

Guides méthodologiques pour le calcul des indicateurs pesticides et azote à la Guadeloupe

INDICATEUR DE PRESSION AZOTÉE

Philippe CATTAN

Magali LAMBERT

*En collaboration avec Vincent Bonnal, Magalie Jannoyer, Jean-Philippe Tonneau
et Fabrice Le Bellec*

Ce document et les fichiers de cette méthode sont distribués sous la licence :

Licence Creative Commons

Attribution - Partage dans les mêmes conditions 4.0 International



Vous devez citer qui est l'auteur de l'œuvre originale lorsque vous utilisez cette méthode ou ses dérivés. L'utilisation commerciale de l'œuvre est permise. Vous pouvez remixer l'œuvre. Cette licence doit toujours être utilisée sur toutes vos versions dérivées de l'œuvre originale. Le partage est permis.

TABLE DES MATIERES

Table des matières	1
PRÉSENTATION DE GÉNÉRALE.....	3
Introduction.....	3
Calcul du besoin des cultures par classe de culture (Nbesoins).....	4
Principe.....	4
Données et Calculs	4
Feuilles tableur et tableaux mobilisés.....	5
Calcul des apports en azote minéral importé par parcelle (Ne)	6
Principe.....	6
Données et Calculs	6
1 Données d'importation	6
2 Répartition par catégories de culture	9
Feuilles de tableur et tableaux mobilisés.....	10
Calcul des apports en azote organique par parcelle(Norg).....	10
Principe.....	10
Données et Calculs	11
1 Estimation des coefficiente d'équivalence engrais moyen pour les matières organiques produites par type de cheptel	11
2 Coefficients CORPEN et effectifs d'animaux par commune.....	12
Feuille de tableur et tableaux mobilisés	13
Calcul des apports en azote du sol.....	13
Principe.....	13
Données et Calculs	13
Feuilles de tableau et tableaux mobilisés	14
Estimation du transfert des parcelles vers les rivières.....	15
Principe.....	15
Données et Calculs	15
1 Balance azotée.....	15
2 Estimation de la lame d'eau (LE)	15
3 Estimation de la quantité d'azote mobilisée.....	15
Feuilles de tableur et tableaux mobilisés.....	16
Agrégation des résultats à l'échelle de la masse d'eau.....	16

conclusion.....	17
MISE EN OEUVRE PRATIQUE DU CALCUL DE L'INDICATEUR SOUS TABLEUR.....	18
I- Importation des données de la base SIG dans la Feuille de Calcul de l'Indicateur (10 min)	0
II- calcul de la balance azotee.....	2
Calcul du besoin des cultures (Nbesoins) 15 min.....	2
Calcul des apports en azote minéral par catégorie de culture (Ne) 15 min.....	4
Calcul des apports en azote organique par catégorie de culture (Norg) 5 min	5
Fourniture en azote du sol 1 min	6
III- sorties syntheses : manipulations et interpretations (50 min)	6
IV- RENVOI TABLEUR VERS SIG	9
Références bibliographiques	10

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

INTRODUCTION

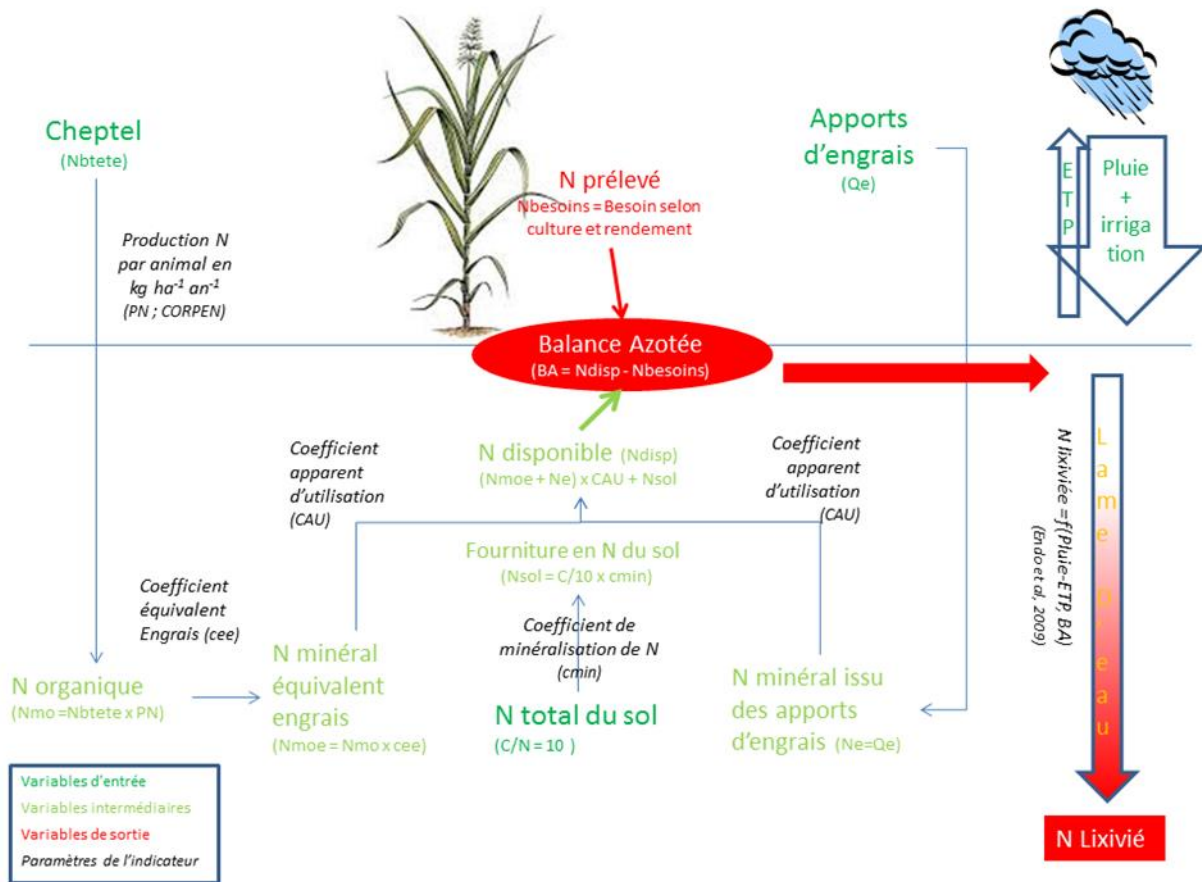


Figure 1: Schéma du processus de pollution azotée retenu pour la Réunion

La séquence de calcul sur Excel a pour but de calculer pour chaque parcelle de la base d'occupation du sol, une quantité d'azote lixiviée (**Figure 1**). Elle s'appuie sur le calcul d'une balance azotée selon la formule suivante :

$$BA = (Norg + Ne) \times CAU + Nsol - Nbesoins$$

Avec :

Norg l'équivalent engrais des apports d'azote par la matière organique

Ne l'apport de N minéral par les engrais

Nsol la fourniture en N du sol

N besoins la quantité d'azote prélevée par les plantes

CAU le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais minéral

L'estimation des paramètres du modèle est expliquée dans les sections suivantes



Le visuel indique qu'une intervention de l'utilisateur est nécessaire

CALCUL DU BESOIN DES CULTURES PAR CLASSE DE CULTURE (NBESOINS)

PRINCIPE

Diverses références recensent les besoins en azote pour divers types de culture (Source recensement agricole 2010, fiche technique de la chambre d'agriculture) pour des niveaux de rendements donnés (**Tableau 1**). Ces données sont souvent incomplètes. Afin de rendre le jeu de données exploitable, on



choisit de répartir les cultures en 6 catégories (Banane, Canne à sucre, Prairies, Maraîchage, Vergers, autres). Une répartition est proposée. **Elle reste cependant du ressort des acteurs locaux.**

Des besoins moyens sont ensuite calculés par catégorie compte tenu des surfaces occupées par chaque production. Pour la canne, les besoins sont ajustés au rendement par commune afin de tenir compte des différences de production selon les zones.

Tableau 1 : besoins des cultures (extrait du tableau BES_CULT)

Catégorie	Culture	Rendement	Besoin de la culture (kg N/ha)
Prairies	Prairie permanente		150
Banane	Banane export - autre	31	450
Canne	Canne à sucre - autre	90	120
Maraichage	Aubergine	35	300
...			

DONNEES ET CALCULS

Les données fournies sont la culture, le niveau de rendement moyen, le rendement observé s'il y a lieu, le besoin en kg de N par ha, la surface de la culture

- Banane : le besoin de la culture est ajusté au rendement en considérant le rendement moyen par commune et un besoin de 14.5 kg N par tonne de banane produite.

$$\text{Nbesoins (BAN)} (kg / ha) = \text{Rendement (T / ha)} \times 1.2$$

- Maraîchage et Verger, le besoin pour une classe est la moyenne des besoins des cultures entrant dans chaque classe (les différentes plantes maraîchères ou les différents types de vergers), pondérée par la surface totale de la culture sur l'île :

$$\text{Nbesoins (c)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Nbesoins (x}_i\text{)} \times \text{Surface (x}_i\text{)}}{\sum_{i=1}^n \text{Surface (x}_i\text{)}}$$

Avec c, la classe de culture (ex. verger), x_i, la culture i (ex. mangue), n le nombre de cultures comprises dans la classe. Les besoins sont en kg / ha.



Les besoins de la classe « maraîchage » sont multipliés par trois afin de considérer une succession de trois cycles culturels par an.



- Prairies : les besoins résiduels pour la prairie ont été estimés à 150 kg N / ha considérant que les besoins totaux de 300 kg de N/ha étaient partiellement compensés par la restitution d'azote liée au pâturage et évaluée à 150 kg N/ha pour un chargement de 3 UGB (**ce chiffre s'appuie sur les références réunionnaises et doit être validé pour la Guadeloupe**). L'absence de données spatialisées sur les modes d'exploitations des prairies, qui peuvent générer des besoins très divers selon les degrés d'intensification, n'a pas permis de prendre cette information en compte dans les calculs.
- Pour la classe Autres le besoin est fixé à 100 kg N / ha.

FEUILLES TABLEUR ET TABLEAUX MOBILISÉS

Feuille « cultures » : cette feuille permet de calculer les apports d'engrais minéraux par catégorie de culture (voir ci-après) au prorata de leur besoin.



- **Tableau CULT** : La première colonne de ce tableau indique les catégories de culture auxquelles on va s'intéresser. Elle sert de référence pour l'ensemble des feuilles du tableur. La deuxième colonne de ce tableau calcule les besoins pour chaque catégorie de culture comme indiqué dans la partie calcul.

Feuille code_cult : cette feuille établit la correspondance entre cultures et catégories de culture



Tableau CAT_CULT : La première colonne répertorie les différentes cultures du tableau BOS de la feuille BaseParc. La colonne cat_cult associe une catégorie de culture pour chacune des cultures. Ces catégories peuvent varier selon le territoire (Banane pour les Antilles par exemple)

Feuille « ref Besoins » : cette feuille recense les besoins des cultures. Elle comporte deux tableaux :



- **Tableau BES_CULT** : ce tableau recense les besoins et surface de chaque type de culture. La catégorie de culture est rentrée par l'utilisateur sur la base des catégories indiquées dans le tableau CULT de la feuille « cultures ». Les besoins des cultures peuvent être ajustés en fonction des rendements moyens de l'année si ceux-ci sont connus ou par estimation des acteurs locaux selon les conditions spécifiques du territoire ; les besoins ajustés sont alors automatiquement calculés par proportionnalité. Les deux dernières colonnes sont utilisées pour calculer les besoins par catégorie de culture



Tableau BES_BAN : ce tableau liste les rendements en banane en T / ha par commune et calcul les besoins en N en kg/ha. Il peut être mis à jour avec les données de l'année

Feuille BaseParc : cette feuille recense les données par parcelle.

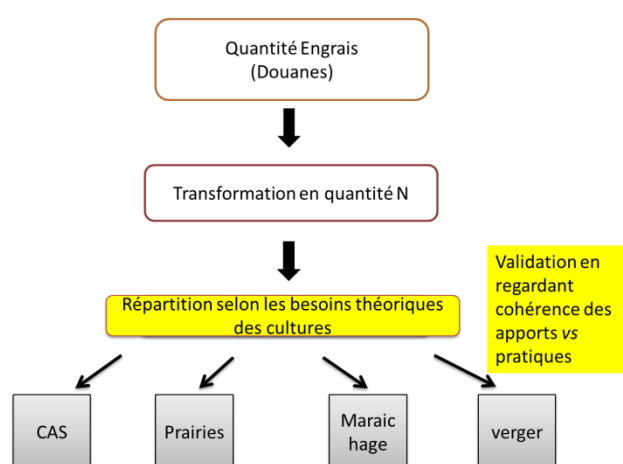
- **Tableau BOS** : La colonne cat_cult reporte, en se référant au tableau CAT_CULT, les catégories de cultures selon la culture de la parcelle. Ensuite 3 colonnes permettent de

calculer les besoins selon les catégories de culture sur la parcelle et selon les informations de surface apportées par la base d'occupation du sol.

- La colonne « bes_ban » calcule les besoins pour la banane dans la commune où se situe la parcelle considérée selon les rendements moyens de la commune;
- La colonne « bes_cult » effectue la synthèse des besoins la catégorie de culture de la parcelle ;
- La colonne « bes_tot » traite le cas des SAU nulles.

CALCUL DES APPORTS EN AZOTE MINERAL IMPORTE PAR PARCELLE (NE)

PRINCIPE



Les apports en N minéral sont calculés à partir des données d'importations d'engrais sur le territoire guadeloupéen. Une quantité d'azote totale importée est ainsi estimée.

Cette quantité est ensuite répartie entre les différentes catégories de cultures en appliquant un taux de répartition (TX) évalué selon les besoins de ces différentes catégories. L'hypothèse retenue est contestable dans la mesure où les pratiques agricoles ne coïncident pas obligatoirement avec les

besoins des cultures et qu'une forte incertitude pèse sur l'évaluation des besoins. Cependant, en l'absence d'éléments objectifs (par exemple enquêtes sur les pratiques) permettant de répartir de façon réaliste les engrais minéraux sur les différentes catégories de culture, on retiendra cette hypothèse théorique d'apports raisonnés suivant les besoins des plantes pour calculer l'indicateur.

DONNEES ET CALCULS

1 Données d'importation

La douane fournit des données d'importations par catégorie de produit en tonnes et parfois converties en unités d'azote. Les engrais susceptibles de contenir de l'azote sont répertoriés sous les codes 3101 (Engrais d'origine animale ou végétale), 3102 (Engrais minéraux ou chimiques azotés) et 3105 (Engrais minéraux ou chimiques contenant deux ou trois des éléments fertilisants).

Certaines concentrations en azote des engrais sont connues, d'autres non. Les règles suivantes ont été appliquées :

- Les catégories de produits où il est spécifié que la teneur en azote est supérieure à 10% sont laissées tel quel.
- Les catégories de produits où il est spécifié que la teneur en azote est inférieure ou égale à 10% ont été converties en unités d'azote sur la base d'une concentration de 10%.

- Pour les catégories de produits restantes sans spécification, nous nous sommes basés sur une importation d'azote minérale de 6000 tonnes annuelles (Saint-Macary et al., 2002) afin de fixer une concentration azotée moyenne. Celle-ci a été évaluée à une teneur de 40% d'azote.

L'application de ces règles conduit au tableau suivant :



Tableau 2 : proposition de teneurs en azote pour les principales lignes du tableau des douanes

3101 Engrais d'origine animale ou végétale, même mélanges entre eux	Teneur en N
31010000 Engrais d'origine animale ou végétale	40%
3102 Engrais minéraux ou chimiques azotes (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	
31021010 Urée, même en solution aqueuse, d'une teneur en azote > 45% en poids du produit anhydre à l'état sec (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	44%
31021090 Urée, même en solution aqueuse, d'une teneur en azote <= 45% en poids du produit anhydre à l'état sec (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	32%
31022100 Sulfate d'ammonium (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	29%
31022900 Sels doubles et mélanges de sulfate d'ammonium et de nitrate d'ammonium (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	30%
31023090 Nitrate d'ammonium (à l'excl. des produits en solution aqueuse et des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	26%
31024010 Mélanges de nitrate d'ammonium et de carbonate de calcium ou d'autres matières inorganiques dépourvues de pouvoir fertilisant, destinés à être utilisés comme engrais, d'une teneur en azote <= 28% en poids (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	33%
31024090 Mélanges de nitrate d'ammonium et de carbonate de calcium d'une teneur en N supérieure à 28% (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	33%
31025000 Nitrate de sodium (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	16%
31025090 Nitrate de sodium (à l'excl. du nitrate de sodium naturel et des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	16%
31026000 Sels doubles et mélanges de nitrate de calcium et de nitrate d'ammonium (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	35%
31029000 Engrais minéraux ou chimiques azotés (sauf urée; sulfate d'ammonium; nitrates d'ammonium ou de sodium; sels doubles et mélanges nitrates ammonium/calcium, urée/nitrate d'ammonium en solutions aqueuses ou ammoniacales, nitrate d'ammonium/carbonate de calcium ou autres matières inorganiques dépourvues de pouvoir fertilisant; produits présentés en tablettes ou en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	26%
3105 Engrais minéraux ou chimiques contenant deux ou trois des éléments fertilisants : azote, phosphore et potassium; autres engrais (sauf engrais d'origine uniquement animale	

ou végétale; engrais minéraux ou chimiques azotés, phosphatés ou potassiques); engrais d'origine animale ou végétale et engrais minéraux ou chimiques, présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg ...	
31051000 Engrais d'origine animale ou végétale, engrais minéraux ou chimiques, présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg	40%
31052010 Engrais minéraux ou chimiques contenant du phosphore et du potassium, d'une teneur en azote > 10 % en poids du produit anhydre à l'état sec (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	40%
31052090 Engrais minéraux ou chimiques contenant de l'azote, du phosphore et du potassium, d'une teneur en azote <= 10 % en poids du produit anhydre à l'état sec (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	10%
31053000 Hydrogénoorthophosphate de diammonium [phosphate diammonique]	
31054000 Dihydrogénoorthophosphate d'ammonium [phosphate monoammonique], même en mélange avec l'hydrogénoorthophosphate de diammonium [phosphate diammonique] (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	
31055100 Engrais minéraux ou chimiques contenant des nitrates et des phosphates (à l'excl. du dihydrogénoorthophosphate d'ammonium [phosphate monoammonique], de l'hydrogénoorthophosphate de diammonium [phosphate diammonique] ainsi que des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	40%
31055900 Engrais minéraux ou chimiques contenant les deux éléments fertilisants : azote (à l'excl. des nitrates) et phosphore (à l'excl. du dihydrogénoorthophosphate d'ammonium [phosphate monoammonique], de l'hydrogénoorthophosphate de diammonium [phosphate diammonique] ainsi que des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	40%
31056000 Engrais minéraux ou chimiques contenant les deux éléments fertilisants : phosphore et potassium (à l'excl. des produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	
31059020 Engrais minéraux ou chimiques contenant les deux éléments fertilisants : azote et potassium ou ne contenant qu'un seul élément fertilisant principal, y.c. les mélanges d'engrais d'origine animale ou végétale avec des engrais chimiques ou minéraux, d'une teneur en azote > 10% en poids du produit anhydre à l'état sec (sauf produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	40%
31059080 Engrais minéraux ou chimiques contenant les éléments fertilisants azote et potassium ou ne contenant qu'un seul élément fertilisant principal, y.c. les mélanges d'engrais d'origine animale ou végétale avec des engrais chimiques ou minéraux, d'une teneur en azote <= 10% en poids du produit anhydre à l'état sec (sauf produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	10%
31059091 Engrais minéraux ou chimiques contenant les éléments fertilisants azote et potassium ou ne contenant qu'un seul élément fertilisant principal, y.c. les mélanges d'engrais d'origine animale ou végétale avec des engrais chimiques ou minéraux, d'une teneur en azote > 10% en poids du produit anhydre à l'état sec (sauf nitrate de sodium potassique du n° 31059010 et produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	40%
31059099 Engrais minéraux ou chimiques contenant les éléments fertilisants et potassium ou ne contenant qu'un seul élément fertilisant principal, y.c. les mélanges d'engrais d'origine animale ou végétale avec des engrais chimiques ou minéraux, d'une teneur en azote <= 10% en poids du produit anhydre à l'état sec (sauf nitrate de sodium potassique	10%

du n° 31059010; produits présentés soit en tablettes ou formes simil., soit en emballages d'un poids brut <= 10 kg)	
---	--

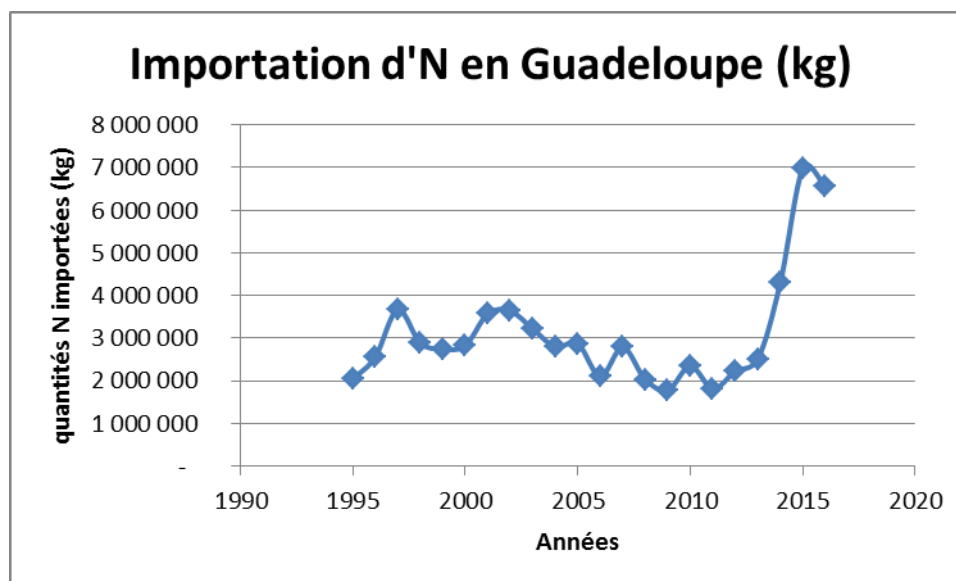


Figure 2 : Exemple de variation de la quantité d'azote importée sur la Guadeloupe, source douane

Ces coefficients sont appliqués au tonnage du tableau des douanes pour calculer les quantités d'azote minéral importées :

$$Q_{Nimport} = \sum_{types\ engrais} Q_{type\ engrais} \times teneur\ en\ N$$

Avec $Q_{Nimport}$, la quantité totale d'azote importée en kg ; $Q_{type\ engrais}$, la quantité d'engrais d'un type donné en kg



On pourra choisir dans le calcul de retenir une moyenne des quantités importées d'azote sur plusieurs années pour atténuer les variations d'importation d'une année à l'autre (voir **Figure 2** pour l'exemple Guadeloupéen – les données disponibles pour la Martinique ne concernent que les années 2015 et 2016). $Q_{Nimport}$ est reportée dans la feuille de calcul « cultures » pour être répartie ensuite entre les différentes catégories de culture

2 Répartition par catégories de culture

Les quantités d'azote importées sont réparties en appliquant un taux de répartition TX par catégorie de culture (en %), évalué selon les besoins et calculé selon la formule suivante :

$$TX(c_i) = \frac{N_{besoins}(c_i) \times Surface(c_i)}{\sum_{i=1}^n N_{besoins}(c_i) \times Surface(c_i)}$$

Avec $TX(c_i)$ le taux de répartition pour la catégorie de culture c_i ; $N_{besoins}$, les besoins calculés à l'étape précédente ; $Surface(c_i)$, la surface de la catégorie de culture c_i ; n le nombre total de catégories de cultures (5 ici)

On en déduit la dose d'azote Ne apportée annuellement sur une classe de culture en kg N / ha :

$$Ne(c_i) = \frac{TX(c_i) \times Q_{Nimport}}{Surface(c_i)}$$

Avec $Q_{Nimport}$ la quantité d'azote minéral importée annuellement à l'échelle de l'île en kg

FEUILLES DE TABLEUR ET TABLEAUX MOBILISÉS

Feuille « cultures » : cette feuille permet de calculer les apports d'engrais minéraux par catégorie de culture (voir ci-après) au prorata de leur besoin.



- **Cellule « Total kg azote importé »** : on doit entrer dans cette cellule la donnée $Q_{Nimport}$ calculée précédemment
- **Tableau CULT** : la colonne Ne du tableau calcul les apports de N par ha pour chaque catégories de culture

Feuille *BaseParc* : cette feuille recense les données par parcelle.

- **Tableau BOS** : la colonne Ne ajuste les quantités d'azote engrais apportées calculées dans la feuille culture en tenant compte des surfaces des catégories de culture présentes sur chaque parcelle. Si une seule catégorie de culture est présente il n'y a pas de différence entre les deux valeurs.

CALCUL DES APPORTS EN AZOTE ORGANIQUE PAR PARCELLE(NORG)

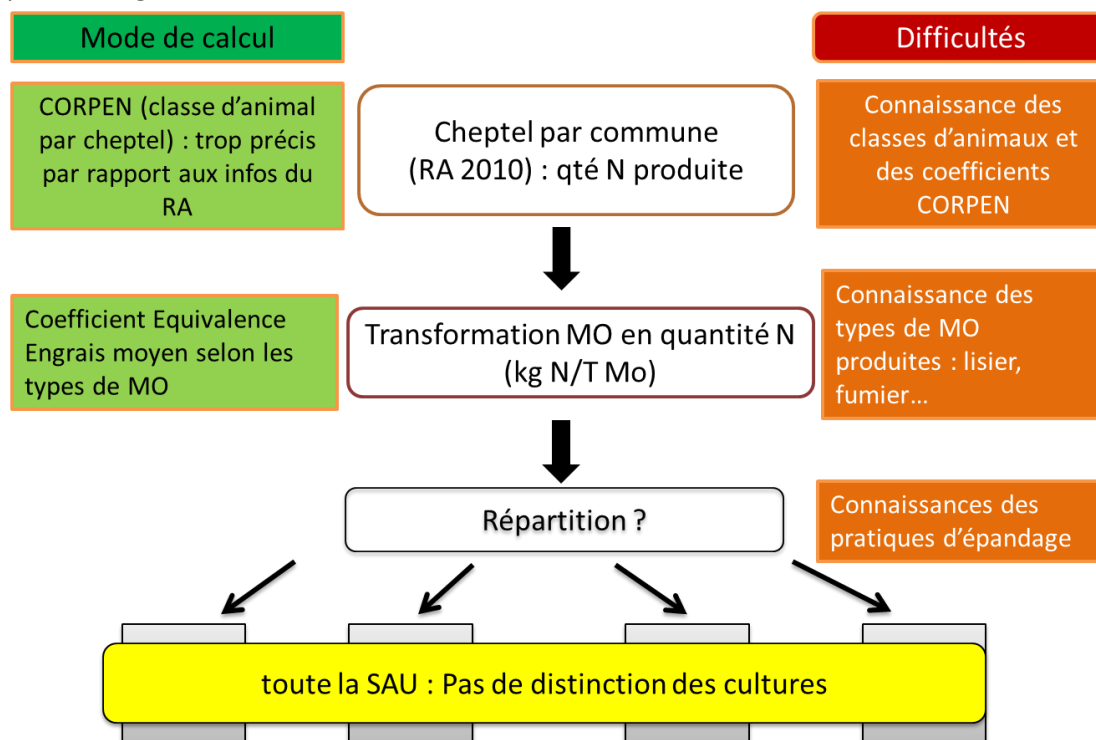
PRINCIPE

Le calcul de matière organique est complexe et hautement spéculatif. Le principe repose sur une estimation de la production de matière organique par les animaux à l'échelle du territoire et d'une affectation ensuite aux surfaces agricoles du même territoire. Le calcul de la production d'azote à partir du cheptel se fait en utilisant les coefficients CORPEN. Des difficultés de différents ordres sont rencontrées :

- L'échelle territoriale retenue est la commune. En effet les données issues du Recensement Agricole ne concernent que cette entité. L'hypothèse d'épandage sur les parcelles agricoles de la commune de la matière organique qui y est produite est fortement contestée en raison de l'existence de transferts intercommunaux dont on évalue mal l'importance. Néanmoins, en l'absence de données plus précises, l'hypothèse est conservée.
- Les classes d'animaux par commune sont limitées. Or la production d'azote par chaque animal dépend grandement du type d'élevage (naisseur, embouche, laitier...). De là, une incertitude pèse sur l'identification d'un coefficient CORPEN moyen capable de représenter la production d'azote par les animaux.
- Les types de matières organiques produites par les animaux ne sont pas connus. Or des différences importantes existent entre les teneurs en azote des fumiers, compost, lisiers... En

l'absence de données, l'estimation des quantités produites reprend celle de la Réunion. **Une validation des acteurs locaux est ici nécessaire**

- Les pratiques d'épandage sont mal connues et il n'est pas possible de déterminer sur quelles cultures et à quelles quantités les matières organiques produites sont épandues sur les parcelles. En conséquence, le calcul considère un épandage uniforme sur l'ensemble des parcelles agricoles d'une commune.



DONNEES ET CALCULS

1 Estimation des coefficients d'équivalence engrais moyen pour les matières organiques produites par type de cheptel

Cette estimation a été réalisée à partir des données de la Réunion. Les différents types de matière organique existant à la Réunion ont fait l'objet d'une caractérisation (Guide de la Fertilisation Organique à La Réunion, 2006), notamment de leur teneur en azote et du coefficient équivalent engrais¹ (EC-N).

¹ Le coefficient équivalent engrais rend compte de l'efficacité d'un kg d'azote d'un engrais organique par rapport à un engrais minéral de référence

Tableau 3 : coefficient d'équivalence engrais (EC-N) et N équivalent engrais produit par type de matière organique (source MVAD)

Classe animal	type Matière organique	EC-N	N équivalent engrais (kg)
Bovin	Lisier de bovin	0.4	553 434
Bovin	Fumier de bovin	0.15	12 552
Porc	Lisier de porc	0.4	257 754
Volaille	Lisier de poule pondeuse	0.6	100 374
Volaille	Fiente séchée de poule pondeuse	0.6	56 721
Volaille	Fumier de volaille	0.55	74 345
Non pris en compte	Fumier de caprin (cabri)	0.2	36 948
Non pris en compte	Fumier de cheval	0.23	4 427
Non pris en compte	Fumier de lapin	0.2	13 378
Non pris en compte	Fumier de mouton	0.2	1 500
Non pris en compte	Compost de déchets verts	0.1	7 153
Non pris en compte	Ecume de sucrerie	0.1	58 460

D'autre part, sur la base des données de recensement agricole, les différents gisements de matière organique dans chaque commune de la Réunion ont été estimés (MVAD, chambre d'agriculture de la Réunion). Ces données donnent une indication sur les quantités relative des matières organiques produites (par exemple majoritairement du lisier de bovin -**Tableau 3**). De là, elles permettent de calculer un coefficient équivalent engrais moyen (*EC-N moy pondéré*) pour chaque classe de cheptel (bovins, porcins, volaille) au prorata des quantités des différents types de matière organique produites dans chaque classe. La formule de calcul est la suivante :

$$EC_N \text{ moy pondéré } (c_i) = \frac{\sum_{j=1}^n EC_N_{c_i,j} \times N_{c_i,j}}{\sum_{j=1}^n N_{c_i,j}}$$

Avec c_i la classe animal, n le nombre de type de matière organique dans la classe c_i (par exemple 2 pour bovin : lisier et fumier), j , le type de matière organique de la classe c_i , N la quantité d'N équivalent engrais produite à l'échelle de l'île pour la classe c_i .

2 Coefficients CORPEN et effectifs d'animaux par commune

A l'aide du recensement agricole, les effectifs porcs, bovins, volailles sont disponibles par communes.



Le choix à dire d'acteur d'un coefficient CORPEN moyen (CC) pour chaque classe d'animaux permet de calculer la quantité de N produite par la classe considérée. Des coefficients sont proposés dans les feuilles de calcul et reprennent ceux utilisés dans le précédent état des lieux. Des réajustements peuvent être proposés selon les connaissances acquises sur les types d'animaux dans chaque classe.

Le produit des effectifs, du coefficient CORPEN et du coefficient d'équivalence engrais calculé à l'étape précédente donne la quantité de N équivalent engrais pour chaque classe d'animaux. La somme des quantités produites dans chaque classe d'animaux donne la quantité à l'échelle de la commune. Le calcul se résume par la formule ci-après :

$$Norg_i = \sum_{j=1}^3 Effectif_{i,j} \times CC_j \times EC_N \text{ moy pondéré}_j / SAU_i$$

Avec « *i* » la commune, « *j* » la classe d'animal, « Effectif » le nombre d'animaux de la classe *j* dans la commune *i*, « *CC* » et « *EC_N moy pondéré* » les coefficients CORPEN et d'équivalence engrais pour la classe d'animal *j*, « *SAU* » la surface agricole utilisée de la commune *i*.

FEUILLE DE TABLEUR ET TABLEAUX MOBILISES

Feuille SAU



Tableau SAU : ce tableau est un tableau croisé dynamique basé sur le tableau BOS de la feuille BaseParc. Il calcule les SAU par commune. Il nécessite d'être réactualisé à chaque changement du tableau BOS

Feuille ref MO



Tableau MO : ce tableau recense les caractéristiques de chaque type de matière organique. Il doit être actualisé au besoin par l'utilisateur.

Feuille ref Norga cheptel

- **Cellules EC-N et kg equ engrais d'après gisement** : ces cellules reprennent les coefficients de la Réunion.



Cellules « quantité N produite par animal » : on rentre ici les coefficients CORPEN par classe d'animaux



Tableau NORG : on reporte dans ce tableau les effectifs d'animaux dans chaque commune. La quantité de N équivalent engrais apportée par ha est calculée automatiquement en rapportant la production de chaque classe d'animaux à la SAU de la commune.

Feuille BaseParc

- **Tableau BOS** : la colonne Norg récupère dans le tableau NORG et pour chaque parcelle l'apport de matière organique en N équivalent engrais selon la commune d'appartenance.

CALCUL DES APPORTS EN AZOTE DU SOL

PRINCIPE

La fourniture en azote du sol est estimée à partir d'une évaluation de la teneur en N du sol à laquelle est affecté un coefficient de minéralisation dépendant du type de sol. La teneur en N est estimée à partir de la teneur en matière organique du sol.

DONNEES ET CALCULS

Les teneurs en carbone des différents types de sol, leur densité apparente et le coefficient de minéralisation annuelle sont issus de la base de données CIRAD basée sur le référentiel des analyses de sol réalisées à la Réunion (SERDAF 2009 - **Tableau 4**).

Tableau 4 : caractéristiques physico-chimique des principaux sols antillais

<i>sol</i>	<i>Carbone (C g/kg)</i>	<i>Coefficient de minéralisation annuelle (cmin)</i>	<i>Densité apparente (da)</i>
<i>autres</i>	23	4,20%	1
<i>andosols</i>	54	2.60%	0.7
<i>ferralsol</i>	24	4.60%	1
<i>nitisols</i>	23	4.60%	0.9
<i>vertisols</i>	23	3.40%	1.2

Source :J. Sierra et al. AES 213 (2015) 252-264. Observed and predicted changes in soil carbon stocks under export and diversified agriculture in the Caribbean. The case study of Guadeloupe

La teneur en N du sol est évaluée sur la base d'un rapport C/N de 10 de la matière organique (N = teneur en carbone / 10). L'estimation du stock d'azote s'effectue par hectare et sur les 25 premiers centimètres de sol selon la formule suivante :

$$N_{sol} = 10000 \times 0.25 \times da \times \left(\frac{cmin}{100}\right) \times C/10$$

Avec N_{sol} en kg ; da , la densité apparente (T/m^3) ; $cmin$ le coefficient de minéralisation en % ; C la teneur en carbone du sol en kg/T.

FEUILLES DE TABLEAU ET TABLEAUX MOBILISES

Feuille ref sols



Tableau SOL : on reporte dans ce tableau les caractéristiques des sols pour la Réunion. Les intitulés servent de référence pour l'ensemble des feuilles du tableau

Feuille code_sol



Tableau CAT_SOL : la colonne sol contient les intitulés des sols du tableau BOS de la feuille BaseParc. Chacun de ces intitulés est associé à un type de sol (colonne cat_sol) correspondant à ceux référencés dans le tableau SOL

Feuille BaseParc

- **Tableau BOS** : La colonne cat_sol reporte, en se référant au tableau CAT_SOL, les catégories de sol pour chaque parcelle. la colonne N_{sol} récupère dans le tableau SOL et pour chaque parcelle les informations de densité apparente, teneur en carbone et coefficient de minéralisation nécessaire au calcul de la production d'azote par le sol.

ESTIMATION DU TRANSFERT DES PARCELLES VERS LES RIVIERES

PRINCIPE

La balance azotée est calculée à partir des données précédentes. Si la balance est positive, elle est mobilisée par la lame d'eau au prorata des volumes précipités ; sinon la quantité lixiviée est considérée nulle.

DONNEES ET CALCULS

1 Balance azotée

Elle est calculée selon la formule suivante indiquée précédemment en début de document

$$BA = (Norg + Ne) \times CAU + Nsol - Nbesoins$$

Avec :

<i>Norg</i>	<i>l'équivalent engrais des apports d'azote par la matière organique</i>
<i>Ne</i>	<i>l'apport de N minéral par les engrais</i>
<i>Nsol</i>	<i>la fourniture en N du sol</i>
<i>Nbesoins</i>	<i>la quantité d'azote prélevée par les plantes</i>
<i>CAU</i>	<i>le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais minéral</i>

2 Estimation de la lame d'eau (LE)

La lame d'eau précipitée est théoriquement calculée en faisant la somme de l'eau apportée par irrigation avec (1) soit les quantités précipitées (carte des isohyètes), (2) soit du bilan climatique moyen calculé à l'échelle de l'année (Pluie-ETP). En Guadeloupe, en l'absence des données d'irrigation d'ETP, seules la pluie est considérée

3 Estimation de la quantité d'azote mobilisée

Les sources bibliographiques permettant d'évaluer la quantité d'azote lixiviée en fonction de la lame d'eau sont ténues. On peut citer les travaux d'Endo au Japon (Endo et al. 2009) pour des conditions pluviométriques bien inférieures à celles rencontrées à la Guadeloupe ou encore les travaux de L. Thieuleux sur bananeraie aux Antilles mais qui ne permettent pas de calculer la part d'azote mobilisée par rapport à celle du sol. (Dorel, Achard, and Tixier 2008) paramètrent l'équation de Schaffer pour les andosols aux Antilles. Enfin (Bordenave and Orain 1998) utilisent le modèle de Burns en conditions tempérées. Ces deux derniers modèles sont utilisés à des pas de temps respectifs de la semaine et de la journée et conviennent mal à l'estimation d'un bilan annuel. Ils portent également sur l'azote total du sol et non le bilan azoté. Une fraction mobilisable peut cependant être calculée en discrétisant la pluie annuelle sur 52 semaines et en considérant un stock d'azote décroissant au fur et à mesure du lessivage. Ces calculs restent insatisfaisants et, en l'absence d'autres données, un modèle linéaire est proposé mobilisant l'azote au prorata de la lame d'eau et plafonné à la valeur de la balance azotée. Le modèle proposé est le suivant :

$$\text{si } BA > 0 \text{ Nlix} = BA \times 0.0002 \times LE$$

$$\text{si } BA < 0 \text{ Nlix} = 0$$

Nlix, quantité d'N lixiviée en kg /ha ; *BA* la balance azotée en kg / ha , *LE* la lame d'eau en mm

La **Figure 3** montre que la fraction d'azote mobilisée est plus importante dans le modèle linéaire proposé par rapport aux modèles de Burns et Schaffer. On maximise ainsi le risque de lixiviation.

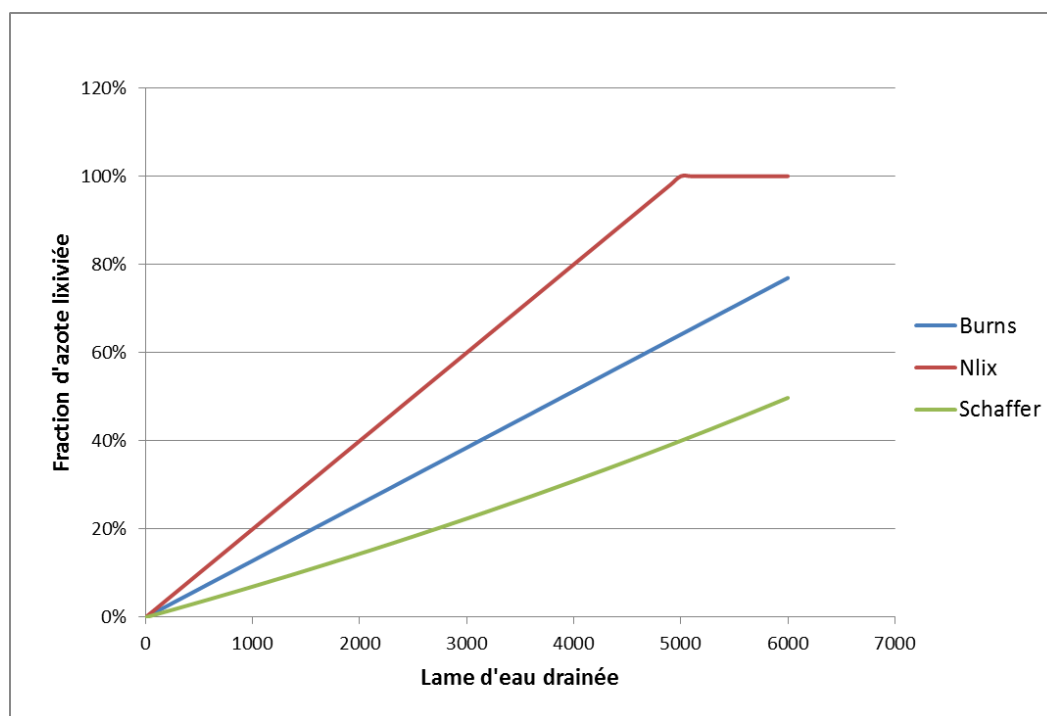


Figure 3 : comparaison de 3 modèles de lixiviation de l'azote au pas de temps annuel

FEUILLES DE TABLEUR ET TABLEAUX MOBILISÉS

Feuille BaseParc

Tableau BOS : la colonne LE calcule la lame d'eau en ajoutant la pluie (ou le bilan climatique) ; la colonne Nlix applique la formule de mobilisation de l'azote excédentaire ; la colonne Nparc donne la quantité lixiviée pour la parcelle en multipliant Nlix par la surface de la parcelle.

AGREGATION DES RESULTATS A L'ECHELLE DE LA MASSE D'EAU

Les résultats sont ensuite agrégés à l'échelle de la masse d'eau selon l'équation suivante :

$$Nlix(ME) = \sum_i^n Nlix_i \times Surface_i$$

Avec i une parcelle ; ME une masse d'eau, n le nombre de parcelles situées sur la masse d'eau ME, $N_{lix}(ME)$ la quantité d'azote lixiviée dans la masse d'eau ME, $N_{lix,i}$ la quantité d'azote lixiviée par hectare sur la parcelle i , $Surface_i$ la surface de la parcelle i .



Ce calcul est effectué dans le tableau croisé dynamique de la feuille « sorties synthèse ». On fera attention de sommer les quantités lixiviées par parcelle à l'échelle de la masse d'eau et non les quantités rapportées à l'hectare. On obtient une grandeur représentative des quantités lixiviées à l'échelle de la masse d'eau qui peut être rapportée soit à la surface de la masse d'eau, soit à sa SAU, soit au débit du cours d'eau.

La quantité d'azote par hectare ou par masse d'eau est exportée vers SIG pour être cartographiée afin de mieux interpréter au mieux la pression phytosanitaire.

CONCLUSION

L'indicateur présenté, basé sur des données de douanes, mobilise des équations simplifiées permettant de calculer une balance azotée et un transfert vers les rivières.

Cet indicateur ne représente pas les quantités « réelles » d'azote arrivant aux rivières. Il permet de comparer des situations dans l'espace et le temps. Il constitue essentiellement un outil de réflexion et de médiation et permet de focaliser l'intérêt sur un problème potentiel.

D'autre part, l'outil est souple et transparent et peut-être modifié et amélioré pour mieux correspondre aux enjeux du milieu et aux données disponibles. En ce sens il est destiné à évoluer au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances (répartition de la matière organique sur les cultures ; fourniture d'azote par les sols ; bilan climatique...)


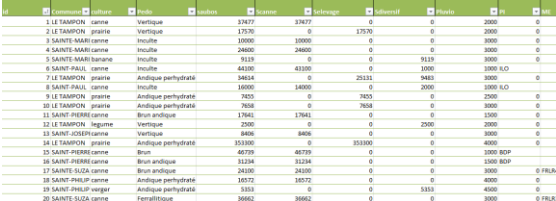
Ces remarques impliquent qu'un indicateur ne peut être l'unique outil d'appréciation des pressions. Il ne saurait remplacer la mise en œuvre d'un processus d'évaluation basé sur un système d'indicateurs composés d'indicateurs de pression à différentes échelles et adossé à des mesures de concentration en rivière attestant de l'impact.

MISE EN OEUVRE PRATIQUE DU CALCUL DE L'INDICATEUR SOUS TABLEUR



Le logo

indique les manipulations à réaliser en cours de formation (zones non grisées)


Tâche	Raison	Action	Commentaires
<div>  </div> <div>I- IMPORTATION DES DONNEES DE LA BASE SIG DANS LA FEUILLE DE CALCUL DE L'INDICATEUR (10 MIN)</div>			
Préparation des données du fichier BOS_fin Créé sous SIG	Il s'agit de rendre compatible le fichier BOS_fin avec le fichier de calcul de l'indicateur (noms et disposition des colonnes notamment)	- Ouvrir le fichier BOS_FIN créé à partir du SIG dans un tableur	
Intégration des informations spatialisées dans la feuille de calcul de l'indicateur		Ouvrir le fichier calcul_indicateur_N.xls	Tous les calculs sont effectués dans ce fichier Les données sont organisées sous la forme de tableaux dont le nom est indiqué en blanc sur fond rouge dans chacune des feuilles
	Effacement des anciennes données	<p>Sélectionner la feuille « <i>BaseParc</i> »</p> <p>Tableau BOS : Sélectionner les données existantes correspondant sous les en-têtes verts. Ne pas supprimer les données dans la zone jaune qui porte sur les formules</p> <p>- Sélectionner la 1^{ère} ligne des données</p> <p>- Appuyer successivement sur les touches « ctrl » « maj » et « flèche bas »</p> <p>- Appuyer sur la touche <i>Suppr</i></p>	<p>Cette feuille recense toutes les données à l'échelle de la parcelle</p> <p>On efface les données anciennes afin d'éviter toute confusion</p> 



	<p>Insertion des nouvelles données</p>	<p>Insérer les données colonnes par colonnes du BOS_FIN issues du SIG :</p> <ul style="list-style-type: none">- dans les cases vertes de la feuille Baseparc- à partir de la cellule (colonne « id »)- en veillant à respecter l'intitulé des colonnes- en vérifiant si les caractères accentués sont correctement affichés (on peut cliquer pour cela sur les flèches en tête de colonne pour afficher les modalités de chaque colonne) <p>*id= I_PARCELLE ; saubos = surface de la culture en m²</p>	<table><tr><th colspan="5">On copie ici les données issues du SIG</th><th></th><th>m²</th></tr><tr><th>id</th><th>Commune</th><th>culture</th><th>Pedo</th><th>saubos</th><th>Scanne</th><th></th></tr><tr><td>1</td><td>LE TAMPON</td><td>canne</td><td>Vertique</td><td>37477</td><td></td><td>37477</td></tr><tr><td>2</td><td>LE TAMPON</td><td>prairie</td><td>Vertique</td><td>17570</td><td></td><td>17570</td></tr><tr><td>3</td><td>SAINTE-MARI</td><td>canne</td><td>Inculte</td><td>10000</td><td></td><td>10000</td></tr><tr><td>4</td><td>SAINTE-MARI</td><td>canne</td><td>Inculte</td><td>24600</td><td></td><td>24600</td></tr><tr><td>5</td><td>SAINTE-MARI</td><td>banane</td><td>Inculte</td><td>9119</td><td></td><td>9119</td></tr><tr><td>6</td><td>SAINT-PAUL</td><td>canne</td><td>Inculte</td><td>44100</td><td></td><td>44100</td></tr><tr><td>7</td><td>LE TAMPON</td><td>prairie</td><td>Andique perhydraté</td><td>34614</td><td></td><td>34614</td></tr><tr><td>8</td><td>SAINT-PAUL</td><td>canne</td><td>Inculte</td><td>16000</td><td></td><td>16000</td></tr><tr><td>9</td><td>LE TAMPON</td><td>prairie</td><td>Andique perhydraté</td><td>7455</td><td></td><td>7455</td></tr><tr><td>10</td><td>LE TAMPON</td><td>prairie</td><td>Andique perhydraté</td><td>7658</td><td></td><td>7658</td></tr><tr><td>11</td><td>SAINT-PIERRE</td><td>canne</td><td>Brun andique</td><td>17641</td><td></td><td>17641</td></tr><tr><td>12</td><td>LE TAMPON</td><td>legume</td><td>Vertique</td><td>2500</td><td></td><td>2500</td></tr><tr><td>13</td><td>SAINT-JOSEPH</td><td>canne</td><td>Vertique</td><td>8406</td><td></td><td>8406</td></tr><tr><td>14</td><td>LE TAMPON</td><td>prairie</td><td>Andique perhydraté</td><td>353300</td><td></td><td>353300</td></tr></table>	On copie ici les données issues du SIG						m²	id	Commune	culture	Pedo	saubos	Scanne		1	LE TAMPON	canne	Vertique	37477		37477	2	LE TAMPON	prairie	Vertique	17570		17570	3	SAINTE-MARI	canne	Inculte	10000		10000	4	SAINTE-MARI	canne	Inculte	24600		24600	5	SAINTE-MARI	banane	Inculte	9119		9119	6	SAINT-PAUL	canne	Inculte	44100		44100	7	LE TAMPON	prairie	Andique perhydraté	34614		34614	8	SAINT-PAUL	canne	Inculte	16000		16000	9	LE TAMPON	prairie	Andique perhydraté	7455		7455	10	LE TAMPON	prairie	Andique perhydraté	7658		7658	11	SAINT-PIERRE	canne	Brun andique	17641		17641	12	LE TAMPON	legume	Vertique	2500		2500	13	SAINT-JOSEPH	canne	Vertique	8406		8406	14	LE TAMPON	prairie	Andique perhydraté	353300		353300
On copie ici les données issues du SIG						m²																																																																																																													
id	Commune	culture	Pedo	saubos	Scanne																																																																																																														
1	LE TAMPON	canne	Vertique	37477		37477																																																																																																													
2	LE TAMPON	prairie	Vertique	17570		17570																																																																																																													
3	SAINTE-MARI	canne	Inculte	10000		10000																																																																																																													
4	SAINTE-MARI	canne	Inculte	24600		24600																																																																																																													
5	SAINTE-MARI	banane	Inculte	9119		9119																																																																																																													
6	SAINT-PAUL	canne	Inculte	44100		44100																																																																																																													
7	LE TAMPON	prairie	Andique perhydraté	34614		34614																																																																																																													
8	SAINT-PAUL	canne	Inculte	16000		16000																																																																																																													
9	LE TAMPON	prairie	Andique perhydraté	7455		7455																																																																																																													
10	LE TAMPON	prairie	Andique perhydraté	7658		7658																																																																																																													
11	SAINT-PIERRE	canne	Brun andique	17641		17641																																																																																																													
12	LE TAMPON	legume	Vertique	2500		2500																																																																																																													
13	SAINT-JOSEPH	canne	Vertique	8406		8406																																																																																																													
14	LE TAMPON	prairie	Andique perhydraté	353300		353300																																																																																																													
	<p>Suppression des lignes surnuméraires du tableau de données parcellaires s'il y a lieu</p>	<ul style="list-style-type: none">- Pointer dans la première cellule de « id »- Appuyer successivement sur les touches « Fin » et « flèche bas »- Se positionner dans la première cellule vide sous les données- Appuyer successivement sur les touches « Fin » et « flèche bas » en maintenant la touche « majuscule » enfoncée- Cliquer Droit dans la zone sélectionnée et choisir « supprimer les lignes » dans le menu	<ul style="list-style-type: none">- cette action permet d'aller à la fin des données- cette action sélectionne les cellules vides jusqu'à la fin du tableau.- la suppression des lignes doit se faire à partir du tableau et non en sélectionnant les étiquettes de ligne en dehors du tableau																																																																																																																
<p>Actualisation du tableau des SAU et liste des communes</p>	<p>Etablir la liste de référence des communes qui sera reprise dans les autres feuilles du fichier</p>	<ul style="list-style-type: none">- Sélectionner la feuille « SAU »- cliquer Droit dans le tableau croisé dynamique SAU et choisir « Actualiser »	<p>Le tableau est mis à jour avec les nouvelles données</p>																																																																																																																

II- CALCUL DE LA BALANCE AZOTEE

CALCUL DU BESOIN DES CULTURES (NBESOINS) 15 MIN

Importance de la clé de répartition : ajustement des besoins par les acteurs locaux

Entrée des catégories de culture	Les cultures du tableau BOS seront affectées dans ces catégories	<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner la feuille « <i>cultures</i> » - Tableau CULT : entrer les catégories de culture dans la colonne « cult » ces catégories serviront de référence 	<p>Les catégories sont pré-remplies : Autres, Banane, Canne à sucre ; Maraîchage, Prairies, Verger</p> <p>Les types de calcul sont spécifiques pour les besoins. En conséquence, tout changement du nombre de lignes ou de catégorie doit être validé par le concepteur de la feuille pour s'assurer de la compatibilité des formules</p>
Affectation des catégories de cultures aux cultures		<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner la feuille « <i>code_cult</i> » <p>Tableau CAT_CULT :</p> <ul style="list-style-type: none"> - copier dans la 1ère cellule de la colonne "cult" du tableau CAT_CULT, la colonne "culture" du tableau BOS de la feuille « <i>BaseParc</i> », - Sélectionner la colonne "cult" du tableau CAT_CULT et supprimer les doublons (onglet "Données") - trier la colonne "cult" du tableau CAT_CULT par ordre alphabétique (flèche de colonne) - Vérifier / renseigner les catégories de culture (colonne « cat_cult ») pour chaque culture 	<ul style="list-style-type: none"> - Les cultures sont récupérées dans le tableau BOS (copie en supprimant les doublons) - Les catégories de culture sont rentrées manuellement pour chaque culture. La saisie est limitée aux catégories de culture entrée à l'étape précédente (tableau CULT)

Entrée des références pour chaque culture	Il s'agit de renseigner les besoins en azote estimés pour une culture et un rendement donné.	<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner la feuille « <i>ref Besoins</i> » - Tableau BES_CULT : <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier/Compléter les données pré-remplies dans les cases vertes - Pour ajouter /supprimer une ligne du tableau : cliquer Droit dans le tableau et choisir insérer/supprimer ligne - Renseigner la catégorie de culture sur la base des catégories indiquées à l'étape précédente (la saisie est limitée aux catégories mentionnées dans le tableau CULT) 	<ul style="list-style-type: none"> - les rendements sont en T/ha et les besoins en kg N/ha - les cultures du tableau BES_CULT ne correspondent pas forcément à celles du tableau CAT_CULT rempli précédemment. Les sources de données sont en effet différentes, et le nombre de cultures peut être supérieur dans le tableau BES_CULT. Le lien entre tableaux se fait par l'intermédiaire de la colonne « cat_cult »
		Tableau BES_BAN : Vérifier/Actualiser les données de rendement banane par commune	le nom des communes doit impérativement correspondre à celles indiquées dans le tableau BOS Le calcul des besoins selon les rendements est basé sur un besoin de 1.2 unité d'azote par tonne de canne produite
Calcul des besoins		<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner la feuille « <i>cultures</i> » - tableau CULT : entrer les besoins pour la catégorie « Autres » - Les autres besoins des autres catégories de culture sont calculés automatiquement 	- voir calcul des besoins

CALCUL DES APPORTS EN AZOTE MINERAL PAR CATEGORIE DE CULTURE (NE) 15 MIN.



Répartition de l'engrais minéral importé sur les cultures	Validation de la teneur en N des engrais importés	<ul style="list-style-type: none"> - ouvrir le fichier Excel «IMPORT_ENGRAIS_2015_2016.xls » - ouvrir le fichier « Teneur N des engrais minéraux » et vérifier la « teneur N » en azote entrant dans la composition des engrais importés => possibilité de MAJ des % azoté des engrais => validation avec les acteurs des teneurs en N 	
	Calcul de la quantité d'azote importé Le fichier excel représente les différents engrais importés par année. On trouve le libellé de l'engrais, les catégories d'engrais, les sous-catégories, la composition de l'engrais, la masse en tonnes et la valeur en milliers d'euros.	=> <u>comment se servir du fichier extrait des douanes « IMPORT_ENGRAIS_2015_2016.xls » :</u> <ul style="list-style-type: none"> - On crée une colonne « moyenne des masses azotées importées par engrais » où l'on effectue la moyenne des masses d'engrais importés pour chaque type d'engrais - On crée une 2nd colonne « teneur N », où l'on renseigne la teneur en azote (%) entrant dans la composition des différents engrais selon leur libellé. Se référer au fichier « Teneur N des engrais minéraux ». 	

		<ul style="list-style-type: none"> - Crée une 3eme colonne « quantité N (tonnes) » : entrer la formule permettant de multiplier la teneur N de l'engrais * moyenne de la masse azotée - Crée une 4^{ème} colonne « quantité N (kg) » : mettre la masse en kg pour tous les engrais - Faire la somme de toutes les catégories d'engrais (kg) <p>On obtient la quantité moyenne d'azote minéral importée.</p>	
	Report de l'engrais importé dans le tableur	<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner la feuille « <i>cultures</i> » - reporter la quantité moyenne d'azote minéral importée dans la cellule E7 - le calcul de Ne est réalisé automatiquement sur la base des besoins des plantes 	Cette valeur est à discuter : pour la Guadeloupe notamment les importations de 2015 et 2016 conduisent à des sur fertilisations très importantes sur les cultures au vu des occupations du sol
CALCUL DES APPORTS EN AZOTE ORGANIQUE PAR CATEGORIE DE CULTURE (NORG) 5 MIN			
Calcul de l'apport moyen de N kg/ha organique par commune	Le calcul est effectué à partir des données de cheptel par commune et de coefficients CORPEN de production d'azote par animal	<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner la feuille « <i>ref Norga cheptel</i> » - Actualiser les coefficients CORPEN pour chaque catégorie d'animal (bovins, porcins, volaille) si mise à Jour de la donnée - Tableau NORG : Renseigner les effectifs de chaque catégorie d'animal avec les données du recensement agricole (RA 2010) si mise à jour 	Les coefficients équivalent engrais pondérés par classe d'animal sont calculés à partir des informations de la feuille « ref Norga gisement » sur laquelle l'utilisateur n'intervient pas)

		de la donnée	
FOURNITURE EN AZOTE DU SOL 1 MIN			
Mise à jour des références sol	Actualiser les caractéristiques et les différents types de sol	<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner la feuille « <i>ref sols</i> » - Tableau SOL : Actualiser les informations du tableau au besoin 	Attention la première colonne du tableau sert de référence des types de sol pour l'ensemble de la feuille de calcul
Affectation des catégories de sol aux types de sol du tableau BOS		<ul style="list-style-type: none"> - Sélectionner la feuille « <i>code_sol</i> » - tableau CAT_SOL : renseigner la 1^{er} colonne du tableau (« sol ») au besoin - Renseigner les catégories de sol (colonne « cat_sol ») pour chaque sol au besoin <p>Même procédé que pour les cultures, ne pas faire l'opération</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les sols sont récupérés dans le tableau BOS (copie en supprimant les doublons) - Les catégories de sols sont rentrées manuellement pour chaque sol. La saisie est limitée aux catégories de sol entrées à l'étape précédente (tableau SOL)
III- SORTIES SYNTHESSES : MANIPULATIONS ET INTERPRETATIONS (50 MIN)			
Manipulation du tableau croisé dynamique	Savoir manipuler les sorties du modèle en fonction de différentes paramètres dans le tableau croisé dynamique	<p>Sélectionner la feuille « <i>sorties synthèses</i> »</p> <p>modifier les paramètres du tableau croisé dynamique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cliquer dans le tableau croisé 	

		dynamique <ul style="list-style-type: none"> - Dans l'encadré : modifier les étiquettes de lignes et de colonne - Dans l'encadré : modifier les valeurs voulues en sortie 	<ul style="list-style-type: none"> - La liste des champs apparaît sur la droite
Calcul du N par parcelle		⇨ Sortie par PARCELLE : <ul style="list-style-type: none"> - Faire glisser la variable ID en étiquette de ligne - Faire glisser la variable N lix (kg/ha) vers les valeurs - Cliquer sur la flèche du Nlix - Paramètres de champs de valeurs - Choisir la somme des Nlix - Exporter les données : Copier le tableau croisé dynamique dans un nouveau fichier excel vierge et enregistrer le fichier sous format .csv ou .excel 	<p>On choisit une sortie du N par parcelle en kg / ha pour pouvoir être affichée sous SIG. La variable Nlix correspond à cela</p> <p>Chaque ligne du tableau correspondant à une parcelle, la somme ne porte en fait que sur une seule valeur</p> <p>On peut nommer ce fichier « N_parc »</p>
Calcul du N par masse d'eau		⇨ Sortie par ME : <ul style="list-style-type: none"> - Faire glisser la variable ME en étiquette de ligne - Faire glisser la variable N parc vers les valeurs - Cliquer sur la flèche du Nparc - Paramètres de champs de valeurs - Choisir la somme des Nparc - Faire la même manipulation pour le SAUBOS - Faire la même manipulation avec la variable Nlix (kg/ha) en choisissant « moyenne » au lieu de « somme » - Faire la même manipulation avec la 	<ul style="list-style-type: none"> - On calcul ainsi la quantité totale de N lixiviée issues des parcelles de la masse d'eau - On calcul ici la surface des parcelles par masse d'eau (attention aux unités ha ou m²) - Les moyennes des variables Nlix, Ne et Norg représentent la pression moyenne d'une parcelle située sur la masse d'eau

		<p>variable Nmin (kg/ha) en choisissant « moyenne » au lieu de « somme »</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faire la même manipulation avec la variable Norga (kg/ha) en choisissant « moyenne » au lieu de « somme » - Copier et coller ce tableau dans un nouveau fichier - Rajouter des colonnes au tableau : Nlix_sau, Nmin_sau, Norga_sau - Entrer les calculs dans ces colonnes pour calculer la quantité d'azote lixiviée en fonction de la saubos par ME : Nlix (kg/ha)*saubos (ha) Nmin (kg/ha)*saubos (ha) Norga (kg/ha)*saubos (ha) - Exporter les données : Copier le tableau croisé dynamique dans un nouveau fichier excel vierge et enregistrer le fichier sous format .csv ou .excel 	<p>- calcul des quantités totales de N issues des parcelles de la masse d'eau, soit l'équivalent de la somme des Nparc calculée à l'étape précédente. Le but est didactique pour évaluer l'écart entre les 2 méthodes de calcul.</p> <p>- on peut nommer le fichier N_me</p>
Analyse de l'origine de la pression		<p>⇒ Analyser la répartition en fonction des catégories de cultures :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faire glisser la variable cat_cult dans les étiquettes de lignes à la place des ME - Supprimer le champ ME - Faire glisser le N parc dans le champ de valeur <p>⇒ Quelles conclusions en tirer ?</p> <p>⇒ Quelles sont les cultures les plus azotées ?</p>	-

IV- RENVOI TABLEUR VERS SIG			
Renvoi du tableur vers SIG	Renvoi sur SIG les données N par parcelle et N par ME pour les cartographier et les comparer.	<ul style="list-style-type: none">- Ouvrir le fichier QGIS_indicateur créé- Insérer les fichiers sorties N_parcelle et N_ME ; dans le SIG <p>Voir comment insérer les fichiers dans le guide méthodologique SIG (4- Récupération des données tableur vers SIG)</p>	-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agreste. (2010). *Recensement agricole.*

<http://agreste.agriculture.gouv.fr/recensement-agricole-2010/>

Chambre d'agriculture de la Réunion, 1995/2009, Fiche technico-économique.

Chambre d'Agriculture de La Réunion (MVAD), Cirad. (2008). *FERTI-RUN 2008.*

Téléchargeable sur le site de la MVAD : <http://www.mvad-reunion.org/spip.php?article107>

Saint Macary H., Medoc J.-M., Chabalier P.-F. (2002). Systèmes de culture de la Réunion : typologie, spatialisation et éléments pour un référentiel. In : Guerrin F., Paillat J.-M. (eds.). *Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité. Cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion.* Montpellier : Cirad. Séminaire de l'ATP 99/60, 2002/06/19-20, Montpellier (France).

Chabalier P.-F., Van De Kerchove V., Saint Macary H. (2006). Guide de la Fertilisation Organique à La Réunion. Montpellier : CIRAD. 302 p.