

NOTE MÉTHODOLOGIQUE

Validée par le Groupe Régional d'Expertise Nitrates de Bretagne - version 2017

SOMMAIRE

Introduction	p 2
I - Déclinaison de la méthode du bilan prévisionnel à l'échelle de la région Bretagne	
1. Adaptation à la Bretagne de la méthode du bilan prévisionnel du COMIFER, cas du maïs , des céréales et du colza	p 3
2. Cas des prairies	p 6
3. Cas des cultures dérobées	p 7
4. Cas des légumes industrie	p 8
5. Cas des légumes frais	p 8
II - Apports d'azote des déjections animales	p 9
1. Détermination de l'azote à gérer sur l'exploitation	p 9
2. Détermination des quantités d'azote maîtrisable et non maîtrisable	p 9
3. Prise en compte des pertes liées au stockage	p 11

INTRODUCTION

Il est confié au GREN la mission d'établir **une écriture opérationnelle du calcul a priori** de la dose d'azote à apporter par les fertilisants azotés

- soit à partir de la méthode du bilan d'azote,
- soit via la définition d'un plafond d'azote total ou d'une dose pivot.

Cette écriture doit être déclinée **pour toutes les cultures** de la zone vulnérable de la région.

Tous les paramètres de la méthode doivent être précisés soit par la mesure, soit par la modélisation, soit par l'utilisation de valeurs par défaut.

Les cultures présentes en Bretagne, pour lesquelles une écriture opérationnelle est définie, sont précisées en **annexe 2**.

L'arrêté GREN, ses annexes et les résultats annuels des réseaux régionaux des Reliquats Sortie Hiver sont consultables sur le site Internet de la DRAAF

<http://www.draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/Directive-Nitrate-arrete-relatif-a>

Le référentiel agronomique régional est consultable sur le site

<http://www.bretagne.synagri.com/synagri/referentiel-agronomique-bretagne>

Vous y trouverez également l'ensemble des grilles de cet arrêté et les résultats annuels des réseaux régionaux des Reliquats Sortie Hiver.

I - Déclinaison de la méthode du bilan prévisionnel à l'échelle de la région Bretagne

1/ Adaptation de la méthode du bilan prévisionnel du COMIFER aux céréales, maïs et colza

Le GREN Bretagne part de l'équation (3) du COMIFER établie dans le guide méthodologique «Calcul de la fertilisation azotée» (Brochure COMIFER, 2011, p. 22).

[1] : $R_f - R_i = [M_h + F_s + F_{ns} + M_{hp} + M_r + M_{rCi} + M_{pro1} + M_{pro2} + A + N_{irr} + X + X_{pro}] - [P_f - P_i + I_x + G_s + G_x + L]$	
Avec :	
États initial et final	
R _f	Quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan
R _i	Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan
Entrée d'azote dans le système sol-plante	
M _h	Minéralisation nette de l'humus du sol*
F _s	Fixation symbiotique d'azote atmosphérique par la culture
F _{ns}	Fixation non symbiotique d'azote atmosphérique
M _{hp}	Minéralisation nette due à un retournement de prairie
M _r	Minéralisation nette de résidus de récolte
M _{rCi}	Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire
M _{pro1}	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°1 apporté avant l'ouverture du bilan
M _{pro2}	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°2 apporté après l'ouverture du bilan
A	Apports atmosphériques (apports météoriques = dépôts secs ou humides)
N _{irr}	Azote apporté par l'eau d'irrigation
X	Apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse
X _{pro}	Azote de la fraction minérale d'un PRO apporté après la date d'ouverture du bilan
Sorties d'azote du système sol-plante	
P _f	Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan
P _i	Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan
I _x	Organisation par voie microbienne aux dépens de l'azote minéral apporté sous forme d'engrais de synthèse ou de fraction minérale du PRO
G _s	Pertes du sol par voie gazeuse (dénitrification pour l'essentiel)
G _x	Pertes par voie gazeuse (volatilisation, dénitrification) aux dépens de l'engrais minéral (X) et de la fraction minérale du PRO apporté après l'ouverture du bilan (X _{pro})
L	Pertes par lixiviation du nitrate

Plusieurs simplifications à cette équation sont apportées en considérant les hypothèses suivantes :

- les pertes du sol par voie gazeuse et la fixation non symbiotiques sont des phénomènes de même ampleur et du même ordre de grandeur donc $G_s = F_{ns}$
- la méthode du bilan prévisionnel s'applique dans la quasi-totalité des situations à des cultures non légumineuses donc $F_s = 0$

Par transformation, on obtient donc l'équation suivante :

Equation (3) du COMIFER:

$$Pf = Pi + Ri + Mh + Mhp + Mr + Mrci + Mpro1 + Mpro2 + A + Nirr + X + X Pro - lx - Gx - L - Rf$$

Principes de l'écriture régionale du bilan et analogie avec la forme proposée par le COMIFER

- les termes lx et Gx (pertes par voie gazeuse) et L (pertes par lixiviation du nitrate) sont implicitement pris en compte ("reportés") dans le terme Mh ;
- la disponibilité en azote à court terme des effluents d'élevage est approchée de manière globale par le terme Xa, qui donne la disponibilité en azote résultant de la forme minérale et de la minéralisation de la fraction organique sur la durée du cycle cultural.

Ainsi le GREN de Bretagne retient l'équation (3') proposée par le COMIFER (p. 23 de la brochure de 2011), correspondant à la formulation d'ores et déjà paramétrée dans les outils de raisonnement de la fertilisation en Bretagne :

$$(3') Pf = Pi + Ri + Mh + Mhp + Mr + Mrci + Nirr + X + Xa - L - Rf$$

Précisions sur le terme Mh de l'équation 3'

L'approche régionale du terme Mh diffère du calcul proposé par le COMIFER, en effet :

- le calcul de Mh proposé par le COMIFER repose sur l'application d'un formalisme selon lequel la minéralisation des MO humifiées du sol est déterminée par une composante "Sol" et une composante "Système". La composante "Sol" est calculée par le produit du stock de N organique de la couche "minéralisante" du sol par un coefficient K2 fonction de la teneur en argile et en calcaire du sol. Il s'avère que les paramétrages adoptés au niveau national et validés par le COMIFER ne sont pas satisfaisants et sont particulièrement inadaptés dans notre région, à la fois du fait des caractéristiques des sols (gamme de teneurs en N organique) et des caractéristiques des systèmes de cultures. Ceci a conduit à proposer pour les sols de Bretagne une base de raisonnement différente, selon laquelle la composante "Sol" n'est plus calculée en fonction du K2 et de la teneur en N organique du sol, mais à partir de références régionales issues de mesures.
- Classiquement en Bretagne, le terme « Mha » est utilisé pour paramétrer le supplément de minéralisation résultant des apports à moyen terme d'effluents, ce terme étant maintenant intégré au terme Mh dans la nouvelle écriture proposée par le COMIFER. Ce terme Mha globalise les effets à moyen et long terme des apports d'effluents, avec pour conséquence que la composante "effluent" de la composante "Système" du flux Mh est intégrée dans le flux Mha.

Ainsi le GREN de Bretagne retient les principes suivants :

Le terme Mh dans l'équation (3') du COMIFER comprend :

- le poste « *contribution de l'humus du sol et du système de culture* », dans lequel sont également intégrés A, Gx, lx et L (de l'équation 3) dénommé « *Mhs* », compte tenu du mode d'évaluation de ce terme par mesure au champ et sur plusieurs années, avec :
 - A : apports atmosphériques
 - Gx : pertes par voie gazeuse aux dépens de l'engrais minéral et de la fraction minérale du Produit Résiduaire Organique (PRO) apporté après l'ouverture du bilan
 - L : pertes par lixiviation du nitrate

- Ix : organisation par voie microbienne aux dépens de l'azote minéral apporté sous forme d'engrais de synthèse ou de fraction minérale du PRO
- le poste Mha globalisant les effets à moyen et long terme des apports d'effluents.

Comme expliqué précédemment, en Bretagne, le poste Mha «minéralisation nette due aux amendements organiques des années précédentes» s'ajoute aux termes Mhs, Mhp, Mr et MrCi (cf. tableau page 3).

Précisions sur les termes Nirr de l'équation 3'

Nirr : azote apporté par l'eau d'irrigation estimé à zéro en Bretagne compte tenu de la faible irrigation des grandes cultures en Bretagne.

Précisions sur les termes Mr et MrCi de l'équation 3'

les postes Mr et MrCi ne se cumulent pas dans les conditions climatiques bretonnes. C'est pourquoi l'équation ci-dessous comporte la parenthèse Mr ou MrCi.

On obtient donc l'équation suivante :

$$Pf = Pi + Ri + Mhs + Mha + Mhp + (Mr \text{ ou } MrCi) + X + Xa - Rf$$

D'où :

$$X+Xa = (Pf + Rf - Pi) - (Ri + Mhs + Mha + Mhp + (Mr \text{ ou } MrCi))$$

Le poste Pf étant égal au produit des besoins par unité produite (b) et de l'objectif de rendement (y), la dose d'équivalent-engrais à apporter devient :

$X+Xa = (b \times y - Pi + Rf) - (Ri + Mhs + Mha + Mhp + (Mr \text{ ou } MrCi))$
--

On prend donc bien au final les mêmes flux que dans l'équation (3') du COMIFER, mais avec une compartimentation et un paramétrage différents, calés sur les références moyennes régionales existantes.

RÉCAPITULATIF : POSTES DE L'ÉQUATION DU BILAN POUR LE MAÏS, LES CÉRÉALES ⁽¹⁾ ET LE COLZA EN BRETAGNE ⁽²⁾ en kg N/ha	
X : apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse	Correspond à la dose d'N minéral
Xa : équivalence engrais azoté des effluents organiques apportés	Correspond à la dose d'azote équivalent engrais disponible pour la culture
Pf : Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan Pf = b x y	b : Besoin par unité, par variété, par unité produite y : Objectif de rendement selon zonage local ou départemental
Rf : Quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan	Azote dans le sol non valorisable
Pi : Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan	
Ri : Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan	Azote mesuré via le réseau régional des Reliquats Sortie Hiver (RSH)
Mhs : contribution de l'humus du sol et du système de culture	Ce terme prend en compte A, Gx et lx et L. Il ne prend pas en compte l'arrière effet des effluents Mha.
Mha : fournitures d'azote par les amendements organiques des années précédentes	
Mhp : Minéralisation nette due à un retournement de prairie	
Mr ou Mrci : Minéralisation nette de résidus de récolte ou des CIPAN après destruction	Les postes Mr et Mrci ne se cumulent pas dans les conditions climatiques bretonnes

- (1) la date d'ouverture du bilan correspond, pour le maïs et les céréales, à la période fin février-début mars.
- (2) Dans le cas du colza graine, on distingue deux cycles de végétation : pour le premier cycle (automne-hiver) une fertilisation est possible jusqu'à un plafond de 65 uN équivalent engrais. L'azote absorbé par la culture pendant ce premier cycle est pris en compte dans le bilan prévisionnel du deuxième cycle. L'ouverture du bilan pour le deuxième cycle correspond à une date de croissance active des plantes, habituellement obtenue vers la fin janvier en Bretagne.

2/ Déclinaison de la méthode du bilan prévisionnel pour les PRAIRIES en Bretagne

La dose totale d'apport en azote pour une prairie est égale à :
(Besoins – Fournitures (par le sol+ légumineuses)) / CAU ³

L'équation du COMIFER retenue pour le calcul de la fertilisation azotée sur prairie est l'équation 4' (p.24 de la Brochure COMIFER 2011) :

$$(4') \quad Pf = P0 + (X+Xa) \times CAU$$

où P0 est un terme générique de fourniture du sol.

Le GREN de Bretagne retient les hypothèses suivantes:

$$Pf = Nexp$$

$$P0 = Mhs + Nrest + Fs$$

d'où

$X + Xa = (Nexp - (Mhs + Nrest + Fs)) / CAU$
--

³ Voir le détail pour les prairies à l'annexe 8

POSTES DE L'ÉQUATION DU BILAN DU GREN BRETAGNE POUR LES PRAIRIES En kg N/ ha	
X : apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse	Correspond à la dose d'N minéral
Xa : équivalence engrais azoté des effluents organiques apportés	Correspond à la dose d'azote équivalent engrais disponible pour la culture
Nexp : quantité d'azote exporté $N_{exp} = b \times y$	Correspond à la quantité d'azote contenue dans les parties aériennes produites b : besoin par unité produite (en kg N/T MS) y : objectif de rendement (en T MS/ha)
Mhs + Nrest	Fournitures par le sol liées aux arrières effets des effluents et au système de culture + Effet direct des restitutions au pâturage de l'année
Fs	Contribution des légumineuses
CAU	Coefficient apparent d'utilisation de l'engrais

3/ Cas des CULTURES DÉROBÉES, y compris Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE)

Rappel : les cultures dérobées sont des cultures présentes entre deux cultures principales dont la production est exportée ou pâturée. Ces cultures sont donc différentes des cultures pièges à nitrates (CIPAN) qui ne sont, ni récoltées, ni fauchées, ni pâturées.

NB : La grille de calcul prairie n'est pas adaptée au calcul de la fertilisation d'une culture de Ray Grass d'Italie en dérobée (annexe 7).

Plafonds d'apport fertilisant au semis pour les cultures de dérobées et CIVE :

- Pour un semis en juillet, les apports au semis peuvent être de 50 uN équivalent engrais maxi.
- Pour un semis en août, les apports au semis peuvent être de 40 uN équivalent engrais maxi.
- Pour un semis en septembre, aucun apport n'est autorisé, sauf effluent peu chargé (issu d'un traitement d'effluent brut avec une teneur < 0.5 uN/m³) dans la limite de 20 uN équivalent engrais/ha.

Au printemps, la fertilisation de la dérobée se raisonne avec la fertilisation de la culture principale qui suit : exemple grille Dérobée- Maïs.

4/ Cas des LEGUMES INDUSTRIE

Le principe général retenu par le GREN Bretagne, pour raisonner la fertilisation azotée sur les légumes industrie, repose sur une approche forfaitaire de certains termes du bilan, aboutissant à une dose de référence à moduler selon les trois termes du bilan qui ont le plus de poids dans le calcul de la dose : **reliquat pré-semis, précédent cultural et apports organiques des années antérieures.**

Dose d'azote à prévoir $(X + X_a) = \text{Dose d'azote de référence} - \text{Fournitures d'azote (reliquat pré-semis + azote du précédent cultural + azote des apports organiques des années antérieures)}$

$$X + X_a = \text{Dose de référence} - R_i - M_r - M_h a$$

5/ Cas des LÉGUMES FRAIS

Le principe général retenu par le GREN Bretagne pour raisonner la fertilisation des légumes frais repose sur l'utilisation d'un bilan simplifié issu des expérimentations de terrain qui ont défini les différents termes du bilan en intégrant notamment le type de précédent cultural, la variabilité variétale, la diversité des dates de plantation et des situations climatiques (proximité de la mer ou non).

Les différents postes du bilan ayant conduit à un bilan simplifié sont les suivants :

- mobilisations de la culture (Pf) : valeurs forfaitaires par hectare
- reliquat d'azote en fin de culture (Rf) : à dire d'expert et valeurs guides
- minéralisation de l'humus du sol (Mhs) avec une prise en compte du coefficient temps, du climat et du système
- reliquat d'azote au début du bilan (Ri) en fonction du type de système et du précédent. Si les reliquats observés dans le cadre d'un réseau sont nettement supérieurs ou inférieurs aux références prises en compte dans le bilan simplifié Légumes frais, des conseils d'adaptation de fertilisation sont diffusés par les organisations professionnelles agricoles
- contribution des apports organiques et déjections (base Fumier de Bovin une fois tous les 2-3 ans).

L'équation du bilan simplifié se traduit de la façon suivante pour une variété donnée, une date de plantation et un précédent cultural :

$$X + X_a = \text{dose de référence}$$

II - Apports d'azote des déjections animales et prise en compte des pertes au stockage

1/ Détermination de l'azote à gérer sur l'exploitation

- Quantité d'azote produite par les animaux de l'installation (1)
- Quantité d'azote éliminée par traitement en station ou compostage (2)
- + Quantité d'azote organique reçue et épandue sur l'installation
- Quantité d'azote sortie de l'installation par transfert

- = azote organique à gérer

(1) il s'agit de la quantité d'azote épandable déterminée selon les références Corpen et définie dans différents arrêtés ou circulaires spécifiques à chaque espèce. Cette quantité tient déjà compte des pertes de composés azotés qui ont lieu dans le bâtiment et au cours d'un stockage de durée moyenne. Cette quantité dépend des modalités de collecte des effluents (lisier, fumiers,...). Pour les porcs elle dépend également de l'alimentation (standard, biphasée) et elle peut être déterminée soit en utilisant des références moyennes soit en utilisant le bilan réel simplifié tel que décrit dans le document CORPEN 2003 (circulaire de 19 août 2004). Pour les vaches laitières cette quantité dépend du niveau de production et du temps passé à l'extérieur (cf. tableau ci après, arrêté du 19/12/2011).

(2) déterminée selon les valeurs d'abattement définies lors de l'agrément du procédé de traitement.

2/ Détermination des quantités d'azote maîtrisable et non maîtrisable

Il est indispensable, pour la bonne gestion de la fertilisation des prairies, de quantifier l'azote maîtrisable et non maîtrisable.

L'azote non maîtrisable correspond aux déjections restituées au pâturage, et dépend donc du temps de pâturage des différentes catégories d'animaux. Pour les bovins autres que les vaches laitières ainsi que pour les ovins, caprins, équins et autres herbivores, le calcul des quantités d'azote restitué au pâturage s'effectue au prorata temporis.

Pour les vaches laitières, compte tenu de la réforme des normes CORPEN, les quantités d'azote maîtrisable et non maîtrisable se déterminent en fonction à la fois du temps de pâturage et du niveau de production.

Pour une vache ayant un niveau de production inférieur à 6000 kg/an :

Extérieur bâtiment		Répartition de Kg N/ vache / an		Prod N _{épan} sur l'année
mois	% temps	N bâtiment	N pâturage	
0	0%	75	0	75
3	25%	56	19	75
3,5	29%	53	22	75
4	33%	50	42	92
5	42%	44	48	92
6	50%	37	55	92
7	58%	31	61	92
7,5	63%	28	76	104
8	67%	25	79	104
9	75%	19	85	104
10	83%	12	92	104
11	92%	6	98	104
12	100%	0	104	104

Pour une vache ayant un niveau de production entre 6000 et 8000 kg/an :

Extérieur bâtiment		Répartition de kg N/vache/an		Prod N _{épan} sur l'année
Mois	% temps	N bâtiment	N pâturage	
0	0%	83	0	83
3	25%	62	21	83
3,5	29%	59	24	83
4	33%	55	46	101
5	42%	48	53	101
6	50%	41	60	101
7	58%	35	66	101
7,5	63%	31	84	115
8	67%	28	87	115
9	75%	21	94	115
10	83%	14	101	115

Pour une vache ayant un niveau de production supérieur à 8000 kg/an :

Extérieur bâtiment		Répartition de kgN/vache/an		Prod N _{épan} sur l'année
Mois	% temps	N bâtiment	N pâturage	
0	0%	91	0	91
3	25%	68	23	91
3,5	29%	64	27	91
4	33%	61	50	111
5	42%	53	58	111
6	50%	46	66	111
7	58%	38	73	111
7,5	63%	34	92	126
8	67%	30	96	126
9	75%	23	103	126
10	83%	15	111	126

La quantité d'azote collectée en bâtiment est, pour un niveau de production donné, fonction de la durée de pâturage. Plus la durée de pâturage augmente et plus la quantité d'azote excrétée au champ est importante. Ainsi, pour déterminer la quantité d'azote excrétée en bâtiment, on prend en référence la quantité excrétée pour moins de 4 mois de pâturage, pour une catégorie de production donnée

N bâtiment = Production annuelle de référence (moins de 4 mois) x (1 – temps de pâturage)

N pâturage = Production annuelle de référence - N bâtiment

Exemple :

Arrêté du 19 décembre 2011

*Production d'azote épannable par les vaches laitières
(kg d'azote/an/animal présent)*

TEMPS PASSÉ à l'extérieur des bâtiments	PRODUCTION LAITIÈRE (kg lait/vache/an)		
	< 6 000 kg	6 000 à 8 000 kg	> 8 000 kg
< 4 mois	75	83	91
4 à 7 mois	92	101 (*)	111 (*)
> 7 mois	104 (*)	115 (*)	126 (*)

(*) Pour la période du 1^{er} septembre 2012 au 31 août 2013, une valeur de 95 kg d'azote/an/vache s'applique aux élevages ayant plus de 75 % de surface en herbe dans la surface fourragère principale.

Pour une VL ayant une production moyenne de **7500 Kg** de lait et pâturant **6 mois** de l'année,

- la référence CORPEN sera de 101 unités
- la quantité d'azote maîtrisable sera de 41,5 unités (83 X (1-0,5))
- la quantité d'azote non maîtrisable sera de 59,5 unités (101 – 41,5)

3/ Prise en compte des pertes liées au stockage

En cas de **stockage très long, supérieur à 6 mois**, et pour tous les types de fumiers, **un abattement de 20% pourra être pris en compte** pour déterminer la quantité d'azote à épandre dans le plan de fumure.