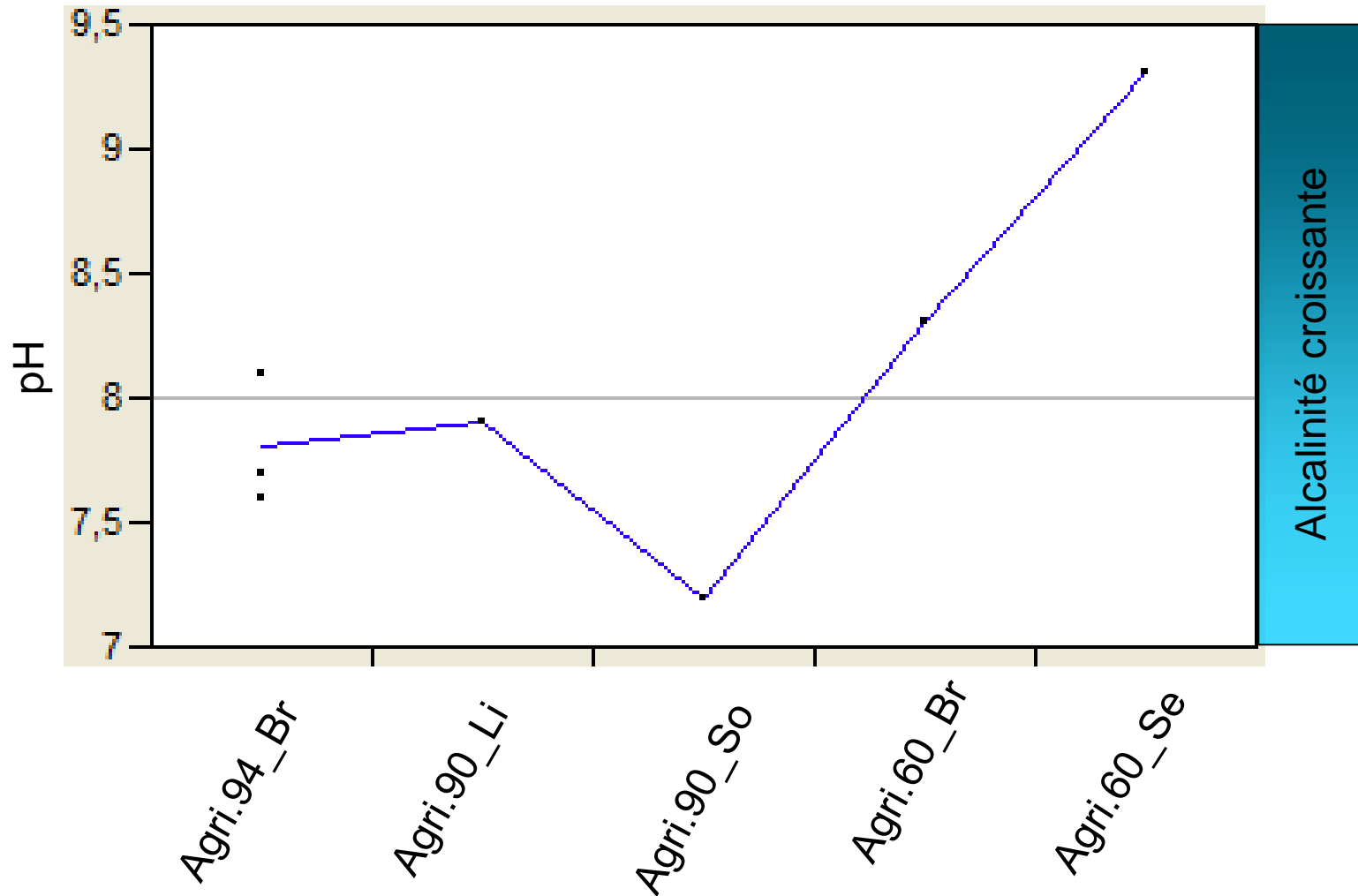


⇒ La qualité des digestats est difficilement prévisible pour leur contenu en N

Résultats - Composition élémentaire des digestats

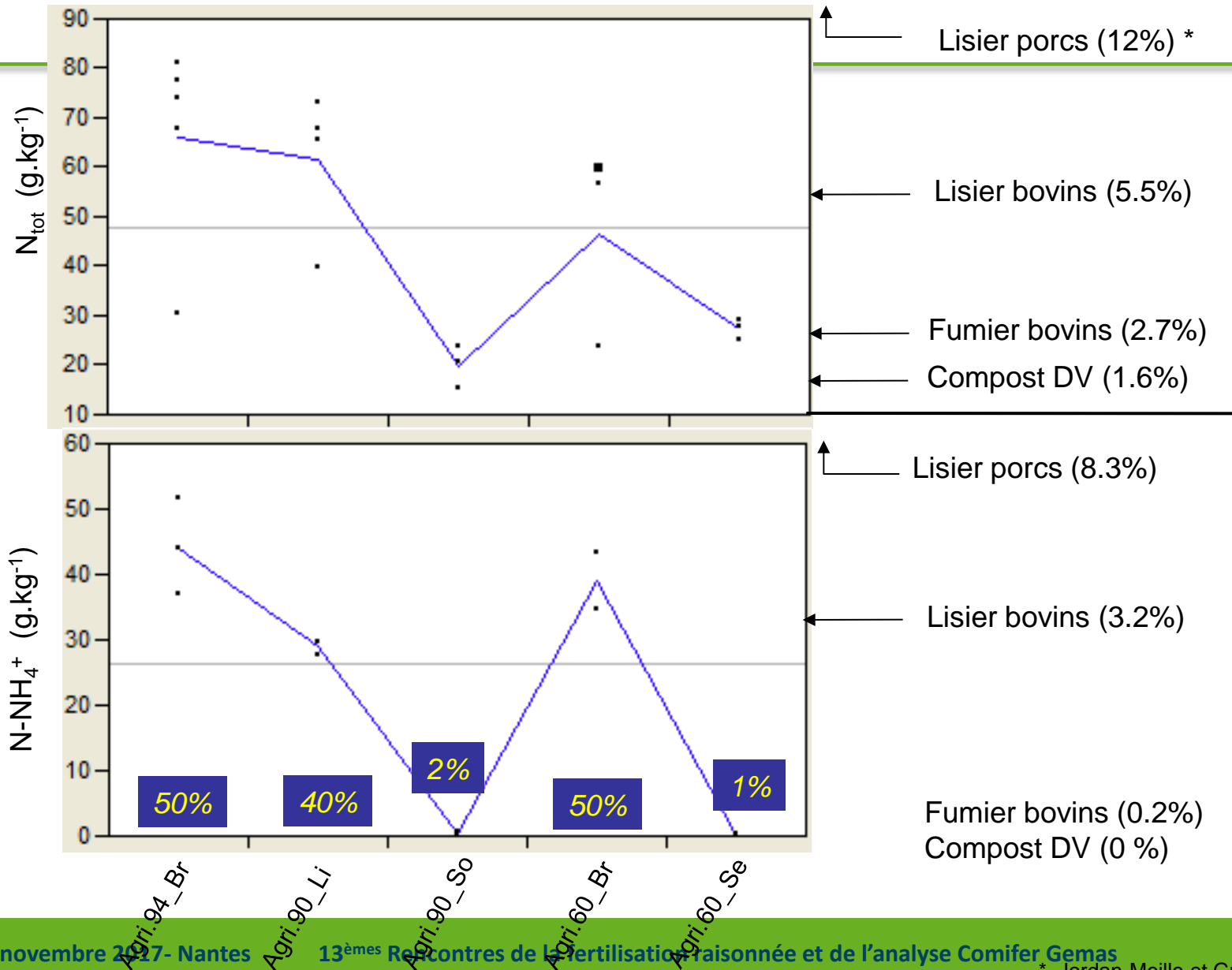


Quel est le pH des digestats ?



Résultats - Composition élémentaire des digestats

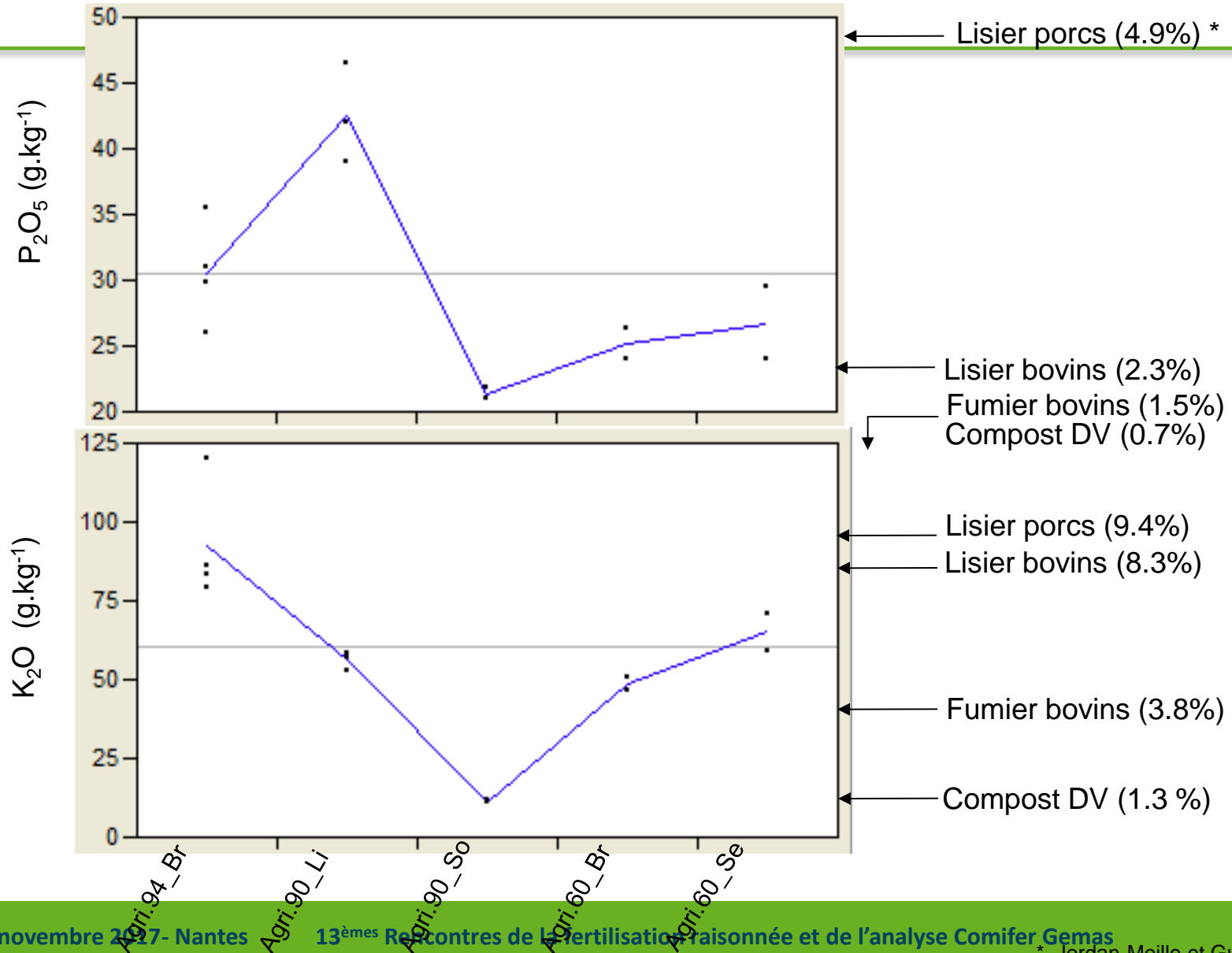
Contenu en azote dans la matière sèche des digestats



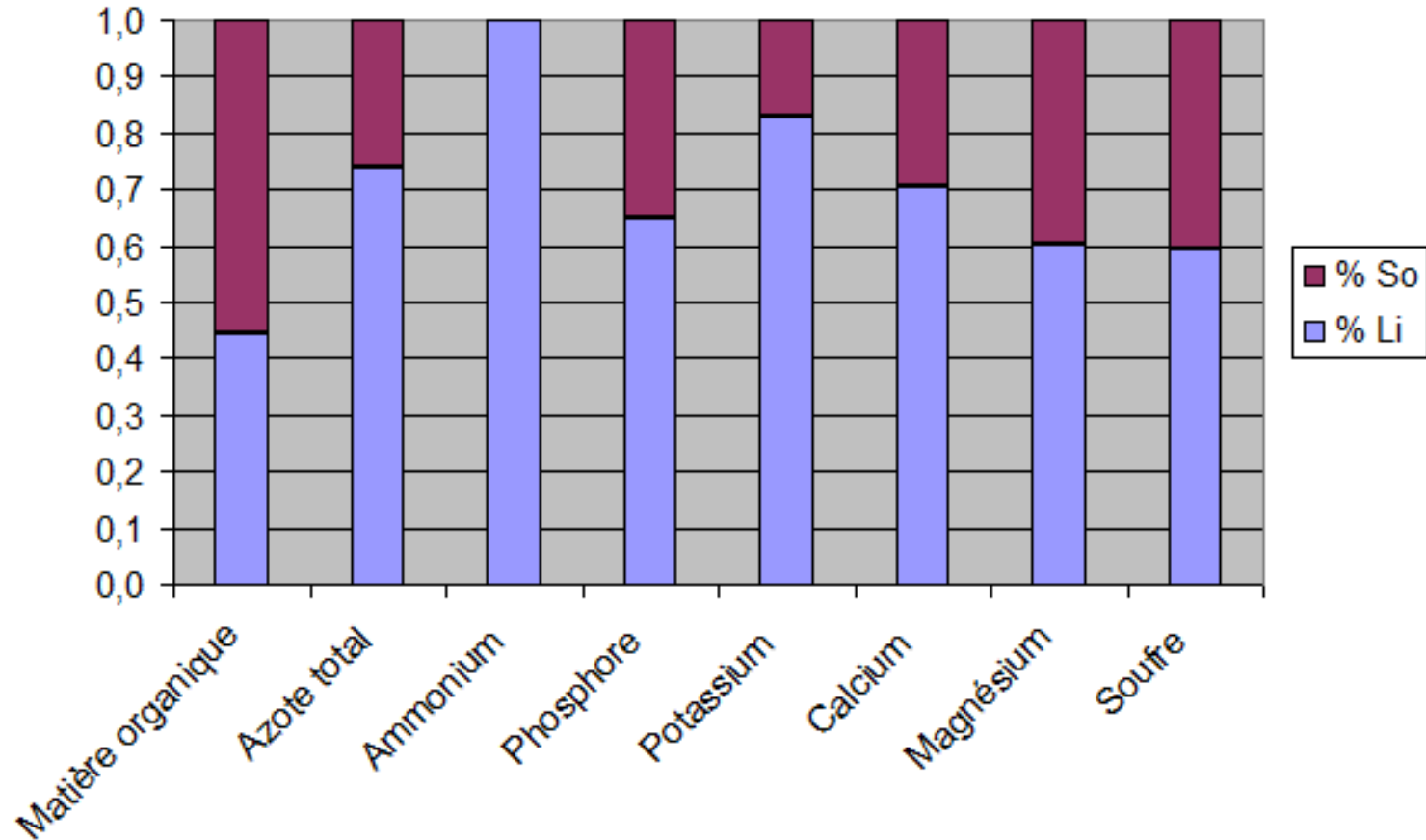
$\frac{N-NH_4^+}{N_{tot}}$

Résultats - Composition élémentaire des digestats

Contenu en minéraux dans la matière sèche des digestats



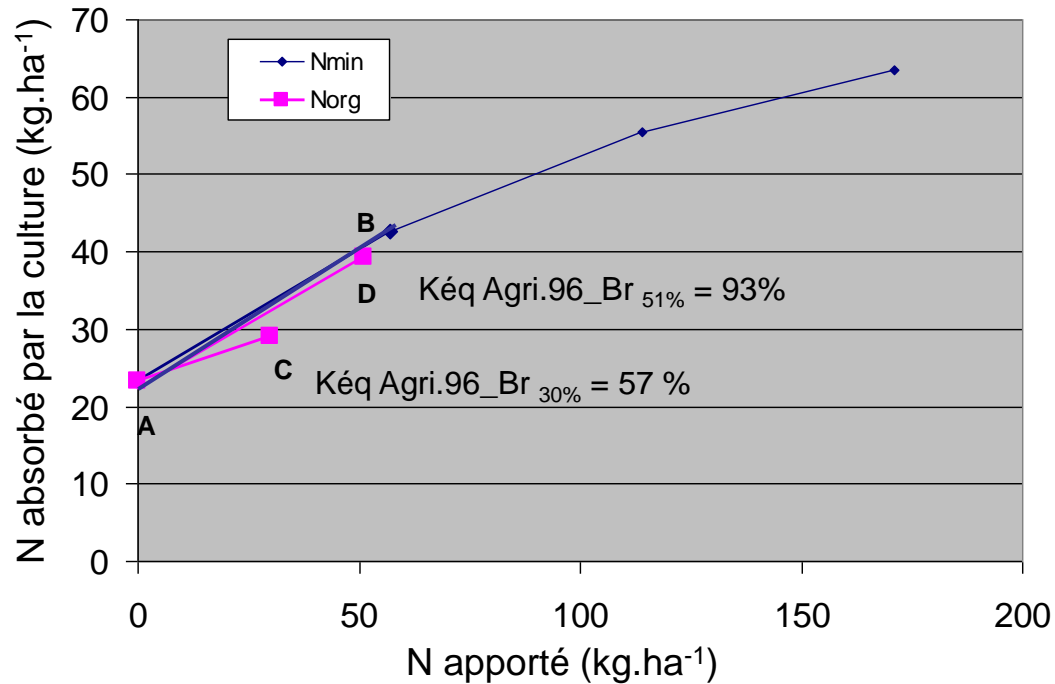
Post-traitements et qualité des digestats



⇒ Effets du séchage : disparition totale de N-NH_4^+

Résultats – Valeur fertilisante azotée

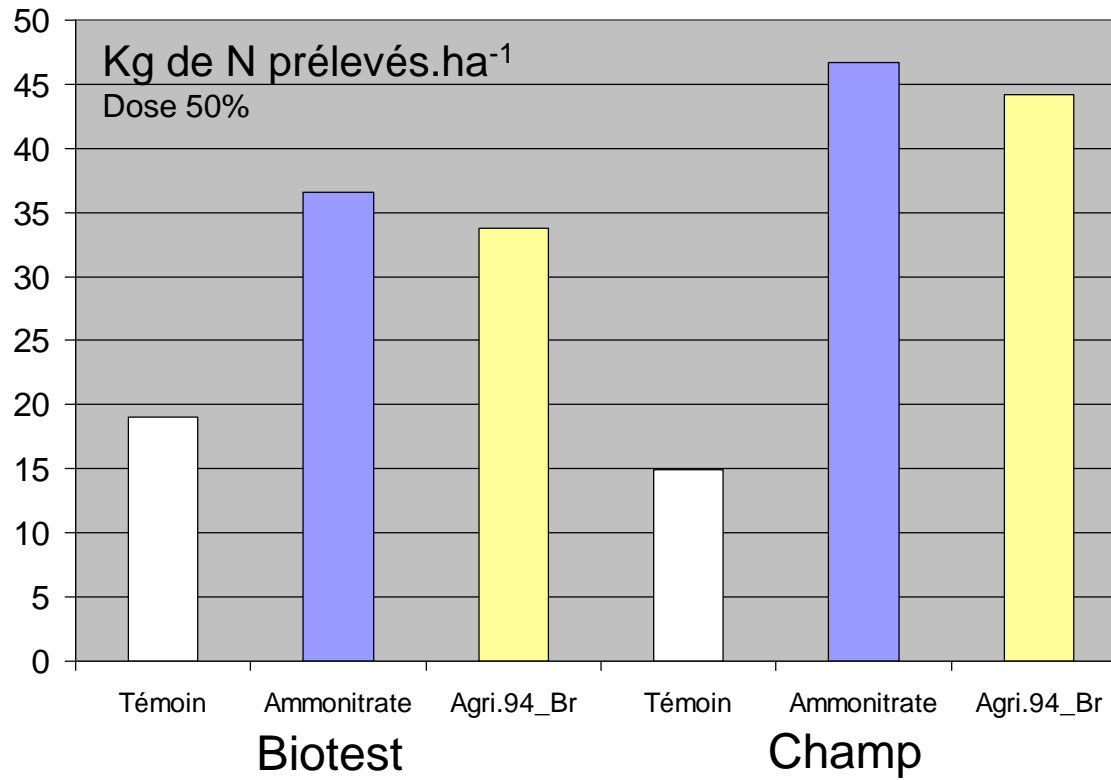
Aperçu de quelques résultats de l'essai au champ



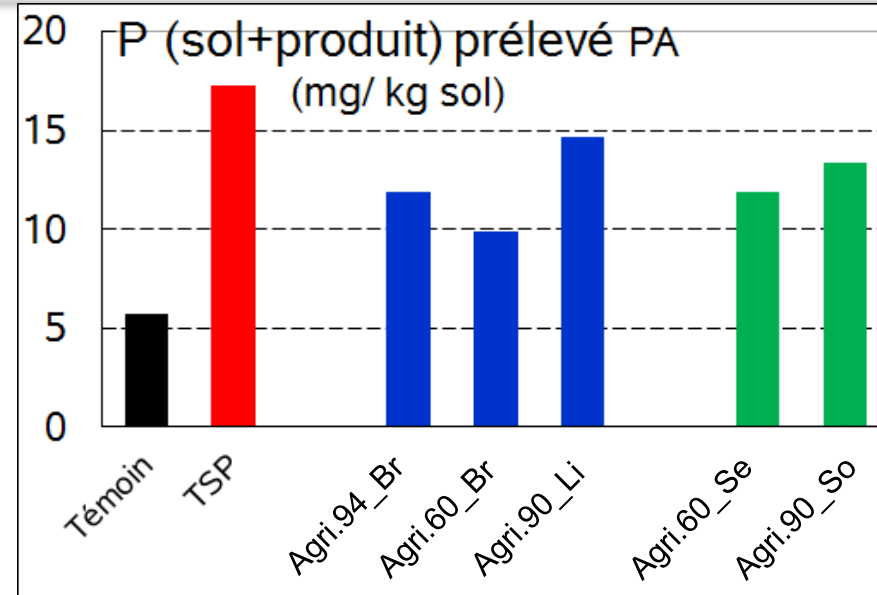
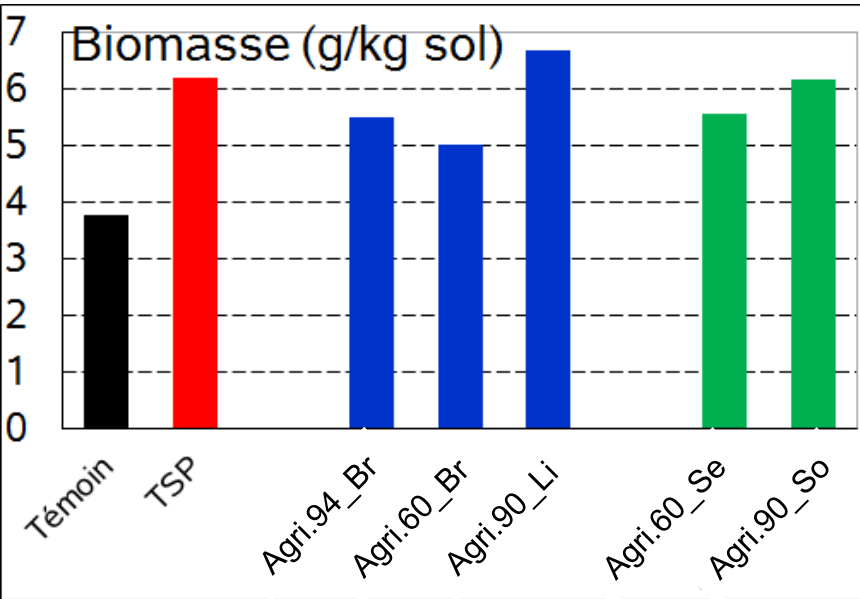
⇒ Doses faibles épandues, résultats peu robustes

Résultats – Valeur fertilisante azotée

Comparaison de quelques ordres de grandeur (biotest vs champ)

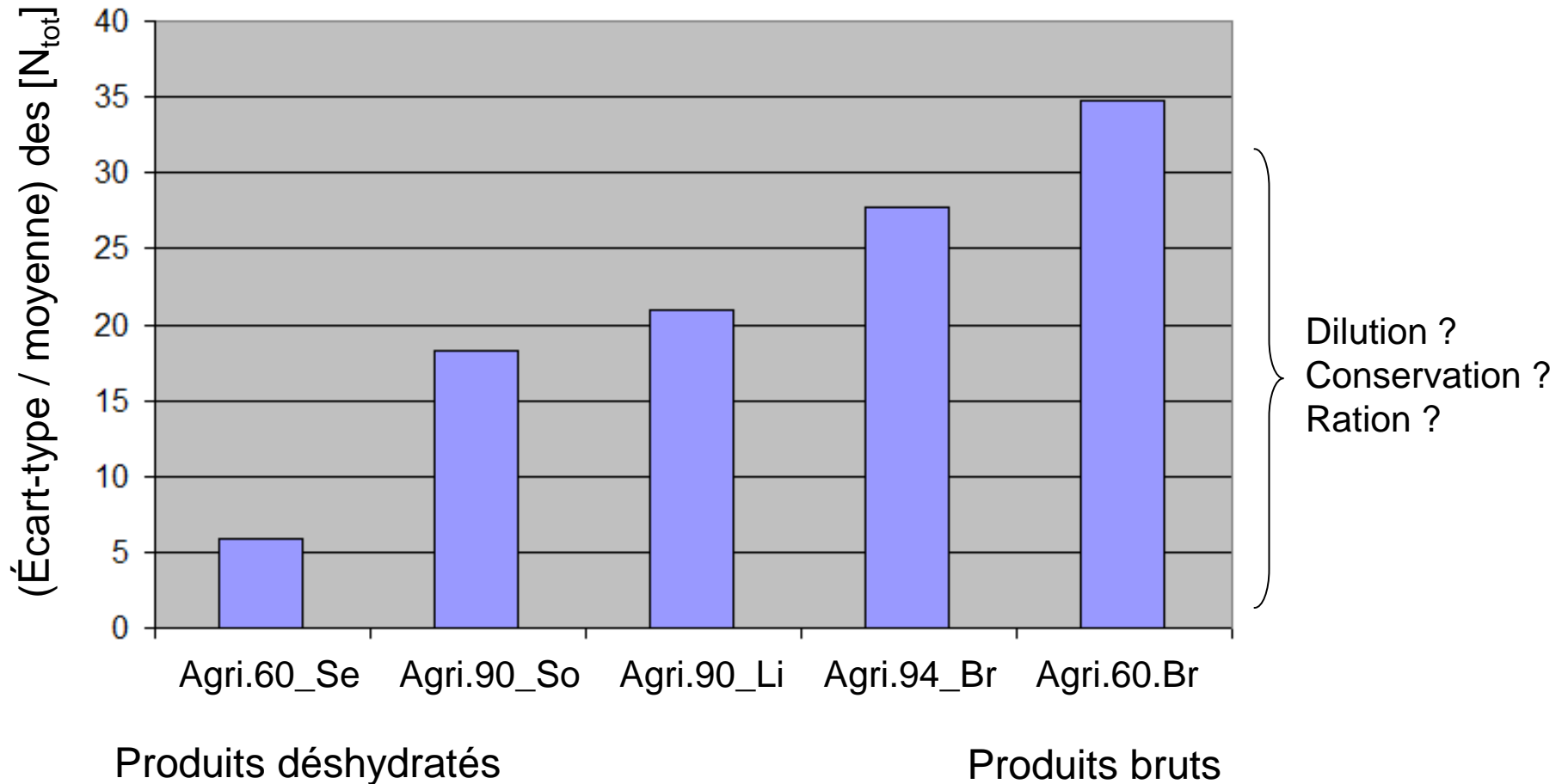


Résultats – Valeur fertilisante phosphatée



- ⇒ Augmentation significative de biomasse et du prélèvement P suite à un apport de P
- ⇒ ↑ dans tous les traitements
- ⇒ Résultats NS entre digestats et TSP sur la biomasse

Variabilité de la qualité des digestats : une dépendance vis-à-vis du type de post-traitement. Exemple de l'azote



Discussion – Valeur agronomique globale

Apports sur la base d'un raisonnement sur l'azote

Ray grass, 7 tonnes.ha⁻¹ : prélèvements de 180 kg N.ha⁻¹ (Lemaire et Salette 1984)

Fourniture du sol : 50 kg

Keq de l'azote du digestat (Agric_B_Q) : 70%

Digestat agricole brut (3 g N_{tot}/kg MB, ou 70g N_{tot}/kg MS)

N à apporter : 190 kg.ha⁻¹, soit 63 m³/ha de digestat brut ou 2.7 tonnes de digestat sec



Discussion – Valeur agronomique globale

Apports sur la base d'un raisonnement sur l'azote

	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	SO_3
Concentrations dans digestat ($mg\ g^{-1}$)	31,0	90,0	35,0	12,0	15
Quantités apportées totales ($kg\ ha^{-1}$)	82,4	239,3	93,0	31,9	39,9
Teneur ds RGI ($kg\ tonne^{-1}$)	8,4	33,7	14	1,8	3,26
Exportations ($kg\ ha^{-1}$)	58,8	235,9	98	12,6	22,82
% satisfaction besoins	140,2	101,4	94,9	253,2	174,7

Comparaison entre les quantités de minéraux contenues dans 2.7 t ha⁻¹ de digestat (correspondant à 190 kg N ha⁻¹) et les quantités exportées par une récolte de 7 T de Ray Grass (COMIFER 2007)

Discussion – Valeur agronomique globale

Apports sur la base d'un raisonnement sur l'azote



2.7 tonnes MS.ha⁻¹

70% de MO

1.9 tonnes MO.ha⁻¹

CO₂

Bilan de MO équilibré

70% de MO stable

1.3 t MO.ha⁻¹

70 tonnes MO.ha⁻¹

1.4 t MO.ha⁻¹

2% de minéralisation annuelle