

Actualisation des tables Keq, méthode, difficultés rencontrées et présentation des tables actualisées

Nathalie Damay et Caroline Le Roux (LDAR),
Jean-Marie Machet (INRA Laon)

Réunion Comifer Groupe N et S et PRO – 20/02/2014

Objectif de la mission

dans le cadre du groupe d'accompagnement national des GREN,
animé par le COMIFER et le RMT F et E

Améliorer le chapitre sur la « Fourniture d'azote par les PRO » de la brochure COMIFER 'Calcul de la fertilisation azotée', en particulier en complétant les tableaux sur 3 points :

1. Augmenter la liste des PRO référencés dans le chapitre
2. Proposer des teneurs moyennes en N total et N-NH₄ pour ces PRO.
3. Proposer des valeurs de coefficients d'équivalence engrais minéral efficace (keq)

Pour les points 2 et 3, les fourchettes de valeur ont été abandonnées pour des valeurs moyennes, assorties d'un écart-type ou d'une fourchette de variations

Méthodologie

- Animation par Prune Rosengarten, avec l'idée d'un résultat très rapide (actualisation de la brochure en mai 2013)
 - Concertation par réunion téléphonique,
 - Visioconf,
 - Echanges mail
 - Beaucoup de dires d'experts
- Extrapolation à partir de résultats d'incubation de labo, simulations avec AzoFert® et expertise.

Sources d'information (1)

EC : Essais au champ IL : Incubation au laboratoire RE : Références Etrangères E:
Expertise SA : Simulations AzoFert AS: Autres Sources

EC (1) : Actualisation des connaissances pour l'épandage des PRO ACTA/ARTELIA juillet
2012

EC (2) : Travail en concertation avec les SATEGE 80-62-59, MUAD02, LDAR et INRA Laon,
2012

EC (3) : CASDAR 2007-2011, gestion durable des sols avec des produits organiques issus
d'élevage.

EC (4) : Brochure Fertiliser avec les engrais de ferme, IE, ITAVI, ITCF, ITP, 2001

EC (5) : Etudes au champ avec courbe de réponse à l'N Casdar "déjections "CRAB / CA45
2011 2012

EC (6) : Engrais de ferme, valeur fertilisante, gestion, environnement, D. Ziegler et M. Hédit
, 1991

EC (7) : Divers essais INRA, CRAB, ARVALIS

EC (8) : Essais réalisés par la CRAB et le CETIOM

EC (9) : Valeur agronomique et utilisation du compost de Guernevez, CA29, EDE29, APV
Compost, 1994-1995

EC (10) : Compost et Etude du comportement agronomique de différents composts de lisier
de porc, D. Hanocq CA29 et ISA terre, juin 1999

Sources d'information (2)

IL (1) : Etude par incubation, CRAB IF2O, 2006

IL (2): Suivi d'installations CERAFEL Bretagne

IL (3): Etude CRAB 2002

IL (4) : Synthèse de la valeur azotée des boues résiduelles de stations d'épuration issue du réseau missions « boues » APCA / ADEME mai 2007

IL (5) : Travaux de Morvan et al, 2005

RE (1) : Chambre d'agriculture Rhénanie du Nord - Westphalie -YARA

E (1) : Expertise du sous-groupe de travail

E (2) : Rattachement à un autre produit

SA (1, 2, 3, 4, 5, 6) : Etude sur l'approche des coefficients d'équivalence engrais (keq) via les simulations réalisées avec AzoFert à partir des courbes de minéralisation, Juillet 2012

Partie 1 – Liste des PRO (1)

- Actualisation de la liste des PRO, avec ajout de nouveaux produits :
 - **Boues activées** (liquides IAA, liquides égouttées IAA, liquides urbaines, liquides égouttées urbaines, filtre presse non chaulées, pâteuses filtre à bandes, lits de séchage, lits à rhizophites, déshydratées chaulées, séchées)
 - **Boues digérées anaérobies** (liquides IAA, déshydratées, déshydratées chaulées, séchées)
 - **Autres boues** (lit bactérien/disque bio liquides, lit bactérien/déshydratées chaulées, décanteur digesteur, décanteur, de curage de lagunes urbaines, physico-chimiques déshydratées, physico-chimiques déshydratées chaulées)
 - **Compost de boues**
 - **Matières de vidange**
 - **Boues de stations d'épuration de papeterie** (mixtes papetières selon C/N, de désencrage)

Partie 1 – Liste des PRO (2)

Partie 1 : Liste des PRO

- Actualisation de la liste des PRO, avec ajout de nouveaux produits :
 - **Compost MIATE** (avec support carbonaté) de 6 mois et +
 - 2 cat. de **compost de déchets verts** (+ de 6 mois et – de 6 mois)
 - 2 cat de **compost urbain** (bio-déchets et ordures ménagères résiduelles)
 - **Digestats de méthanisation agricoles** (bruts, fractions sèches et liquides après séparation de phase)
 - 2 cat de **composts de fumier de porcs** (- de 6 mois et + de 6 mois)
 - **Fumier de cheval**
 - **Fumier de caprins et ovins**
 - 2 cat de **fumier de bovins** (pailleux litière accumulée, décomposé d'étable animaux entravés)
 - 3 cat de **fientes de volailles** (avec litière, 80% MS, 60% MS)
 - 2 cat de **composts de fumiers de bovins** (- de 6 mois, + de 6 mois)
 - 2 cat de **composts de fientes de volailles avec litière** (- de 6 mois, 6 à 10 mois)
 - 3 cat de **lisiers de bovins** (dilué système couvert; non dilué, de veaux)

Partie 2 : Composition des PRO

- Proposer des teneurs et plage de variation au niveau national :
 - N total (teneur)
 - N minéral (% du N total)
- Travail d'harmonisation entre les différentes sources

Exemples de PRO		N total (en kg N /t ou m ³ PB)	Amplitudes (ou écart- type (σ))*	% N min (N- NH ₄ et N- NO ₃) /N total	Amplitudes (ou écart- type (σ))*
Compost MIA TE (avec support carbonaté) de 6 mois et plus		15.0		10%	
Compost de déchets verts	Compost de déchets verts de plus de 6 mois	10.0	$\sigma = +/-50\%$	5%	
	Compost de déchets verts de moins de 6 mois	10.0		5%	
Compost urbain	Compost de bio-déchets	15.0	$\sigma = +/-30\%$	8%	
	Compost d'ordures ménagères résiduelles (par TMB)	10.0	$\sigma = +/-60\%$	10%	
Digestats de méthanisation agricole	Digestats bruts	6.0	$\sigma = +/-50\%$	80%	$\sigma = +/-40\%$
	Fraction liquide après séparation de phase	5.2		46%	
	Fraction sèche après séparation de phase	2.0		11%	
Boues activées	Boues activées liquides IAA (C/N = 4.4)	2.9	0,5 à 5,2	20%	
	Boues activées liquides égouttées IAA (C/N = 4.4)	4.1	2,7 à 5,4	20%	
	Boues activées liquides urbaines (C/N = 4.9)	1.9	1,1 à 2,6	15%	
	Boues activées liquides égouttées urbaines (C/N = 4.9)	3.3	2,2 à 4,4	15%	
	Boues activées filtre presse non chaulées (C/N =5.9)	13.0		18%	
	Boues activées pâteuses filtre à bandes (C/N=5.2)	11.0	7 à 15	8%	
	Boues activées lits de séchage (C/N=5.4)	20.5	4 à 37	9%	1 à 16 %
	Boues activées lits à rhizophytes (C/N = 5.9)	8.0		11%	
	Boues activées déshydratées chaulées (C/N=5.3)	10.2	7,9 à 12,5	4%	
	Boues activées séchées (C/N=6.0)	43.0	38 à 48	7%	1 à 12 %
Boues digérées	Boues digérées anaérobies liquides IAA (C/N=4.2)	2.1		14%	
	Boues digérées anaérobies déshydratées (C/N = 5.9)	11.3		13%	
	Boues digérées anaérobies déshydratées chaulées (C/N=6.0)	9.5	7 à 12	7%	
	Boues digérées anaérobies séchées (C/N=6.1)	43.0		2%	

Exemples de PRO		Teneur en azote total (kg N par tonne ou m ³ de produit brut)	Amplitudes (dans certains cas écart-type (σ))*	Pourcentage d'azote minéral (N-NH ₄ et N- NO ₃) par rapport à l'N total	Amplitudes (dans certains cas écart-type (σ))*
Autres boues	Boues lit bactérien/disque bio liquides (C/N=7.5)	1.9	0,9 à 2,8	15%	
	Boues lit bactérien déshydratées chaulées (C/N =5)	7.5	5 à 10	8%	
	Boues décanteur digesteur (C/N=8.1)	2.3	1,6 à 2,9	12%	
	Boues décanteur (C/N= 6 à 9)	2.1	1,6 à 2,5	24%	13 à 34 %
	Boues de curage de lagunes urbaines (C/N= 6 à 11)	1.7	0,9 à 2,5	11%	5 à 17 %
	Boues physico-chimiques déshydratées (C/N = 5.5 à 17)	8.8	6 à 11,5	17%	8 à 25 %
	Boues physico-chimiques déshydratées chaulées (C/N = 10 à 13)	6.7	4,5 à 8,8	15%	9 à 20 %
traitées thermiquement	stockage de courte durée sur le site de la station (C/N=14)	9.8	9 à 10.6	13%	
	Compost de boues (C/N = 11.8)	11.5		9%	
	Matières de vidange (C/N = 11.8)	1.3	0,6 à 1,9	27%	
Boues de stations d'épuration de papeterie	Boues mixtes papetières C/N < 15	4.8	2,3 à 7,2	5%	
	Boues mixtes papetières 15 < C/N < 20	4.2	3,7 à 4,6	4%	
	Boues mixtes papetières 20 < C/N < 35	2.8	2,1 à 3,4	3%	
	Boues mixtes papetières	1.6	1,2 à 1,9	<1%	
	Boues de désencrage 40 < C/N < 70				
Compost de fumier de porcs ou de LP + paille (Guernevez)	Compost de fumier de porcs jeune (moins de 6 mois)	6.7	$\sigma = +/-30\%$	20%	
	Compost de fumier de porcs âgé (de 6 à 10 mois)	6.7	$\sigma = +/-30\%$	20%	
	Fumier de porcs	8.0	$\sigma = +/-30\%$	20%	
	Fumier de cheval	8.0			
	Fumier de caprins et ovins	7.0			

Exemples de PRO		Teneur en azote total (kg N par tonne ou m ³ de produit brut)	Amplitudes (dans certains cas écart-type (σ))*	Pourcentage d'azote minéral (N-NH ₄ et N-NO ₃) par rapport à l'N total	Amplitudes (dans certains cas écart-type (σ))*
Fumier de bovins	Fumier de bovin pailleux de litière accumulée	5.8	$\sigma = +/-20\%$	10%	
	Fumier de bovin décomposé d'étable animaux entravés	5.3	$\sigma = +/-30\%$	10%	
Fientes de volailles avec litière		25.0	$\sigma = +/-20\%$	20%	
Compost de fumiers de bovins	Compost de fumiers de bovins jeunes de moins de 6 mois	6.3	$\sigma = +/-20\%$	10%	
	Compost de fumiers de bovins vieux de plus de 6 mois	6.5	$\sigma = +/-20\%$	5%	
Compost de fientes de volailles avec litière	Compost de fientes de volailles avec litière de moins de 6 mois	23.0	$\sigma = +/-40\%$	20%	
	Compost de fientes de volailles avec litière de 6 mois à 10 mois	23.0	$\sigma = +/-40\%$	20%	
Fientes de volailles	Fientes de volailles séchées (80%MS)	40.0	$\sigma = +/-30\%$	8%	
	fientes de volailles 60% de MS	24.0	$\sigma = +/-13\%$	16%	$\sigma = +/-25\%$
Lisier de porcs mixte		3.5	$\sigma = +/-30\%$	60%	
Lisier de bovins	Lisier de bovins dilué système couvert	1.6	$\sigma = +/-70\%$	50%	
	Lisier de bovins non dilué	4.5		44%	$\sigma = +/-25\%$
Lisier de veaux		1.5	$\sigma = +/-80\%$	60%	
Vinasse de betterave concentré		20.0	$\sigma = +/-8\%$	2%	$\sigma = +/-10\%$

Partie 3 : Coefficient d'équivalence engrais minéral efficace (keq N)

- Améliorer les valeurs déjà existantes et en proposer pour les nouveaux produits

Rappel des définitions :

$$\mathbf{KeqN} = \text{CAU PRO} / \text{CAU N minéral}$$

CAU : Coefficient Apparent d'Utilisation

$$\text{CAU PRO} = (\text{Nabs XPRO} - \text{Nabs T0N}) / \text{XPRO}$$

$$\text{CAU N minéral} = (\text{Nabs X} - \text{Nabs T0N}) / \text{X}$$

Partie 3 : Coefficient d'équivalence engrais minéral efficace (keq N)

Rappel des définitions (suite) :

- **KeqN Cycle** : c'est le KeqN le plus souvent référencé (à partir de mesures réalisées à la récolte de la culture). Il globalise l'effet azote à l'échelle du cycle entier de la culture quelle que soit la période d'apport du PRO.
- **KeqN bilan** : part de l'effet azote du PRO pendant la période du bilan, après la date d'ouverture.
- En cas d'un apport de PRO après l'ouverture du bilan, le KeqN bilan est égal au KeqN cycle.
- **$Xa = \% N_{pro} \times Q \times Keq N$**
 - % N_{pro} : teneur en azote total du produit brut
 - Q : volume ou masse de produit épandu par hectare
 - Keq : coefficient d'équivalence engrais minéral efficace

Partie 3 : Facteurs de variation

- Facteurs de variation identifiés dans le tableau :
 - Types de PRO
 - Cultures concernées (durée de cycle) :
 - De printemps (types maïs, betterave)
 - D'automne (blé, colza)
 - Périodes d'apport (été avant cipan, fin d'été, automne, printemps)

Exemples de PRO	Cultures concernées	Périodes d'apport	Coefficient d'équivalence azote (keqN)						
			keqN sur la période du bilan	Amplitudes ou écart-type (σ)*	SOURCES	keqN sur la période du cycle	Amplitudes ou écart-type (σ)*	SOURCES	
Compost MIATE**** (avec support carbonaté) de 6 mois et plus		de printemps (type maïs)	Printemps	0,15		IL (1)	0,15		IL (1)
		d'automne (B4)	Automne	0,10		IL (1)			
Compost de déchets verts	Compost de déchets verts de plus de 6 mois	de printemps (type maïs)	Printemps	0,10	0,05 à 0,15	IL (1)	0,10	0,05 à 0,15	IL (1)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,10		EC(2)			
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,10		EC(2)			
		d'automne (colza)	Fin été	0,05		EC(2)			
		d'automne (B4)	Automne	0,05		SA (1)			
	Compost de déchets verts de moins de 6 mois	d'automne (B4)	Automne	0,00		SA (2)			
Compost urbain	Compost d'ordures ménagères résiduelles (par TMB)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,10	0,05 à 0,15	IL (2)	0,10	0,05 à 0,15	IL (2)
		d'automne (B4)	Automne	0,05		IL (1)			
Digestats de méthanisation agricole	Digestats bruts	de printemps (type maïs) apport surface	Printemps	0,50		EC (5)	0,50		EC (5)
		de printemps (type maïs) injection	Printemps	0,90		EC (5)	0,90		EC (5)
		d'automne (colza)	Printemps	0,80			0,80		EC (5)
		d'automne (B4)	Printemps	0,65		EC (5)			
	Fraction liquide après séparation de phase	de printemps (type maïs)	Printemps	0,70		E (2) (rattachement au produit Lisier de Porcs)	0,70		E (2) (rattachement au produit Lisier de Porcs)
	Fraction sèche après séparation de phase	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		RE (1)	0,30		RE (1)
Boues activées	Boues activées liquides IAA (C/N = 4.4)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,50		IL (4)	0,50		IL (4)
	Boues activées liquides égoutées IAA (C/N = 4.4)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,50		IL (4)	0,50		IL (4)
	Boues activées liquides urbaines (C/N = 4.9)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,45		IL (4)	0,45		IL (4)
	Boues activées liquides égoutées urbaines (C/N = 4.9)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,45		IL (4)	0,45		IL (4)
	Boues activées filtre presse non chauffées (C/N = 5.9)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,45		IL (4)	0,45		IL (4)
	Boues activées pâteuses filtre à bandes (C/N=5.2)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,40		IL (4)	0,40		IL (4)
	Boues activées lits de séchage (C/N=5.4)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,40		IL (4)	0,40		IL (4)
	Boues activées lits à rhizophytes (C/N = 5.9)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,40		IL (4)	0,40		IL (4)
	Boues activées déshydratées chauffées (C/N=5.3)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,35		IL (4)	0,35		IL (4)
	Boues activées séchées (C/N=6.0)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,35		IL (4)	0,35		IL (4)
Boues digérées	Boues digérées anaérobies liquides IAA (C/N=4.2)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,50		IL (4)	0,50		IL (4)
	Boues digérées anaérobies déshydratées (C/N = 5.9)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,40		IL (4)	0,40		IL (4)
	Boues digérées anaérobies déshydratées chauffées (C/N=6.0)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		IL (4)	0,30		IL (4)
	Boues digérées anaérobies séchées (C/N=6.1)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		IL (4)	0,30		IL (4)

Exemples de PRO		Cultures concernées	Périodes d'apport	Coefficient d'équivalence azote (keqN)					
				keqN sur la période du bilan	Amplitudes ou écart-type (σ)*	SOURCES	keqN sur la période du cycle	Amplitudes ou écart-type (σ)*	SOURCES
autres boues	Boues lit bactérien/disque bio liquides (C/N=7.5)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		IL (4)	0,30		IL (4)
	Boues lit bactérien déshydratées chaulées (C/N =5)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		IL (4)	0,30		IL (4)
	Boues décanteur digesteur (C/N=8.1)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		IL (4)	0,30		IL (4)
	Boues décanteur (C/N= 6 à 9)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		IL (4)	0,30		IL (4)
	Boues de curage de lagunes urbaines (C/N= 6 à 11)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		IL (4)	0,30		IL (4)
	Boues physico-chimiques déshydratées (C/N = 5.5 à 17)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,25		IL (4)	0,25		IL (4)
	Boues physico-chimiques déshydratées chaulées (C/N = 10 à 13)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,25		IL (4)	0,25		IL (4)
boues digérées stérilisées vermiculées	stockage de courte durée sur le site de la station (C/N=14)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,15		IL (4)	0,15		IL (4)
compost de boues (C/N = 11.8)		de printemps (type maïs)	Printemps	0,15		IL (4)	0,15		IL (4)
litières de vidange (C/N = 11.8)		de printemps (type maïs)	Printemps	0,35		IL (4)	0,35		IL (4)
boues de stations d'épuration de papeterie	Boues mixtes papetières C/N < 15	de printemps (type maïs)	Printemps	0,20		IL (4)	0,20		IL (4)
	Boues mixtes papetières 15 < C/N < 20	de printemps (type maïs)	Printemps	0,10		IL (4)	0,10		IL (4)
	Boues mixtes papetières 20 < C/N < 35	de printemps (type maïs)	Printemps	0,00		IL (4)	0,00		IL (4)
	Boues mixtes papetières	de printemps (type maïs)	Printemps	Immobilisation de l'azote du sol à hauteur de 10 à 60 % de l'azote apporté		IL (4)	Immobilisation de l'azote du sol à hauteur de 10 à 60 % de l'azote apporté		IL (4)
	Boues de désencrage 40 < C/N < 70	de printemps (type maïs)	Printemps			IL (4)			IL (4)
compost de fumier de vaches ou de LP + paille (Luzerne)	Compost jeune (moins de 6 mois)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,45	$\sigma = +/-0,20$	EC (9) + EC(10) +IL (1)	0,45	$\sigma = +/-0,20$	EC (9) + EC(10) +IL (1)
		d'automne (colza)	Fin été	0,20		E (1)	0,35		E (1)
		d'automne (blé)	Automne	0,05		E (1)	0,07	$\sigma = +/-0,04$	EC (1)
	Compost âgé (de 6 à 10 mois)	de printemps (type maïs)	Printemps	0,25	$\sigma = +/-0,20$	IL (2)	0,25	$\sigma = +/-0,20$	IL (2)
		d'automne (colza)	Printemps	0,10		E (1)	0,20		E (1)
urrier de cheval		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,20		EC (2)			
urrier d'ovins et caprins		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,15		EC (2)			
urrier de cheval, caprins et ovins		de printemps (type maïs)	Printemps	0,20		E(1) + EC(2)	0,20		E(1) + EC (2)
		d'automne (colza)	Fin été	0,10		EC (2)			EC (2)
		d'automne (blé)	Automne	0,10		EC (2)			
urrier de porcs		de printemps (type maïs)	Printemps	0,45	$\sigma = +/-0,20$	EC (3)	0,45	$\sigma = +/-0,20$	EC (3)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,15		EC (2)			
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,15		EC (2)			
		d'automne (colza)	Fin été	0,10		EC(2)	0,35		E (1)
		d'automne (colza)	Printemps	0,15		EC(2)			
		d'automne (blé)	Printemps	0,20	0,10 à 0,30	EC (2)			
	d'automne (blé)	Automne	0,10		EC(2)	0,12	$\sigma = +/-0,06$	EC (3)	

Exemples de PRO		Cultures concernées	Périodes d'apport	Coefficient d'équivalence azote (keqN)					
				keqN sur la période du bilan	Amplitudes ou écart-type (σ))*	SOURCES	keqN sur la période du cycle	Amplitudes ou écart-type (σ))*	SOURCES
Fumier de bovins	Fumier de bovin paillé	de printemps (type maïs)	Printemps	0,25	$\sigma = +/-0,19$	EC (2) + EC (4) + IL(3) + EC(7)	0,25	$\sigma = +/-0,19$	EC (2) + EC (4) + IL(3) + EC(7)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,10		EC (2)			
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,10		EC (2)			
		d'automne (colza)	Fin été	0,10		EC (2)	0,20		E (1)
		d'automne (B4)	Automne	0,10		SA (3) + EC (1)	0,10		E (1)
	Fumier de bovin décomposé	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30	$\sigma = +/-0,19$	EC (2)+ EC (3)	0,30	$\sigma = +/-0,19$	EC (2) + EC (3)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,10		EC (2)	0,15		E (1)
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,20		EC (2)			
		d'automne (colza)	Fin été	0,10		EC (2)	0,22	$\sigma = +/-0,13$	EC (3)
		d'automne (B4)	Automne	0,10		SA (4) + EC (1) + EC (2)	0,12	$\sigma = +/-0,07$	EC (3)
Fientes de volailles avec litière	avec incorporation immédiate	de printemps (type maïs)	Printemps	0,60		EC (4)	0,60		EC (4)
		d'automne (colza)	Fin été	0,20		E (1)	0,55		E (1)
		d'automne (B4)	Automne***	0,10		SA (5) + EC (1)			
	avec incorporation dans les 24h	de printemps (type maïs)	Printemps	0,50	$\sigma = +/-0,17$	EC (3)	0,50	$\sigma = +/-0,17$	EC (3)
		d'automne (B4)	Automne***	0,10		E (1)	0,22	$\sigma = +/-0,05$	EC (3)
		d'automne (colza)	Fin été	0,17		E(1)	0,50	$\sigma = +/-0,24$	EC (3)
	apport en végétation	d'automne (B4)	Printemps	0,45	$\sigma = +/-0,17$	EC (3)	0,45	$\sigma = +/-0,17$	EC (3)
		d'automne (colza)	Printemps	0,45	$\sigma = +/-0,17$	EC (3)	0,45	$\sigma = +/-0,17$	EC (3)
	Compost de fumiers de bovins	Compost de fumiers de bovins jeune de moins de 6 mois	de printemps (type maïs)	Printemps	0,20	$\sigma = +/-0,19$	EC (3) + IL(3)	0,20	$\sigma = +/-0,19$
d'automne (colza)			Fin été	0,12		E (1)	0,20	$\sigma = +/-0,13$	EC (3)
d'automne (B4)			Automne	0,05		E (1)	0,11	$\sigma = +/-0,07$	EC (3)
Compost de fumiers de bovins vieux de plus de 6 mois		de printemps (type maïs)	Printemps	0,10	$\sigma = +/-0,19$	EC (2)+ EC (3)	0,10	$\sigma = +/-0,19$	EC (2)+ EC (3)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,15		EC (2)			
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,15		EC (2)			
		d'automne (colza)	Fin été	0,10		EC (2)	0,17		E (1)
		d'automne (B4)	Automne	0,05		EC (2)	0,10		IL (5)
Compost de fientes de volailles avec litière	Fientes de volailles de plus de 4 mois et Compost de fientes de volailles avec litière de moins de 6 mois	de printemps (type maïs)	Printemps	0,45	$\sigma = +/-0,19$	EC (3) + IL (1)	0,45	$\sigma = +/-0,19$	EC (3)
		d'automne (colza)	Fin été	0,12		E (1)	0,35		EC (8)
		d'automne (B4)	Automne***	0,05		SA (6)	0,14	$\sigma = +/-0,04$	EC (3)
	Compost de fientes de volailles avec litière de 6 mois à 10 mois	de printemps (type maïs)	Printemps	0,25	$\sigma = +/-0,19$	EC (3)	0,25	$\sigma = +/-0,19$	EC (3)
Fientes de volailles	avec incorporation immédiate	de printemps (type maïs)	Printemps	0,65		IL (1)+ EC (2)	0,65		IL (3)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,10		EC (2)			
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,10		EC (2)			
		d'automne (B4)	Automne***	0,10		EC (2)			
	avec incorporation dans les 24h	de printemps (type maïs)	Printemps	0,55		IL (4)	0,55		IL (4)
		d'automne (B4)	Printemps	0,45		E (1)			

Exemples de PRO		Cultures concernées	Périodes d'apport	Coefficient d'équivalence azote (keqN)					
				keqN sur la période du bilan	Amplitudes ou écart-type (σ) [*]	SOURCES	keqN sur la période du cycle	Amplitudes ou écart-type (σ) [*]	SOURCES
Lisier de porcs mixte	avec incorporation immédiate	de printemps (type maïs)	Printemps	0,70	$\sigma = +/-0,25$	EC (2) + EC (7)	0,70	$\sigma = +/-0,25$	EC (2) + EC (7)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,05		EC (2)			
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,05		EC (2)			
		d'automne (colza)	Fin été	0,05		EC (2)	0,65		EC(8)
		d'automne (blé)	Automne***	0,05		EC (2)			
	avec incorporation dans les 24h ou sans incorporation dans le cas d'un apport sur blé au printemps	de printemps (type maïs)	Printemps	0,50	$\sigma = +/-0,25$	EC (3)	0,50	$\sigma = +/-0,25$	EC (3)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,05		E (1)	0,48	$\sigma = +/-0,19$	EC (3)
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,05		E(1)			
		d'automne (blé)	Automne***	0,05		E (3)	0,42	$\sigma = +/-0,22$	EC (3)
		d'automne (colza)	Fin été	0,00		E (4)	0,31	$\sigma = +/-0,27$	EC (3)
		d'automne (colza)	Printemps	0,60		E (1)	0,62	$\sigma = +/-0,16$	EC (3)
	apport en végétation	d'automne (colza)	Printemps	0,56		E (1)	0,56	$\sigma = +/-0,18$	EC (3)
Lisier de bovins	avec incorporation immédiate	de printemps (type maïs)	Printemps	0,65		EC (2) + EC (6)	0,65		EC (2) + EC (6)
		de printemps (type maïs)	Automne	0,10		EC(2)			
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,10		EC(2)			
		d'automne (blé)	Automne***	0,10		EC (2)			
		d'automne (colza)	Fin été	0,15		EC (2)	0,40		EC(4)
	avec incorporation dans les 24h	de printemps (type maïs)	Printemps	0,50		EC(6)	0,50		EC (6)
		d'automne (colza)	Fin été	0,10		E (1)	0,35		E (1)
	apport en végétation	d'automne (blé)	Printemps	0,50		EC(2)			
		d'automne (colza)	Printemps	0,40		E (1)			
Lisier de veaux	avec incorporation immédiate	de printemps (type maïs)	Printemps	0,70		E (2) (rattachement au produit Lisier de Porcs)	0,70		E (2) (rattachement au produit Lisier de Porcs)
	avec incorporation dans les 24h	de printemps (type maïs)	Printemps	0,50		E (2) (rattachement au produit Lisier de Porcs)	0,50		E (2) (rattachement au produit Lisier de Porcs)
Vinasse de betterave concentrée		de printemps (type maïs)	Printemps	0,50		EC (2)	0,50		EC (2)
		de printemps (type betterave)	Printemps	0,65		EC (2)	0,65		EC (2)
		de printemps (type maïs)	Été avant CIPAN**	0,10		EC (2)			
		d'automne (blé)	Automne***	0,15		EC (2)			
		d'automne (blé)	Printemps	0,45		EC (2)			
		d'automne (colza)	Fin été	0,15		EC (2)			
		d'automne (colza)	Printemps	0,45		EC (2)			

Limites et difficultés rencontrées (1)

- **KeqN Cycle :**
 - Le plus facile à obtenir à partir de mesures réalisées à la récolte de la culture
 - C'est le plus référencé
 - Coefficient fortement dépendant des pratiques culturales et de la façon dont la période d'interculture est gérée, pour les apports d'automne.
 - Ne devrait pas être utilisé dans l'équation du bilan pour les apports avant ouverture du bilan
- **KeqN Bilan :**
 - Plus difficile à acquérir pour les PRO apportés avant ouverture du bilan car nécessité de mesurer la part d'azote du PRO absorbé par la culture ainsi que la part d'azote du PRP présente dans le reliquat d'azote minéral à l'ouverture du bilan.
 - Il permet de calculer X_a dans l'équation de la méthode du bilan.

Limites et difficultés rencontrées (2)

- Peu de références solides sur le Keq bilan qui est utilisé pour le calcul de X_a
- Variabilité des Keq difficile à prendre en compte en fonction :
 - De la variabilité des produits au sein d'une même catégorie (conduite d'élevage, process, durée de maturation, conditions de stockage...)
 - Du contexte pédoclimatique (minéralisation de N org des PRO, risque de lixiviation, absorption N par les cultures)
 - Modalités d'apport

Limites et difficultés rencontrées (3)

- Keq N sont issus de mesures de CAU dans des expérimentations au champ :
 - essentiellement grand ouest de la France sur des effluents d'élevage
 - Détermination du CAU PRO (à partir de courbe de réponse à la dose de PRO) → Incertitudes sur l'estimation du Keq
- Keq : terme très intégrateur (confusion d'effets)
- Peu de références sur certains produits et de données pour des apports à l'automne avant CI

Conclusions et perspectives

- Clarification des définitions de la brochure (ex CAU)
- Comment extrapoler les Keq des tableaux de la brochure en pratique pour d'autres situations culturelles ?
- Réseaux expérimentaux à développer