

NOTE MÉTHODOLOGIQUE

Validée par le Groupe Régional d'Expertise Nitrates de Bretagne - version mars 2023

SOMMAIRE

Préambule	p 2
Entrée en vigueur du nouveau référentiel régional, lien avec le PAN 7	p 2
Principales modifications apportées au référentiel régional de l'arrêté du 17 juillet 2017	p 3
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 4
2. Cas des prairies	p 11
3. Cas des cultures dérobées	p 11
4. Cas des légumes industrie	p 12
5. Cas des légumes frais	p 12
II - Apports d'azote des déjections animales	
1. Détermination de l'azote à gérer sur l'exploitation	p 14
2. Détermination des quantités d'azote maîtrisable et non maîtrisable	p 14
3. Prise en compte des pertes liées au stockage	p 16

Préambule

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 (dont les grilles) et les résultats annuels des réseaux régionaux des reliquats sortie hiver (RSH) sont consultables et téléchargeables sur le site Internet de la DRAAF Bretagne : <https://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/Equilibre-de-la-fertilisation>

Le référentiel agronomique régional et les résultats annuels des réseaux régionaux de RSH sont consultables sur le site : <http://www.bretagne.synagri.com/synagri/referentiel-agronomique-bretagne>

Entrée en vigueur du nouveau référentiel régional, lien avec le PAN 7

Le nouveau référentiel régional de mars 2023 entrera en vigueur à compter du 1^{er} septembre 2023. Le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Bretagne fixé par l'arrêté du 17 juillet 2017 continue à s'appliquer jusqu'au 31 août 2023, date à laquelle cet arrêté sera abrogé.

Une nouvelle mise à jour du référentiel régional sera prochainement réalisée au regard des modifications induites par l'arrêté du 30 janvier 2023 modifiant l'arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole et par l'arrêté du 30 janvier 2023 relatif aux programmes d'actions régionaux en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole.

Principales modifications apportées au référentiel régional de l'arrêté du 17 juillet 2017

Les principales modifications réalisées entre la version 2017 du référentiel et la version 2023 sont les suivantes :

- **Annexe 1 (note méthodologique) :**
 - Reconnaissance de la méthode Sol-AID pour la substitution (à caractère volontaire) à la somme Mhs + Mha de l'équation 3' (cf. I - 1/ B.) ;
 - Mhs : précisions apportées sur la caractérisation d'une rotation à dominance légumes ;
 - Mha : explicitation sur les modifications de la grille Mha réalisées visant à faciliter sa lecture (ajout de fréquences d'apport de PRO et précisions sur l'antériorité de prise en compte des apports pour le calcul de ce poste) ;
 - Cas des légumes frais (partie V de la note méthodologique) : présentation de la nouvelle grille légumes frais ;
- **Annexe 2 (tableau de répartition des cultures) :** mise à jour du tableau de répartition des cultures (selon la méthode appliquée : grille, dose pivot ou dose plafond) au regard des nouvelles données disponibles pour les bettes et cadres en légumes industrie et des nouvelles grilles disponibles pour les légumes frais ;
- **Annexe 3 (rendements prévisionnels) :** mise à jour avec une référence actualisable pour les rendements prévisionnels des cultures en Bretagne ;
- **Annexes 4 (céréales), 4bis (orge), 5 (colza d'hiver), 6 (maïs) et 7 (dérobée maïs) :**
 - Poste B, terme Mr : ajout d'une contribution pour les CIPAN avant céréales avec un taux de légumineuses supérieur à 20% (hors annexe 7 dérobée maïs) ;
 - Poste B, contribution des apports organiques des années précédant le semis :
 - Terme Mha : quantité par PRO précisée selon le nombre d'apports (ajout de fréquences pour un raisonnement de l'apport des PRO à l'échelle des 10 dernières années) ;
 - Reconnaissance de l'utilisation possible de Sol-AID ;
 - Grille colza d'hiver (annexe 5), poste B, terme Ri : proposition d'une valeur de RSH par département ;
 - Avec en sus, pour les grilles maïs (annexe 6) et dérobée maïs (annexe 7) :
 - Poste A, Besoins du peuplement végétal / Azote absorbé par la culture / (Pf) maïs : ajout d'une valeur d'azote absorbé par unité de production pour l'ensilage avec un rendement > 18 tMS et le maïs sous plastique ;
 - Grille dérobée maïs, Poste A, Azote absorbé par la culture à sa récolte / (Pf) dérobée : proposition de valeur pour différents types de dérobées ;
 - Grille dérobée maïs, Poste B, terme Ri : précisions sur la valeur de RSH à retenir ;
 - Poste B, terme Mhp : intégration d'une destruction de prairie au printemps et en été.
- **Annexe 9 :** nouvelle grille pour les légumes frais ;
- **Annexe 12 :** précision sur la substitution possible des postes en cas d'utilisation de Sol-AID ;
- **Annexe 13 :** mention est faite des nouvelles définitions introduites par l'arrêté du 30 janvier 2023 modifiant l'arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole, mais dont la prise en compte ne sera effective que lors de la prochaine mise à jour du référentiel régional ;
- **Annexes 8, 10 et 11 :** pas de modification.

Une version spécifique du référentiel régional est également mise à disposition des éditeurs de logiciels (à l'adresse suivante : <https://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/Equilibre-de-la-fertilisation>), mettant en évidence (en caractères surlignés en jaune) les modifications réalisées entre la version 2017 et celle de 2023.

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

Pour le calcul de la dose prévisionnelle d'azote, le GREN Bretagne part de l'équation (3) du COMIFER établie dans le guide méthodologique «Calcul de la fertilisation azotée» (Brochure COMIFER, 2013, p. 22), disponible sur le site du COMIFER (<http://www.comifer.asso.fr/index.php/publications.html>).

$$[1] : R_f - R_i = [M_h + F_s + F_{ns} + M_{hp} + M_r + M_{rCi} + M_{pro1} + M_{pro2} + A + N_{irr} + X + X_{pro}] - [P_f - P_i + I_x + G_s + G_x + L]$$

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 pendant l'ouverture du bilan

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 2013), 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 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.

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 2 méthodes** pour le calcul des postes Mh et Mha selon les principes suivants :

A. L'utilisation des postes Mhs et Mha dans le calcul des fournitures en azote du sol tel que :

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
 - lx : 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.

Pour Mhs, une rotation à dominance légumes est caractérisée dès lors qu'un légume est présent dans la rotation (culture principale ou dérobée) 3 années sur 5.

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).

Pour Mha, la quantité apportée historiquement est calculée en additionnant la quantité apportée par PRO rapportée à la fréquence de l'apport. Toutes les déjections apportées doivent être prises en compte : en cas d'apports multiples, effectuer la somme des apports individuels ainsi recalculés. Le Mha se calcule à partir d'un historique régulier d'apport de PRO d'au moins 10 ans d'antériorité et 20 ans pour une valeur plus fiable sur ce poste.

B. L'utilisation de la méthode Sol-AID dans le calcul des fournitures en azote du sol :

Les derniers travaux menés par les chambres d'agriculture de Bretagne et l'INRAE ont permis, au-delà de chiffres moyens à adopter, de proposer une estimation de la minéralisation de l'azote organique du sol tenant compte de la variabilité observée en Bretagne. Ces dernières références sont incluses dans l'outil web Sol-AID qui permet de renseigner les données nécessaires et de calculer la minéralisation de l'azote organique du sol à l'échelle de la parcelle culturale.

Le modèle Sol-AID reprend 2 postes, Mh et M_PRO_ct dont la somme se substitue à la somme de Mhs et Mha dans l'équation 3'. Le résultat issu de Sol-AID est directement la somme Mh + M_PRO_ct et est appelée **Min_Sol-AID**.

- Le poste Mh de minéralisation de la matière organique du sol avec un paramétrage régional différent de celui présenté dans la brochure COMIFER 2013.

$$Mh = Vp \times Jn$$

- Avec Vp, la vitesse potentielle de minéralisation : $Vp = f(I_Sys, APM, Ten_C, Argile, Limon, Sable, CEC, pH)$
 - I_Sys : un indicateur du système de culture calculé à partir de la rotation des 15 dernières années et des apports de PRO moyens réalisés sur les 15 dernières années

- APM : Azote Potentiellement Minéralisable tel que défini par Rocca et al. (2013)³, un indicateur de minéralisation de l'azote du sol tel que décrit dans l'article de Gianello et Bremner (1988)⁴
- Ten_C : la teneur en carbone du sol
- Argile : la teneur en argile du sol
- Limon : la teneur en limon du sol
- Sable : la teneur en sable du sol
- CEC : la CEC Metson du sol
- pH : le pH eau du sol
- Jn : les jours normalisés prévisionnels sur la période où la minéralisation pourra être valorisée par la culture. Les Jn sont définis aux pages 25 et 26 de la brochure du COMIFER 2013. Pour calculer les Jn, il est indispensable de donner le type de sol de la parcelle. L'API Sol incluse dans Sol-AID aide à définir le type de sol sans qu'il soit nécessaire de réaliser un profil à la tarière
- M_PRO_ct la minéralisation des apports de PRO récents (inférieurs à 4 ans) utile à la culture. Ce terme est estimé via le modèle DSM⁵ à partir des types, provenance (teneurs en N) et dose d'apport des différents PRO appliqués sur les 3 dernières années.

Pour que le calcul issu de Sol-AID puisse être utilisé dans l'élaboration du plan prévisionnel de fumure, il doit souscrire aux conditions suivantes :

a – Echelle du calcul : parcelle culturale

Le calcul avec Sol-AID est réalisé à l'échelle de la parcelle culturale. On entend par parcelle culturale, une unité pédologique homogène conduite de façon identique depuis au moins 10 ans et qui correspond dans la plupart des cas à la parcelle culturale déclarée à la PAC. Le parcellaire utilisé dans Sol-AID sera généralement le parcellaire issu de la PAC. Un parcellaire, avec des entités plus petites que les parcelles déclarées à la PAC, pourra être utilisé pour considérer l'hétérogénéité pédologique ou culturale.

En cas d'utilisation du parcellaire déclaré à la PAC dans Sol-AID, si une parcelle présente une hétérogénéité du type de sol, c'est l'unité pédologique majoritaire qui doit être utilisée. En cas de différence de conduite culturale sur les 10 dernières années, c'est la conduite réalisée sur la plus grande surface qui doit être renseignée.

b - Les informations nécessaires au calcul

- La localisation de la parcelle par l'import d'un parcellaire
- Définir le type de sol avec un code 4 critères de la méthode tarière ou via l'API Sol
- L'analyse de l'indicateur APM est indispensable et il est recommandé de refaire une analyse tous les 5 ans
- Une analyse granulométrique 3 fractions du sol (analyse déjà disponible ou à réaliser)
- Une analyse chimique de sol incluant la teneur en carbone, le pH eau et la CEC Metson. Dans un 1^{er} temps et pour permettre à l'agriculteur de répartir les coûts d'analyse de sol sur plusieurs années, il sera possible d'utiliser à la place des analyses chimiques de sol, des références présentes dans Sol-AID et issues de la base de données DoneSol, via le type de sol défini.
- Compléter et valider la succession culturale proposée par l'outil Sol-AID sur les 15 dernières années

³ Rocca, C., L. Varvoux, C. Aumond, E. Servonnat, JM. Regnier, C. Bernard, B. Raynaud, T. Darbin (2013). La mesure d'Azote Potentiellement Minéralisable (APM) : un indicateur pour préciser le poste minéralisation du sol. Les 11^{èmes} rencontres COMIFER – GEMAS de la fertilisation raisonnée et de l'analyse (Poitiers, les 20 et 21 novembre 2013).

⁴ Gianello, C. and J. M. Bremner (1988). A rapid steA RAPID STEAM DISTILLATION METHOD OF ASSESSING POTENTIALLY AVAILABLE ORGANIC NITROGEN IN SOIL." *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **19**(14): 1551-1568

⁵ Pratt, P. F., et al. (1976). Four-year field trial with animal manures: 1. Nitrogen balances and yields, 2. Mineralization of Nitrogen. *Hilgardia* **44**(5): 99-125

- Renseigner les apports de PRO de la parcelle des 3 dernières années et les pratiques moyennes d'apport de PRO des 15 dernières années

Toutes les données citées ci-dessus doivent être renseignées dans l'outil Sol-AID.

c – Méthodologie pour les analyses de sol et d'APM

c.1 - Prélèvement de sol pour déterminer l'APM, la granulométrie et l'analyse chimique de sol :

Pour chaque parcelle culturale et dans le respect du cahier des charges régional sur les prélèvements de sol :

- l'échantillonnage se fait uniquement sur l'horizon 0-30cm et sur la base de 30 carottages
- le prélèvement doit être réalisé à plus de 90 jours du dernier apport de PRO
- le prélèvement d'un minimum de 500 g est conservé dans un local tempéré et sec avant transmission au laboratoire dans un délai maximum de trois jours

c.2 – Types d'analyses :

Le mode opératoire de l'**analyse d'APM** n'est pas défini par une norme NF ISO. Il est présenté dans l'article de Gianello et Bremner (1988).

Cette méthode est fondée sur 2 extractions d'azote ammoniacal (N-NH₄) réalisées sur échantillon de sol séché et tamisé à 2 mm, avec :

- Une extraction sur un échantillon de 4 g de sol placé dans une solution tampon de 40 ml phosphate-borate, de pH 11.2. La suspension sol/solution est soumise à une distillation directe, et la quantité de N-NH₄ récupérée dans le distillat est mesurée par titration.
 - Une extraction par distillation directe de 4 g de sol placé dans 20 ml de KCl 2M et 0.2 mg de magnésie fraîchement calcinée, permettant de mesurer la quantité initiale de N-NH₄ présente dans l'échantillon.
- La quantité de N hydrolysée, correspondant à l'APM, est égale à la différence entre la quantité totale de N mesurée dans la solution tampon de phosphate borate et la quantité initiale de N-NH₄.

La valeur d'APM varie en fonction de la durée des 2 distillations. Le protocole adopté par les laboratoires pratiquant cette analyse est fondé sur une durée de distillation de 5 minutes pour l'extraction dans la solution tampon de phosphate borate et de 3 minutes pour l'extraction dans la solution de KCl.

Le système cultural étant évolutif ainsi que les apports de PRO, l'analyse d'APM réalisée en année n est considérée valide pour les 5 campagnes culturales suivantes et doit donc être renouvelée tous les 5 ans.

Une analyse granulométrique est à réaliser ou si elle existe déjà est ensuite valide en permanence car elle est indépendante de la conduite culturale. Des analyses très anciennes peuvent donc être utilisées. L'analyse à réaliser : granulométrie 3 fractions (Argiles, Limons et Sables) – NF X 31-107.

Il est conseillé de disposer également d'une **analyse chimique** a minima comprenant :

- Teneur C organique- NF ISO 10694
- CEC Metson – NF X 31-130
- pH eau – NF ISO 10390

Pour les mêmes raisons que pour l'APM, il est conseillé de réaliser une nouvelle analyse chimique tous les 5 ans.

Méthode, recommandations et tolérance pour les analyses de sol et d'APM nécessaires pour Sol-AID

Analyse	Méthode/Norme ISO	Recommandation	Validité max de l'analyse
APM	Méthode décrite dans l'article de Gianello et Bremner (1986) et en annexe	Refaire une analyse d'APM tous les 5 ans	8-10 ans
Granulométrie	NF X 31-107	Analyse toujours valable	Toujours valable
Teneur en C	NF ISO 10694	Refaire une analyse de teneur en C tous les 5 ans	8-10 ans
CEC Metson	NF X 31-130	Refaire une analyse de CEC Metson tous les 5 ans	8-10 ans
pH eau	NF ISO 10390	Refaire une analyse tous les 5 ans. En cas de chaulage depuis la dernière analyse, renseigner une valeur de pH réaliste suite au chaulage	8-10 ans

d – Engagement dans l'utilisation de l'outil Sol-AID :

Dès lors que l'exploitation s'engage à utiliser le résultat de Sol-AID en substitution des postes Mhs et Mha du PPF, il est conseillé de poursuivre cette démarche pour toutes les parcelles en maïs, céréales et colza. L'utilisation de Sol-AID pourra se faire de manière progressive, notamment pour réaliser les analyses de sol et les mesures d'APM indispensables au calcul. La recommandation du GREN est d'utiliser Sol-AID pour toutes les parcelles en maïs, céréales et colza au bout de 5 à 6 ans. Dans la phase transitoire, les 2 méthodes de calcul des fournitures en azote du sol (Mhs + Mha de la méthode classique du GREN ou Mh + M_PRO_ct de la méthode Sol-AID) peuvent coexister au sein du PPF.

e – Utilisation de l'outil Sol-AID

Pour s'assurer de l'utilisation actualisée du paramétrage du modèle Sol-AID et de l'homogénéité des références utilisées, il sera nécessaire d'utiliser exclusivement Sol-AID via l'outil web ou l'API Sol-AID pour le calcul de la minéralisation de l'azote organique du sol. L'outil web Sol-AID est disponible en ligne à l'url suivante : www.solaid.fr

Documents/ressources complémentaires sur la méthode, le modèle et l'utilisation de l'outil web disponibles ici : <http://www.synagri.com/synagri/sol-aid>

On obtient donc l'équation suivante pour la méthode A :

$$P_f = P_i + R_i + M_{hs} + M_{ha} + M_{hp} + (M_r \text{ ou } M_{rci}) + X + X_a - R_f$$

D'où :

$$X + X_a = (P_f + R_f - P_i) - (R_i + M_{hs} + M_{ha} + M_{hp} + (M_r \text{ ou } M_{rci}))$$

Le poste P_f 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 :

$$X + X_a = (b \times y - P_i + R_f) - (R_i + M_{hs} + M_{ha} + M_{hp} + (M_r \text{ ou } M_{rci}))$$

On obtient donc l'équation suivante pour la méthode B :

$$Pf = Pi + Ri + \text{Min_Sol-AID} + \text{Mhp} + (\text{Mr ou Mrci}) + X + Xa - Rf$$

D'où :

$$X+Xa = (Pf + Rf - Pi) - (Ri + \text{Min_Sol-AID} + \text{Mhp} + (\text{Mr ou Mrci}))$$

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 :

$$X+Xa = (b \times y - Pi + Rf) - (Ri + \text{Min_Sol-AID} + \text{Mhp} + (\text{Mr ou Mrci}))$$

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 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	
Min_Sol-AID : minéralisation de l'azote organique du sol issu de l'humus du sol et des apports de PRO. Min_Sol-AID = Mh + M_PRO_ct	
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 ⁶

L'équation du COMIFER retenue pour le calcul de la fertilisation azotée sur prairie est l'équation 4'
(p.24 de la Brochure COMIFER 2013) :

$$(4') \text{ Pf} = \text{P0} + (\text{X} + \text{Xa}) \times \text{CAU}$$

où P0 est un terme générique de fourniture du sol.

Le GREN de Bretagne retient les hypothèses suivantes:

$$\text{Pf} = \text{Nexp}$$

$$\text{P0} = \text{Mhs} + \text{Nrest} + \text{Fs}$$

d'où

$\text{X} + \text{Xa} = (\text{Nexp} - (\text{Mhs} + \text{Nrest} + \text{Fs})) / \text{CAU}$

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 $\text{Nexp} = b \times y$	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.

⁶ Voir le détail pour les prairies à l'annexe 8

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 ($X + X_a$) = Dose d'azote de référence – Fournitures d'azote (reliquat pré-semis + azote du précédent cultural + azote des apports organiques des années antérieures)

$$X + X_a = \text{Dose de référence} - R_i - M_r - M_{ha}$$

5/ Cas des LÉGUMES FRAIS

A . Légumes cultivés sous abris

Ces cultures sont exemptées de plan de fumure. En effet, étant par définition sous abris, il n'y a pas de risque de lixiviation des nitrates. De plus, les références sont trop parcellaires pour proposer actuellement une méthodologie fiable.

B. Légumes de plein champ

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 diversité des dates de plantation, des situations pédologiques, la fréquence des apports de PRO, le type de rotation et le Reliquat Sortie d'Hiver. Concrètement, des doses pivots sont proposées par espèce, créneau de production et type de précédent. Ces doses pivots sont corrigées selon 4 correctifs (fréquence d'apports de PRO, type de sols, type de rotation et RSH).

La dose d'apport à prévoir à la parcelle est calculée de la manière suivante :

$$X+X_a = \text{dose pivot} \pm \text{correctif PRO} \pm \text{correctif rotation} \pm \text{correctif pédologique} \pm \text{correctif RSH}$$

C. Légumes en systèmes maraîchers et autres légumes frais

Le système maraîcher se définit par une multitude d'espèces et de séries dans une même parcelle. Pour ce type de cultures et les cultures absentes de la liste des légumes frais (cf. point 5/ B.), il est proposé l'application d'un plafond à ne pas dépasser.

$$X+X_a = \text{dose plafond}$$

D. Précision concernant le dépassement de la dose prévisionnelle

En légumes frais de plein champ et pour les légumes en systèmes maraîchers, tout apport d'azote réalisé supérieur aux méthodes proposées doit être justifié par l'utilisation d'outil de raisonnement dynamique, comme la méthode PILAZO© (méthode basée sur l'INN ou Indice de Nutrition azotée des plantes) ou des outils de pilotage de la fertilisation, comme le reliquat d'azote (Etap N, Nitrachek©, grille ZENIT ©...).

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 pâturent **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.