

Inventaires

Les composés azotés ont différents impacts sur l'environnement (l'acidification, l'eutrophisation, la pollution des eaux) , sur la qualité de l'air et sur la santé humaine (par voie respiratoire), il est nécessaire donc de quantifier leurs émissions afin d'étudier leurs variabilité temporelle et spatiale.

Certains modèles de chimie et de transport ont été développés . Cependant, ces modèles reposent largement sur des informations d'émissions pré-calculées. D'où la nécessité de mettre en place des inventaires.

Depuis 1990, plusieurs inventaires récents ont été développés afin de quantifier les émissions des composés azotés à différentes échelles régionale, nationale et mondiale. Parmi ces inventaires, on peut citer les inventaires HTAP v2.2 (the Hemispheric Transport of Air Pollution Inventory) de Janssens Maenhout et al., (2015), CEDS (Community Emissions Data System) de Hoesly et al., (2018) et EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research).

Cette partie a pour objectif de présenter les inventaires EDGAR et CEDS pour les émissions de NH₃ provenant de l'agriculture et la quantification des émissions par différentes sources agricoles.

Le principe des ces inventaires se base sur le calcul des émissions annuelles des polluants en utilisant les facteurs d'émission FE (flux d'un composé donné émis par unité d'activité : par exemple, la quantité d'engrais appliqué par polluant) et les données d'activités AD (intensité spécifique à un service ou activité donnée telle que la population humaine...).

1_EDGAR

EDGAR est une base de données mondiale fournissant des séries chronologiques d'émissions pour tous les pays . Il fournit des estimations des émissions pour l'ensemble du globe de gaz à effet de serre (GES) et de polluants, par pays et par secteur à une résolution de 0,1° × 0,1° pour la période historique allant de 1970 à 2012.

1_1_Secteur des émissions agricoles de NH₃

On désigne par secteur, l'ensemble des activités d'une même famille, contribuant à l'émission d'un composé donné.

Les noms de secteur utilisés dans EDGAR sont issus des catégories du rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996).

Dans le cas de NH₃, le secteur agricole regroupe les émissions liées à l'application d'engrais, la gestion du fumier et le brûlage des déchets agricoles.

Application d'engrais :

Deux sources principales d'émissions sont liées à l'application d'engrais :

- *L'application d'engrais*
- *La récolte des cultures*

Gestion du fumier :

Les émissions de NH₃ issues de la gestion du fumier proviennent des :

- *Zones d'élevage*
- *Stockage du fumier*
- *Épandage du fumier*

Brûlage des déchets agricoles

Cette activité est une source mineure de NH₃ qui provient de la combustion des résidus de récolte.

1_2_Calcul des émissions

Les émissions peuvent être calculées à différents niveaux (1, 2 et 3). Un niveau représente un niveau de complexité méthodologique.

On distingue trois niveaux différents : le niveau 1 est la méthode la plus simple (la plus basique). Le niveau 2 est le niveau intermédiaire (moyen) et le niveau 3, le plus exigeant en termes de complexités et d'exigences en matière de données. Les niveaux 2 et 3 sont parfois appelés méthodes de niveau supérieur et sont généralement considérés comme les plus précis (moins d'incertitudes).

La méthode de niveau 1 applique une relation simple entre les données d'activités et les facteurs d'émissions, comme donné par l'équation (1). Les données d'activités sont dérivées d'informations statistiques facilement disponibles (statistique sur la production, population...). Les facteurs d'émissions sont choisis de manière à représenter des conditions de processus « typiques » ou « moyennées, ils ont tendance à être indépendants de la technologie (aucune technologie n'est appliquée à ce niveau là).

Les émissions sont calculées par une simple relation empirique reliant les données d'activités et les facteurs d'émission.

Ces émissions sont calculées, à l'échelle annuelle et par pays, en s'appuyant sur l'équation suivante :

$$EM_i(C,t,x) = AD_i(C,t) * FE_i(C,t,x) \quad (1)$$

où *EM* : l'émission totale,
AD : les données d'activités,
FE : facteur d'émission
i : secteur

C : pays
t:l'année
x=composé chimique (polluant)

Les méthodes de niveau 3 vont au-delà de ce qui précède. Ces méthodes pourraient être considérées comme des méthodes utilisant les connaissances scientifiques les plus récentes dans des approches et des modèles plus sophistiqués.

Pour passer d'une méthode de niveau 1 à une méthode de niveau 2, les facteurs d'émission par défaut doivent être remplacés par des facteurs d'émission spécifiques au pays ou à la technologie (tel que le niveau de développement d'un pays, le type de fertilisant appliqué...). Cela pourrait également nécessiter une autre répartition des données d'activité sur une gamme de technologies différentes, agrégées implicitement dans la méthode de niveau 1.

La figure 1 donne un aperçu sur les différents termes qui interviennent dans le calcul des émissions à travers la méthode technologique du niveau 2.

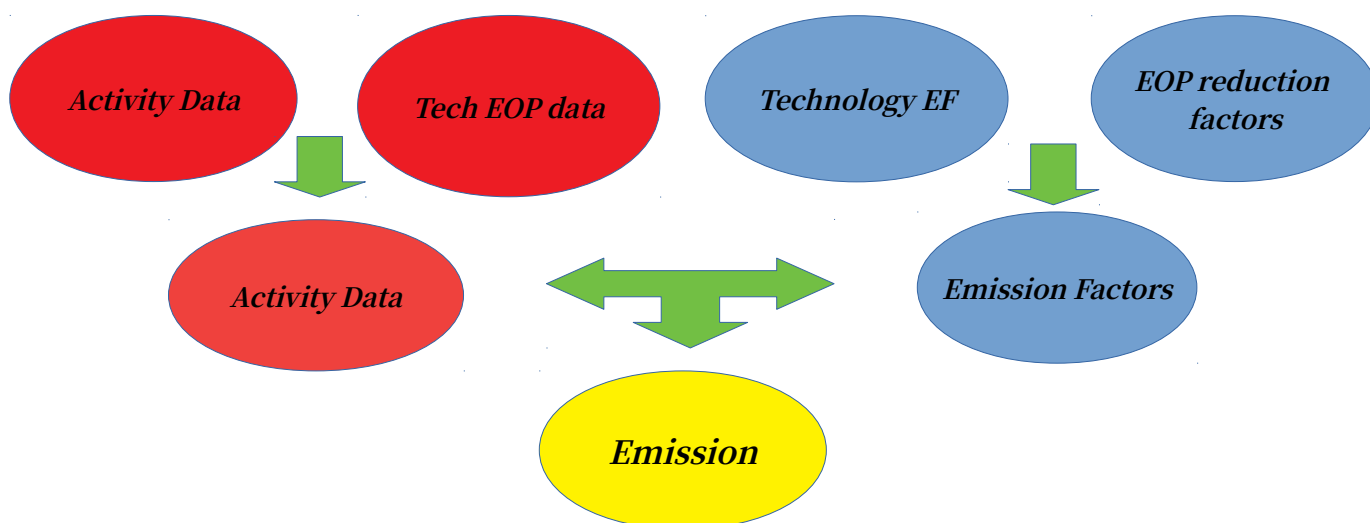


Figure 1: Les différents termes de la méthode technologique inclus dans le calcul des émissions.

Dans cette partie, nous présentons l'application de la méthode de niveau 1 pour le calcul des émissions de NH₃ provenant du secteur agricole.

1_2_1_Application d'engrais

Pour cette approche de niveau 1, les émissions de NH₃, par pays, provenant des cultures et des sols agricoles utilisent l'équation générale suivante:

$$E_{NH3} = AR_{fertilizer_appliqué} \cdot FE_{NH3} \quad (2)$$

avec :

E_{NH3} = quantité de NH_3 émise ($kg a^{-1}$),

$AR_{fertilizer_appliqué}$ = quantité de N appliquée ($kg a^{-1}$),

FE_{NH3} = FE du NH_3 ($kg [NH_3] kg^{-1} [FERT]$).

L'équation (2) est appliquée au niveau national grâce à l'utilisation annuelle nationale totale d'azote des engrais.

Le facteur d'émission de NH_3 par défaut pour le niveau 1 a été calculé comme un facteur d'émission moyen pour des engrais individuels N pondérés en fonction de leur utilisation, comme indiqué par IFA pour l'Europe en 2010 (www.fertilizer.com).

Pour NH_3 , le facteur d'émission par défaut du niveau 1 pour l'application d'engrais vaut :
 $0,081 kg kg^{-1} fertilizer-N applied$.

Pour les données d'activités utilisées dans cette méthode de niveau 1, des informations sont requises sur la consommation annuelle nationale en engrais azoté. Les données annuelles sur la consommation d'engrais peuvent être collectées à partir de statistiques nationales officielles, souvent enregistrées en tant que ventes d'engrais et / ou en tant que production et importations nationales. Si les données spécifiques à chaque pays ne sont pas disponibles, les données de l'Association internationale de l'industrie des engrais (www.fertilizer.org/) sur l'utilisation totale d'engrais par type et par culture, ou de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, <http://faostat.fao.org/>) sur la consommation d'engrais minéraux, peuvent être utilisés.

La principale incertitude de la méthode de niveau 1 réside dans la généralisation du FE. L'écart type dans les mesures de NH_3 provenant d'engrais minéraux est au même niveau que les émissions moyennes mesurées en pourcentage. Les émissions globales ne sont probablement pas meilleures que $\pm 50\%$ (EMEP/EEA, 2013).

L'épandage d'engrais azoté peut être estimé avec une précision de $\pm 10\%$ selon EMEP/EEA (2013). D'autres facteurs tels que le retour de N dans le fumier peuvent être estimés à $\pm 25\%$ (EMEP/EEA, 2013). En ce qui concerne les données nationales sur les superficies cultivées, une incertitude $<5\%$ est supposée.

Notons que pour le niveau 2, les facteurs d'émission utilisés pour le calcul des émissions de NH_3 provenant de l'application d'engrais sont donnés par pH de sol et par type d'engrais (voir annexe1).

1_2_2_Gestion du fumier

Le calcul des émissions de NH₃, provenant de la gestion du fumier par la méthode du niveau 1 s'organise en plusieurs étapes :

L'étape 1 consiste à définir les catégories de bétail appropriées et à obtenir le nombre moyen annuel d'animaux dans chaque catégorie. Le but de la catégorisation est de regrouper les types d'élevage gérés de la même manière .

La deuxième étape consiste à déterminer, pour chaque catégorie de bovins ou de porcs, si le fumier est généralement traité comme du lisier ou du solide.

L'étape 3 consiste à chercher le facteur d'émission par défaut pour chaque catégorie de bétail (tableau 1).

L'étape 4 consiste à calculer les émissions de NH₃, E_{NH_3} , par pays et pour chaque catégorie de bétail, en utilisant, AAP_{animal} (annual average population of each category), et le $EF_{NH_3_{animal}}$:

$$E_{NH_3_{animal}} = AAP_{animal} \cdot EF_{NH_3_{animal}} \quad (3)$$

où

AAP_{animal} = nombre d'animaux d'une catégorie donnée présents, en moyenne, au cours de l'année.

Les différents facteurs d'émissions, par classe de bétail, utilisés pour le calcul des émissions issues de la gestion de fumier par la méthode de niveau 1 sont regroupés dans le tableau suivant. Ces facteurs d'émission sont fournis par type du fumier. L'utilisateur peut choisir le facteur d'émission pour le système de gestion du fumier prédominant pour la classe de bétail correspondante dans le pays concerné.

Livestock	Manure type	EF_NH3
Dairy cows	<i>slurry</i>	39.3
Dairy cows	<i>solid</i>	28.7
Other cattle	<i>slurry</i>	13.4
Other cattle	<i>solid</i>	9.2
Fattening pigs	<i>slurry</i>	6.7
Fattening pigs	<i>solid</i>	6.5
Sows	<i>slurry</i>	15.8
Sows	<i>solid</i>	18.2
Sows	<i>outdoor</i>	7.3
Sheep (and goats)	<i>solid</i>	1.4
Horses (and mules, asses)	<i>solid</i>	14.8

Laying hens	<i>solid</i>	0.48
Laying hens	<i>slurry</i>	0.48
Broilers	<i>litter</i>	0.22
Other poultry (ducks)	<i>litter</i>	0.68
Other poultry (geese)	<i>litter</i>	0.35
Other poultry (turkeys)	<i>litter</i>	0.95
Fur animals		0.02
Camels	<i>solid</i>	10.5
Buffalo	<i>solid</i>	9.0

Tableau 1 : Facteurs d'émission, de niveau 1 par défaut ($\text{kg a}^{-1} \cdot \text{AAP}^{-1} \text{NH}_3$) pour le calcul des émissions de NH_3 provenant de la gestion du fumier par catégorie de bétail.

Pour le niveau 1, des données sont nécessaires sur le nombre d'animaux pour chacune des catégories énumérées dans le tableau précédent. Un recensement agricole national annuel peut fournir ces données. Sinon, les informations statistiques d'Eurostat (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>) ou de l'Annuaire de la production de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (FAO, 2005/2006) peuvent être utilisées.

Les incertitudes dans les FE de NH_3 varient considérablement. Une étude britannique récente a indiqué une plage allant de $\pm 14\%$ pour le FE pour l'épandage de lisier à $\pm 136\%$ pour le pâturage des bovins de boucherie. En général, les FE des grandes sources (qui ont une contribution importantes aux émissions) ont tendance à être basés sur un plus grand nombre de mesures que ceux des petites sources et, par conséquent, sont plus certains. Les exceptions concernaient les FE pour les bâtiments abritant du bétail avec de la paille et des pâturages pour le bœuf et le mouton (EMEP/EEA, 2013).

1_2_3_Brûlage des déchets agricoles

Pour cette approche de niveau 1, les émissions de NH_3 provenant de la combustion sur place de résidus agricoles utilisent l'équation générale suivante:

$$E_{\text{NH}_3} = \text{AR}_{\text{résidu_brûlé}} \cdot \text{FE}_{\text{NH}_3} \quad (4)$$

avec :

E_{NH_3} = quantité de NH_3 émise (kg),

$\text{AR}_{\text{résidu_brûlé}}$ = masse de résidus brûlés (kg de matière sèche),

FE_{NH_3} = facteur d'émission de NH_3 ($\text{kg} [\text{NH}_3] \text{kg}^{-1}$ [matière sèche]).

L'équation (4) est appliquée au niveau national, en utilisant la quantité totale annuelle nationale de résidus brûlés.

Notons que : $AR_{\text{résidu_brûlé}} = A \cdot M_b \cdot C_f$ (5)

où A est la superficie brûlée en hectares,

M_b est la masse de combustible disponible pour la combustion, en tonnes par hectare,

C_f est un facteur de combustion (pour les valeurs de C_f , veuillez vous reporter aux lignes directrices de IPCC, 2006 Vol. 4, Chapitre 2, Tableau 2.6).

Le facteur d'émission de NH_3 par défaut a été dérivé des recherches menées par Jenkins et al., (1992, 1996a & 1996b) ainsi que des mesures des émissions de NH_3 rapportées par Lee et Atkins (1994).

Pour NH_3 , le facteur d'émission par défaut du niveau 1 pour la catégorie du brûlage des résidus agricoles vaut : $0.0024 \text{ kg } [NH_3] \text{ kg}^{-1} \text{ matière sèche}$.

Les données d'activité incluent des estimations de la superficie des terres pour chaque type de culture, qui sont ensuite utilisées pour estimer les résidus brûlés, la fraction de résidu brûlé et la teneur en matière sèche des résidus.

La masse de résidus de culture brûlée peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$AR_{\text{résidu_brûlé}} = A \cdot Y \cdot s \cdot d \cdot p_b \cdot C_f \quad (6)$$

avec

A = la superficie de terre sur laquelle sont cultivées des cultures dont les résidus sont brûlés (ha),

Y = le rendement moyen de ces cultures,

s = le rapport entre la masse de résidus de récolte et le rendement,

d = teneur en matière sèche de ce rendement,

p_b = la proportion de ces résidus qui sont brûlés,

C_f = est le facteur de combustion.

Les données les plus importantes ici sont la quantité réelle de cultures produites (par type) avec des résidus qui sont brûlés. Les statistiques annuelles de la production végétale par pays, pour la plupart des cultures qui brûlent les résidus, figurent dans l'Annuaire de la production de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2006a et 2006b). Ces statistiques sont équivalentes aux termes « $A \cdot Y$ » dans l'équation (6).

Des données spécifiques à la culture pour chaque pays, sur les pourcentages des résidu par culture, la fraction de résidu brûlé et la teneur en matière sèche du résidu, peuvent être utilisées. L'étude de Hall et al. (1996) constitue une source de données potentiellement précieuse.

Il est supposé que les statistiques par pays donnant la superficie des terres cultivées seront toujours disponibles. En l'absence de meilleures données, les valeurs suivantes doivent être utilisées : Les valeurs par défaut de s peuvent être obtenues à l'aide du Tableau 2. Par cohérence avec IPCC

(2006, chapitre 2.4) et en supposant que $d = 0,85$ (Anon, 1997), pour le blé: $Y = 3,6$, $C_f = 0,9$; pour le maïs: $Y = 11,8$, $C_f = 0,8$; riz: $Y = 4,6$, $C_f = 0,8$.

Si pb n'est pas connu, la valeur 1 doit être utilisée. Pour les cultures autres que le blé, le maïs et le riz, il convient d'utiliser les valeurs du blé.

La récolte	s
Blé	1.3
Orge	1.3
Maïs	1.0
L'avoine	1.3
Seigle	1.6
Riz	1.4
Pois	1.5
haricots	2.1
Soya	2.1

Tableau 2 :Données par défaut pour l'estimation de la quantité de résidus brûlés (tiré du GIEC, 2000). Sources: Strehler & Stützle, 1987.

Les sources d'incertitude associées à l'approche de niveau 1 incluent le degré de précision dans les estimations de la superficie terrestre et dans le FE par défaut. Une compilation publiée de recherches sur le FE a été utilisée pour dériver les données par défaut fournies dans cette section. Bien que les valeurs par défaut proviennent de plusieurs études, leurs plages d'incertitude n'ont pas été incluses dans les publications (EMEP/EEA, 2013).

1_3_Distribution spatiale des émissions

Les émissions provenant de chaque secteur dans EDGAR sont calculées en tant que totaux par pays et sont ensuite réparties sur des cartes en grille de résolution $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. La distribution des émissions d'une substance donnée sur une grille couvrant le pays est effectuée à l'aide du couplage « EDGAR - Données proxy», en appliquant la formule suivante:

$$EM_{cell,p_i} = EM_{country,p_i} * \frac{PROXY_{cell,p_i}}{PROXY_{country,p_i}}$$

avec :

EM_{cell,p_i} = émission de polluant p_i à l'intérieur de la cellule,

$EM_{country,p_i}$ = émission totale de p_i par pays,

$PROXY_{cell,p_i}$ = proxy associé au polluant p_i , à l'intérieur de la cellule (par exemple, population),

$PROXY_{country,p_i}$ = proxy associé au polluant p_i , total par pays.

La répartition des émissions est basée sur les données proxy utilisées pour attribuer des valeurs à chaque activité dans EDGAR.

Dans EDGAR, si une cellule appartient à 100% à un pays (figure 2), l'équation (7) est utilisée pour répartir l'émission dans cette cellule spécifique. Dans certains cas particuliers, lorsqu'une cellule appartient à de nombreux pays, un pourcentage sera attribué à chacun de ces pays.

La figure 3 (1) présente un exemple de cellule avec des frontières de pays où a%, b% et c% sont attribués au pays A, au pays B et au pays C respectivement. Lorsque la zone maritime fait partie de la cellule, comme illustré à la figure 3 (2), l'ensemble des émissions de la cellule est attribué au pays (D, 100%), à l'exception de la combustion de combustibles de pêche côtière, où les frontières maritimes ont été définies.

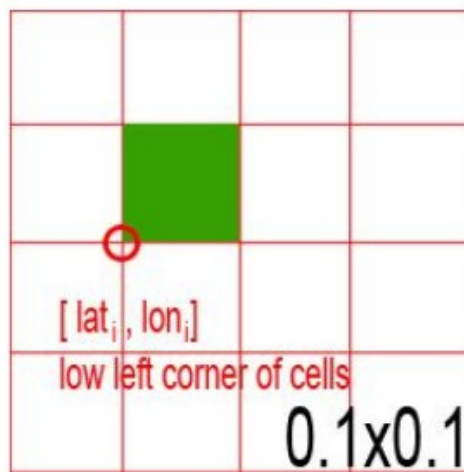
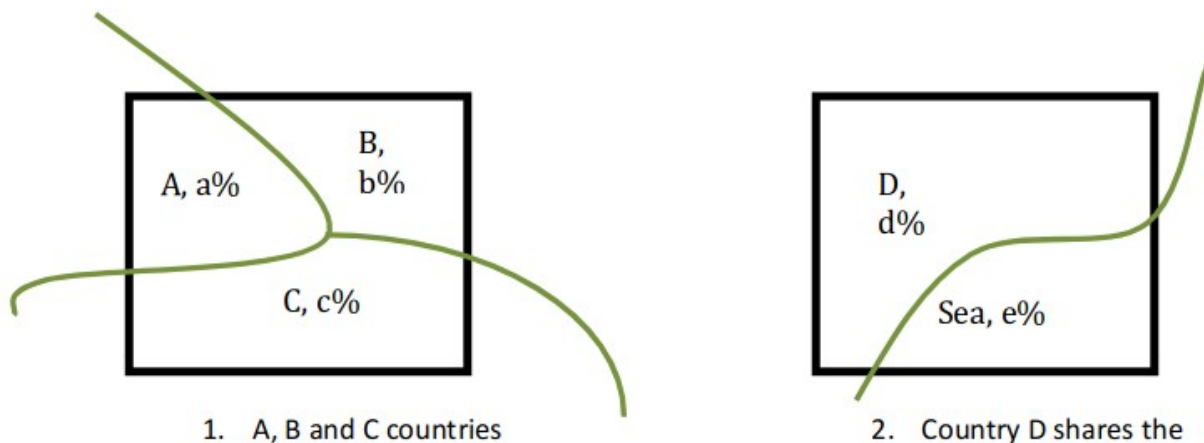


Figure 2 : Répartition des émissions dans les cellules .

La figure 6 (1) présente un exemple de cellule avec des frontières de pays où a%, b% et c% sont attribués aux, pays A, pays B et pays C, respectivement. Lorsque la zone maritime fait partie de la cellule, comme illustré à la figure 6 (2)), l'ensemble des émissions de la cellule est attribué au pays (D, 100%).



(1) Les pays A, B et C partagent la même cellule

(2) Le pays D partage la cellule avec la zone maritime.

Figure 3 : Répartition des émissions dans les cellules avec les frontières du pays.

Les émissions totales du pays pour chaque année sont réparties à l'aide du proxy le plus approprié dans la bibliothèque de données du proxy EDGAR. En fait, Les émissions générées par les sources de surface et de ligne sont réparties sur la base de données spatiales nationales sur des cartes globales telles que la population urbaine et rurale, la densité animale, l'utilisation des terres (prairies). La bibliothèque de données proxy EDGAR est régulièrement mise à jour avec les informations diffusées par différentes organisations. Lorsqu'il n'existe pas de proxy pour une activité spécifique pour une année spécifique, le système choisit par défaut l'année la plus appropriée (proche de l'année pour laquelle la distribution est effectuée).

Les émissions de NH₃ provenant de l'agriculture sont distribuées comme suit : Les émissions issues de l'application d'engrais sont distribués suivant les consommations d'engrais azotés de l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Les émissions provenant de la gestion du fumier sont distribuées suivant les données nationales sur la population animale (Bowmann et al ., 2005) ou des cartes des répartition des animaux en le combinant avec des taux d'excrétion animale au niveau national ou régional.

1_4_Distribution temporelle des émissions

Selon Janssens et al., 2017 (Figure 2), le profil temporel utilisé dans EDGAR pour distribuer les émissions mensuellement est celui de Asman (1992) pour lequel la plus grande variation se trouve pour le secteur agricole.

En fait, Asman (1992) effectue une enquête de terrain, en se rapprochant de l'agriculteur, afin de donner la variabilité des émissions de NH₃ pour toutes sources confondues aux Pays-Bas . EDGAR utilise cette variabilité comme proxy afin de répartir mensuellement les émissions annuelles de NH₃ provenant de chaque activité appartenant au secteur agricole (application d'engrais et gestion du fumier) dans l'hémisphère nord.

Deux pics peuvent être observés en Mars (à cause de l'épandage du fumier collecté en hiver) et en Septembre (est due à l'épandage du fumier collecté en été). Selon Asman (1992), le pic de Mars est important que celui de Septembre car l'épandage du fumier de bovins n'a pas de contribution, comme ils ont été dehors durant la saison d'été .

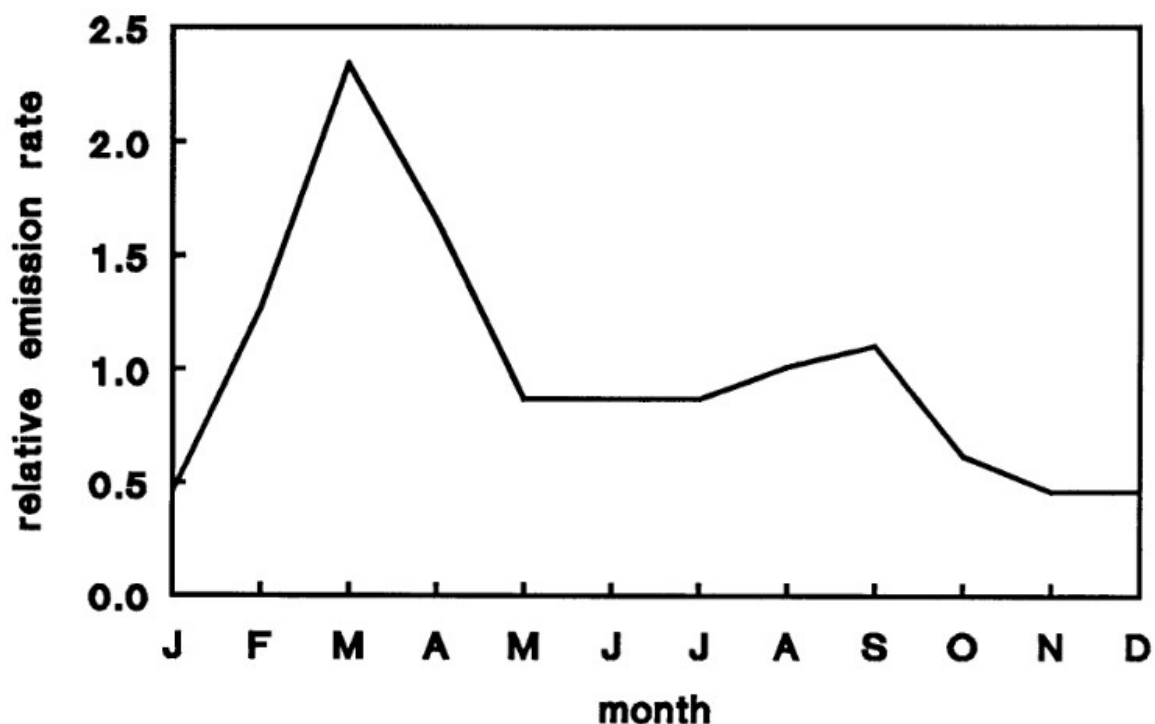


Figure 4: Données proxy utilisées dans EDGAR pour répartir temporairement les émissions annuelles sur 12 mois dans l'hémisphère Nord .

La figure 5 donne un aperçu du profil temporel déduit des données disponibles d'EDGAR (<https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>) pour distribuer les émissions mensuellement pour l'année 2010, issus de l'application d'engrais et de la gestion du fumier. On constate que cette variation pour l'hémisphère Sud est opposée (inversée) à celle de Asman (1992) pour l'hémisphère Nord. Pour la

région équatoriale (figure 6), aucune variabilité mensuelle n'est prise en compte, les émissions sont donc réparties régulièrement sur l'année.

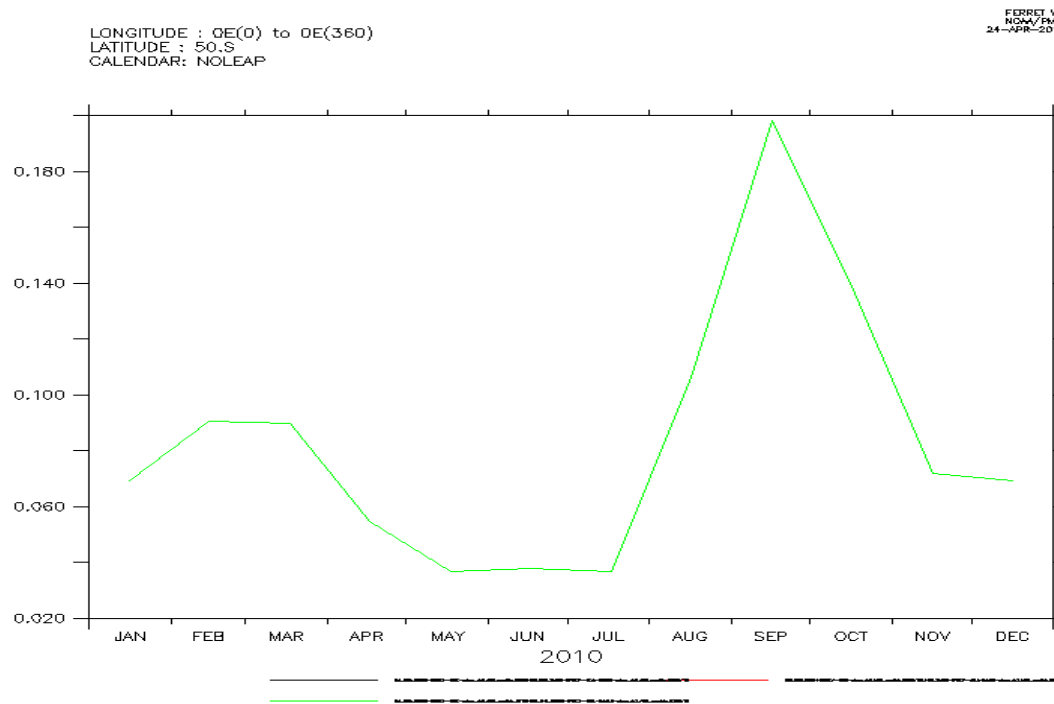


Figure 5 : Profil temporel des émissions annuelles (2010) issues du secteur agricole sur 12 mois dans l'hémisphère Sud pour l'inventaire d'EDGAR.

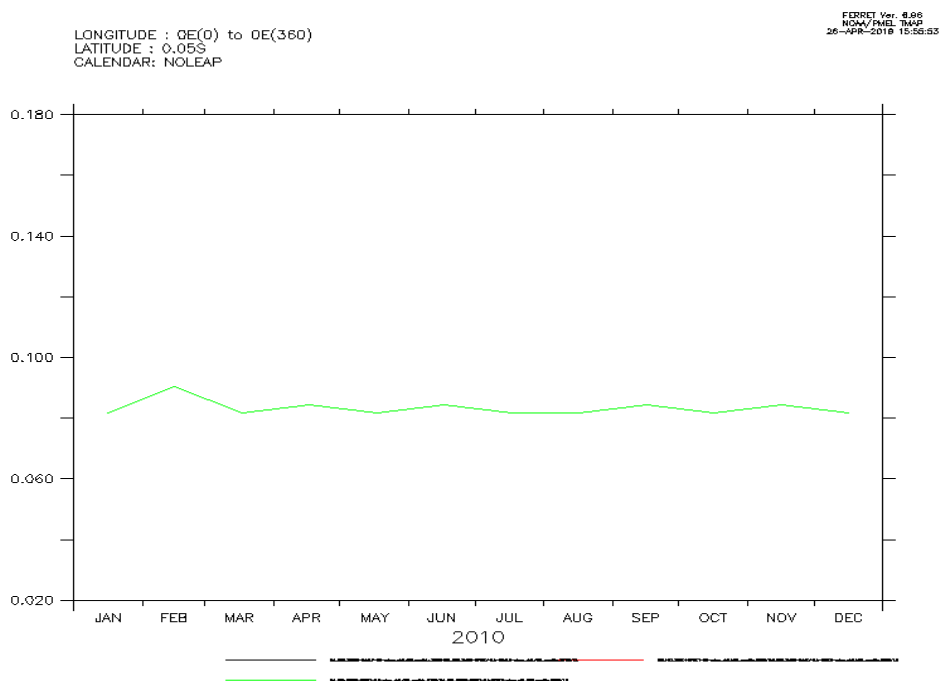


Figure 6 : Profil temporel des émissions annuelles (2010) issues du secteur agricole sur 12 mois au niveau du plan équatorial pour l'inventaire d'EDGAR.

1_5_Incertitudes et limites

EDGAR est une base de données qui fournit les émissions de NH₃ issues du secteur agricole durant la période allant de 1970 à 2012. Cela permet de fournir des données d'émissions qui sert à être comparer avec d'autres inventaires ou d'autres modèles. Cependant, des incertitudes peuvent être évoquées :

Une incertitude importante au niveau de calcul de facteurs d'émissions :EDGAR n'est pas la source de calcul de FE, mais il combine des méthodes proposées par d'autres inventaires.

Les jeux des données sur les facteur d'émission différent par l'origine et les études sur lesquelles ils se reposent, cela peut avoir un effet sur leur applications régionales.

Les technologies différent d'un pays à un autre, cela engendre une incertitude au niveau de calcul de facteur d'émission.

La répartition des méthodes utilisées pour le calcul de facteur d'émission diffère d'un pays à un autre. En fait, selon les pays et les technologies appliquées, on n'a pas accès aux mêmes données disponibles. Cela représente une source importante d'incertitude au niveau de calcul des émissions.

2_CEDS

Dans le but de fournir une série chronologiques d'émissions pour tous les pays, plus étendue et plus projetée temporellement que les inventaires existants (pour des périodes plus anciennes pour lesquelles on n'as pas des données), une nouvelle méthodologie CEDS (Community Emissions Data System) à été développé par Hoesly et al. (2018) pour la période de 1750 - 2014 .

CEDS est un inventaire qui se repose sur l'amélioration des inventaires existants grâce à une méthodologie plus cohérente et reproductible appliquée à toutes les espèces émises, à des facteurs d'émission mis à jour et à des estimations récentes jusqu'au 2014. Les émissions sont fournies sur une base annuelle au niveau du pays et du secteur.

2_1_Secteur des émissions agricoles de NH₃

Les noms de secteur utilisés dans CEDS sont dérivés des catégories de rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat IPCC (1996).

Notez que pour le secteur agricole, les données du CEDS n'incluent pas les émissions relatives aux déchets agricoles brûlés dans les champs.

Pour les émissions de NH₃ résultants du secteur agricole, CEDS ne tient compte que des émissions provenant de l'application d'engrais et de la gestion du fumier qui seront regroupées par la suite.

2_2_Démarche adoptée pour le calcul des émissions

CEDS utilise les inventaires d'émissions, les facteurs d'émission et les données sur les activités existants pour estimer les émissions annuelles par pays, par secteur et par polluant au fil du temps.

- *Les données sont collectées et traitées dans un format et une échelle de temps cohérents.*

- Les émissions par défaut de 1970 à 2014 sont estimées à l'aide des données relatives aux activités et aux facteurs d'émission (l'équation précédente).
- Les estimations par défaut sont mises à l'échelle pour correspondre aux inventaires d'émissions existants lorsqu'ils sont disponibles, complets et plausibles.
- Les estimations d'émissions échelonnées remontent à 1750 pour produire les émissions agrégées finales par pays polluant et secteur.

2_3_Calcul des émissions

Étant donné que CEDS fournit les émissions des polluants à l'échelle annuelle, par pays et par secteur en se basant sur des inventaires existants, ces émissions sont aussi calculées sur une période historique plus ancienne, même pour laquelle il y a pas des données ou des inventaires.

2_3_1_Émissions à partir de 1970

Pour NH₃, les émissions issues des sous secteurs, application d'engrais et gestion du fumier, sont directement extraites d'EDGAR (EC-JRC / PBL 2016).

Lorsque ces émissions par défaut pour un pays et un secteur spécifiques étaient nettement inférieures aux émissions dans les inventaires au niveau des pays, les émissions par défaut des polluants ont été estimées avec les tendances EDGAR et les valeurs d'inventaires des pays.

Dans ce cas, les émissions de NH₃ qui proviennent de l'application d'engrais et de la gestion du fumier sont tirées de l'inventaire REAS (Regional emission inventory in Asia) pour la période de 2000-2008 pour certains pays tels que le Japon (voir annexe 2).

Pour adopter les estimations des émissions aux inventaires disponibles au niveau des pays, CEDS utilise une stratégie de mise à échelle. Le processus de mise à l'échelle a pour objectif de faire correspondre les estimations des émissions du CEDS à des inventaires comparables tout en conservant les détails du polluant et du secteur des estimations du CEDS.

La première étape de ce processus consiste à regrouper les émissions de CEDS et les émissions d'inventaire dans des secteurs de mise à l'échelle communs; puis les facteurs d'échelle sont calculés avec l'équation (8).

Les facteurs d'échelle représentent le rapport entre les estimations par défaut de CEDS et les estimations d'inventaires par secteur, et permettent de faire correspondre les estimations par défaut du CEDS aux inventaires en échelle.

$$SF_{NH3}^{c,ss,t} = Inv_{NH3}^{c,ss,t} / CEDS_{c,ss,t} \quad (8)$$

où SF :le facteur d'échelle,

Inv : les émissions de l'inventaire,
CEDS : l'estimation des émissions du CEDS,
c : est le pays,
ss : est le secteur de la mise à l'échelle globale,
t : l'année.

Pour chaque inventaire, des facteurs d'échelle sont calculés pour les années où les données d'inventaire sont disponibles. Les facteurs de mise à l'échelle calculés sont limités à des valeurs comprises entre 1/100 et 100. Ces facteurs d'échelle sont appliqués aux estimations d'émissions par défaut du CEDS et aux facteurs d'émissions par défaut correspondants.

Le processus de mise à l'échelle modifie les émissions et les facteurs d'émission par défaut du CEDS, mais les données d'activité restent les mêmes.

Pour CEDS, la méthodologie de mise à échelle est la suivante : Tout d'abord les estimations par défaut de CEDS sont mises à l'échelle d' EDGAR. Ensuite, celles mises à l'échelle d' EDGAR sont mises à l'échelle de l'inventaire national s'il est disponible. Les résultats finaux des émissions du CEDS, sur la période pour laquelle ces inventaires étaient disponibles, correspondent au dernier inventaire mis à l'échelle.

2_3_2_Extension des émissions (avant 1970)

Les données historiques sur les émissions antérieures à 1970 ne contiennent généralement pas les mêmes détails que les données plus modernes.

La population est utilisée comme donnée d'activité pour l'estimation des émissions historiques de NH₃ provenant du secteur agricole, lié à l'application d'engrais et à la gestion du fumier.

Les émissions du secteur agricole ont été relevées avec les données existantes de la littérature.

Le NH₃ provenant de la gestion du fumier a été étendu par rapport aux valeurs de 1970 en utilisant la tendance mondiale de Davidson (2009).

Les NH₃ des sols fertilisés, de 1960 à 1970, ont été étendus aux tendances des émissions par pays pour le NH₃ provenant des engrais synthétiques et du fumier, selon Davidson (2009). Les émissions sont prolongées avant 1960 avec des estimations moyennes mondiales de l'azote total par habitant provenant d'engrais synthétiques et organiques, également de Holland (2005).

2_4_Variabilité saisonnière et distribution spatiale

Les émissions provenant de chaque secteur dans CEDS sont estimées en tant que totaux par pays et sont réparties sur des cartes en grille de résolution 0,5° x 0,5°.

Les données maillées du CEDS sont produites à deux niveaux: un niveau de secteur intermédiaire et un niveau de secteur final. Le niveau de secteur intermédiaire est sélectionné pour correspondre au niveau de détail sectoriel quadrillé le plus élevé disponible auprès d'EDGAR

(application d'engrais, gestion du fumier). Ces secteurs intermédiaires sont ensuite agrégés en des secteurs finaux qui correspondent aux secteurs répartis dans les jeux de données mondiaux précédents (agriculture).

Les données proxy sont pré-traitées dans une grille spatiale par pays. Pour les cellules de grille contenant plus d'un pays / région, les pondérations sont proportionnelles à la fraction de la superficie de cette cellule du pays concerné. De cette manière, nous pouvons répartir les émissions au niveau des pays en multipliant les émissions agrégées par la distribution approximative pondérée, puis simplement additionner spatialement toutes les distributions spatiales distinctes par pays pour obtenir une grille spatiale globale.

Le processus ci-dessus est répété pour chaque secteur du niveau intermédiaire, puis les grilles de niveau intermédiaire sont additionnées au niveau du secteur final. Les émissions sont ensuite réparties sur 12 mois en utilisant des fractions mensuelles spatialement explicites, spécifiques à un secteur, puis converties en unités de masse (kt / an) en flux ($\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$).

Pour les émissions de NH_3 provenant de l'agriculture, les principales données proxy utilisées dans la grille de CEDS proviennent d'EDGAR v4.2 (EC-JRC/PBL, 2012) pour la période de 1970 – 2008. Pendant les années avant ou après cette plage, le proxy spatial est maintenu constant.

La fraction mensuelle utilisée dans CEDS pour répartir mensuellement les émissions agricoles de NH_3 provient d'ECLIPSE v5 (<http://eclipse.nilu.no/>) comme utilisée par Larmarque et al., (2010) et Yan et al., (2005) (voir annexe 3).

2_5_Incertitudes et limites

CEDS propose une nouvelle méthodologie qui se repose sur l'amélioration des inventaires existants pour estimer les émissions annuelles des gaz à effet de serre et des polluants sur une période allant de 1750 jusqu'au 2014.

Cette méthodologie évoque certaines incertitudes :

D'une part, les émissions récupérées des autres inventaires présente une incertitude importante telles que celles d'EDGAR . D'autre part, une incertitude peut avoir lieu au niveau de calcul des facteurs d'émissions pour les périodes pour lesquelles les données EDGAR ne sont pas disponibles.

La mise à échelle des émissions modifie les émissions et les facteurs d'émission par défaut du CEDS et ça engendre une incertitude au niveau de calcul des émissions finales.

Pour projeter les émissions, l'utilisation de tendances de facteurs d'émission qui ne proviennent pas d'inventaires détaillés par pays constitue une source supplémentaire d'incertitude.

Les estimations utilisées pour calculer les émissions historiques (avant 1970) ne sont pas détaillées.

Une incertitude importante au niveau de l'utilisation des données d'activités (la population) dont les source de récupération diffèrent d'un pays à un autre et d'une période à une autre .

3_EDGAR vs CEDS

Le tableau 3 donne un récapitulatif des différences entre les inventaires EDGAR et CEDS pour les émissions de NH₃ issues du secteur agricole.

	EDGAR	CEDS
Période	1970-2012	1750-2014
Sous secteurs agricoles	- Application d'engrais - Gestion du fumier - Brûlage des déchets	-Application d'engrais - Gestion du fumier
Émissions	Trois niveaux de calcul des émissions (1, 2 et 3)	Tirés des inventaires existants -Avant 1970 : Davidson (2009) -1970_2012 : EDGAR -2002_2008 : REAS pour les certains pays asiatiques
Données d'activités	Selon le sous secteur agricole	population
Mise à échelle	Non	Oui - REAS pour la période de 2000-2008
Profil temporel	Asman (1992)	Eclipse v5 Lamarque 2010 Yan (2005)

Tableau3 : Comparaison entre EDGAR et CEDS.

Comparaison des émissions de ORCHIDEE par celles des autres inventaires

Dans cette partie, on se propose de faire une comparaison des émissions de NH₃ disponibles au niveau des inventaires EDGAR et CEDS ou simulées par le modèle ORCHIDEE .

1_ à l'échelle global

Dans la figure 7, on représente les bilans globaux des émissions de NH₃ simulées par le modèle ORCHIDEE pour la période allant de 1861 jusqu'au 2014. Ces émissions sont pour : les différents contributions des PFTs naturelles et agricoles (a), les PFTs naturelles (b) et les PFTs agricoles (c) .

La figure 7 (a) présente le bilan global du total des émissions de NH₃ par ORCHIDEE avec les contributions de deux parties naturelles (PFTs de 1 à 11) et agricoles (PFTs de 10 à 13) qui sont représentées respectivement dans les figures (b) et (c) .

En examinant la figure 7 (a), il y a trois niveaux de variation des émissions globales de NH₃ au fil du temps :

1861 - 1950 : Les émissions globales de NH₃ varient entre 15 et 18 Tg/N.

1950 - 1965 : Diminution des émissions de NH₃ à 12 Tg/N.

1965 – 2014 : Les émissions globales de NH₃ subissent une augmentation progressive jusqu'à atteindre une valeur de 24 Tg/N.

Les figures 7 (b) et (c) montre que les contributions des différents PFTs naturels ou agricoles aux émissions totales de NH₃ simulées par ORCHIDEE varient en fonction du temps. En fait, les PFTs naturels contribuent aux émissions totales beaucoup plus que celles agricoles avant 1965. Cependant après 1965, ces sont les PFTs agricoles qui ont la contribution la plus importante aux émissions totales de NH₃ par rapport aux PFTs naturelles. Par exemple, en 2014 la contribution des PFTs naturels est de 18 Tg/N aux émissions totales.

Dans ce qui suit, nous nous intéressons aux émissions dues aux PFTs agricoles de NH₃ simulées par le modèle ORCHIDEE dans le but de les comparer avec celles des autres inventaires.

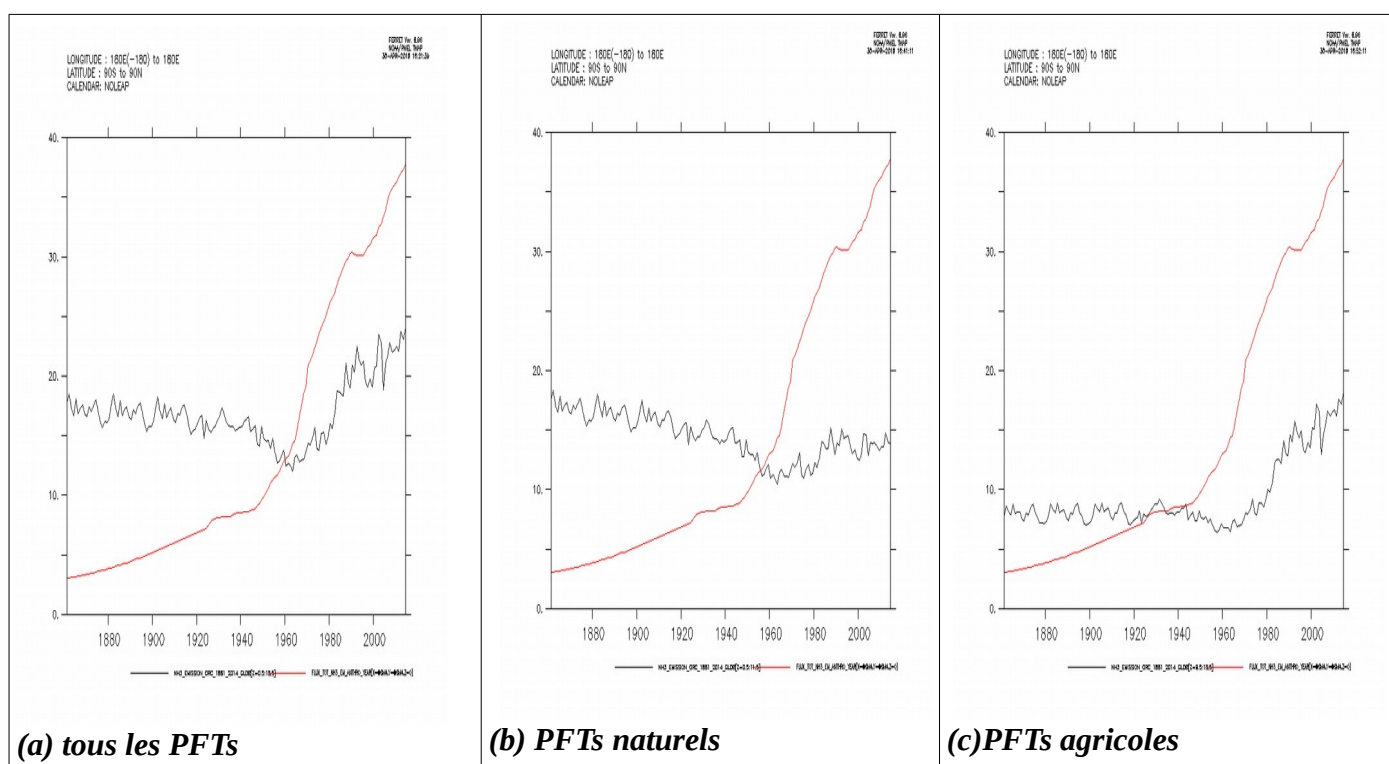


Figure 7 : Bilans globaux des émissions de NH₃ (Tg/N) simulées par ORCHIDEE pour les différents PFTs de 1861 à 2014 .

La figure 8 présente les bilans globaux des émissions de NH₃ provenant du secteur agricole donné par :

- EDGAR, pour les différentes sous secteurs intervenant dans le secteur agricole (application d'engrais, gestion du fumier et brûlage des déchets) durant la période de 1970-2012.
- CEDS, dont le secteur agricole inclut l'application d'engrais et la gestion du fumier pour la période de 1970_2014.
- ORCHIDEE, pour lequel on s'intéresse à la contribution des parties agricoles (PFTs de 10 à 13).

Pour l'inventaire d'EDGAR, le sous secteur application d'engrais est celui qui a la contribution la plus importante aux émissions totale de NH3 provenant du secteur agricole (plus de 60 %) par rapport à la gestion du fumier dont la contribution est moins de 30 % au total des émissions. Étant donné que la contribution du sous secteur brûlage des déchets est très négligeable (< 1 Tg/N), les émissions provenant de ce sous secteur ne seront pas discutées dans ce qui suit.

Pour CEDS, les émissions historiques (avant 1970) de NH3 sont un peu faibles (varient entre 3 et 8 Tg/N) jusqu'à l'année 1945 à partir de laquelle ces émissions tendent à augmenter progressivement à l'échelle du temps et atteignent 20 Tg/N à 1970. A partir de cette année (début de l'inventaire d'EDGAR), les émissions données par CEDS subissent une augmentation importante jusqu'à atteindre 37 Tg/N en 2012, ce qui est aussi le cas de émissions de NH3 fournies par l'inventaire d'EDGAR qui atteignent 43 Tg/N en 2012 .

Les différences entre les émissions de NH3 que ce soit fournies par CEDS ou EDGAR sont dues probablement à :

_ Malgré sa faible contribution, le brûlage des déchets intervient dans le calcul des émissions provenant de secteur agricole de NH3 dans EDGAR, ce qui n'est pas le cas dans CEDS.

_ Pour la période de 2000_2008, les émissions de NH3 dans CEDS sont tirées de l'inventaire REAS pour certains pays de l'Asie (à vérifier à travers les cartes des émissions de CEDS et EDGAR pour la période 2000-2008 pour l'Asie).

_ Les émissions tirées de l'inventaire REAS sont mises à l'échelle à celles d'EDGAR.

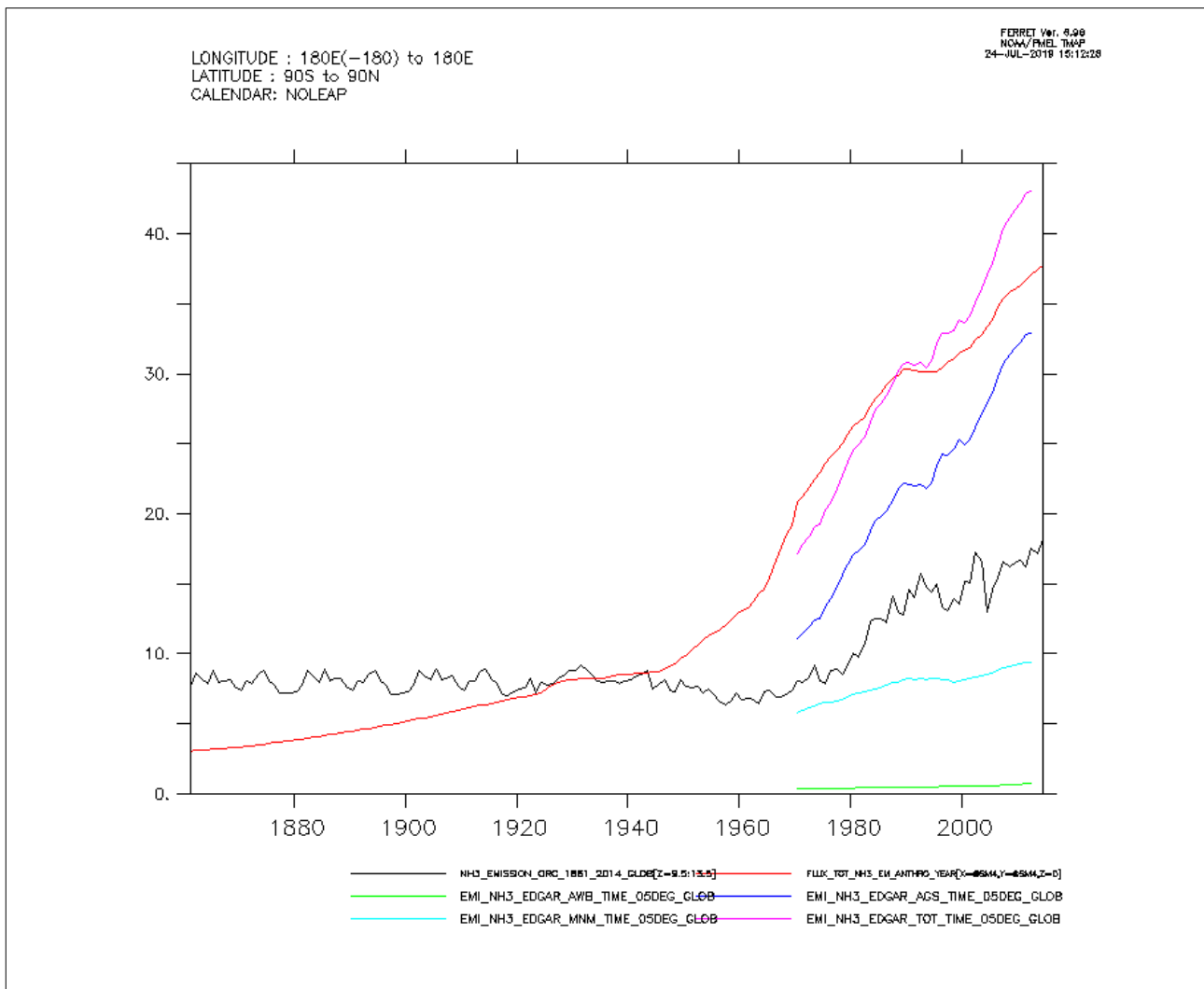


Figure 8 : Bilans globaux des émissions de NH₃ (Tg/N) données par CEDS de 1861 à 2016 (rouge), EDGAR de 1970 à 2012 (totale en rose, application d’engrais en bleu, gestion du fumier en bleu clair, brûlage de déchets en vert) et simulées par ORCHIDEE (PFTs agricoles) pour la période de 1861- 2014 (noir).

Dans le tableau 4, on se propose de comparer les émissions totales de NH₃ provenant du secteur agricole données par ORCHIDEE (PFTs agricoles), CEDS, EDGAR et celles disponibles dans la littérature.

Pour 2000, les émissions totales de NH₃ (PFTs agricoles) simulées par ORCHIDEE (15 Tg/N) sont un peu faibles par rapport à celles données par EDGAR (34 Tg/N) ou CEDS (31 Tg/N) qui sont comparables à celles disponibles dans la littérature telles que celles données par Riddick et al., 2015 (33 Tg/N), Beussen et al., 2008 (32 Tg/N), Bowman et al., 1997 (36,1 Tg/N) et Dentener and Crutzen, 1994 (30,4 Tg/N).

Etant donné que les sous secteurs gestion du fumier et brûlage des déchets ne sont pas intégrés dans ORCHIDEE, on se propose de comparer les émissions de NH3 simulées par ORCHIDEE à celles qui proviennent du sous secteur application d'engrais qui sont disponibles dans les inventaires ou dans la littérature.

Pour 2000, le total des émissions de NH3 issues du secteur agricole simulées par ORCHIDEE (PFTs agricoles) est comparable (15Tg/N) à celui provenant du secteur application d'engrais pour certaines données disponibles dans la littérature tel que celui de Riddick et al., 2015 (12Tg/N) et celui de Beussen et al., 2008 (11Tg/N). Cependant, pour l'inventaire d'EDGAR, les émissions de NH3 provenant du sous secteur application d'engrais sont plus fortes (25Tg/N) que celles données par ORCHIDEE pour les PFTs agricoles.

La contribution du sous secteur application d'engrais est plus importante (25 Tg/N) que celle de la gestion du fumier (8,2 Tg/N) dans EDGAR. Par contre, les données disponibles dans la littérature montre que la gestion du fumier contribue beaucoup plus que l'application d'engrais telles que les données de Beussen et al ., (2008) pour l'année 2000 pour les quelles la part de contribution de l'application d'engrais est 11 Tg/N des émissions totales de NH3 contre 21Tg/N pour la gestion du fumier.

	<i>Année</i>	<i>Application d'engrais</i>	<i>Gestion du fumier</i>	<i>Brûlage des déchets</i>	<i>Total agriculture</i>
ORCHIDEE	2000	-	-	-	15 ^(b)
EDGAR (Crippa et al., 2018)	2000	25	8,2	0,8	34
CEDS (Hoesly et al., 2018)	2000	-	-	-	31
Riddick et al., 2015	2015	12	21	-	33
Beussen et al., 2008	2000	11	21	-	32
Bowman et al., 1997	1990	9	21,6	5,9 ^(a)	36,1
Paulot et al., 2014	2014	-	-	-	54
Dentener and Crutzen (1994)	1990	6,4	22	2,0 ^(a)	30,4
MASSAGE_NH3 (Paulot et al., 2014)	2005_2008	9,4	24	-	33,4

^(a) :y compris la savane, les déchets agricoles et les incendies des forêts.

^(b): la contribution des PFTs agricoles aux émissions totales de NH3 par ORCHIDEE.

Tableau 4 : Comparaison des estimations des émissions globales de NH3 (Tg N/an).

2_à l'échelle régionale (à compléter)

* Dans cette partie on se propose de comparer les cartes des émissions de NH₃ provenant du secteur agricole pour ORCHIDEE (PFTs de 10 à 13), CEDS et EDGAR, pour la période de 2000-2003.

* Se focaliser sur les émissions de NH₃ pour certaines zones.

* Étudier la variabilité temporelle pour CEDS pour différentes bandes de latitude longitude.

* Pour ORCHIDEE : étudier les bilans globaux des émissions par rapport aux quantités de fertilisants et du fumier appliqués.

* Étudier la variabilité des facteurs d'émissions , des fertilisants et des émissions dans ORCHIDEE.

Annexe 1

Le calcul des émissions de NH₃, provenant de la gestion du fumier par la méthode du niveau 2 consiste à utiliser le modèle du tableau ci dessous pour estimer les émissions de chaque type d'engrais azoté dans chacune des régions.

L'émission de chaque type d'engrais pour chaque région est calculée comme le produit de la masse d'engrais de ce type appliquée dans la région et du FE pour ce type d'engrais dans cette région. De plus, l'effet des sols calcaires est pris en compte par l'utilisation d'un multiplicateur sur la base de valeurs pour différentes zones.

$$E_{fert_NH3} = \sum_{I=1} \sum_{j=1} (m_{fert_i_j} FE_{i_j} (1 - p_{alk_j} (1 - C_i))) \quad (9)$$

avec

E_{fert_NH3} = flux d'émission (kg a⁻¹ NH₃)

$m_{fert_i_j}$ = masse d'engrais-N appliqué comme type i dans la jème région (kg a⁻¹, N),

FE_{i_j} = facteur d'émission pour l'engrais de type i dans la région j (kg NH₃ (kg⁻¹ N)),

p_{alk_j} = proportion de la jème région où le pH du sol > 7.0,

C_i = Multiplicateur de pH du sol pour le type d'engrais i.

Fertiliser type	Low soil pH	High soil pH
Ammonium nitrate	0.037	0.037
Anhydrous ammonia	0.011	0.011
Ammonium phosphate	0.113	0.293
Ammonium sulphate	0.013	0.270
Calcium ammonium nitrate	0.022	0.022
Calcium nitrate	0.009	0.009
Ammonium solutions	0.037	0.037
Ammonium solutions (Urea AN)	0.125	0.125
Urea ammonium sulphate	0.195	0.195
Urea	0.243	0.243
Other NK and NPK	0.037	0.037

Facteurs d'émission pour les émissions totales de NH₃ kg (kg NH₃ kg⁻¹ N) provenant des sols dues à la volatilisation des engrais azotés et aux émissions foliaires. Les sols à pH bas sont des sols avec un pH = <7.0 ,les sols à pH élevé > 7.0 sont dérivés de l'étude de la littérature.

Annexe 2

REAS, dans sa version 2. 1, est un inventaire régional des émissions en Asie développé par kurokawa et al., (2013a) . Cet inventaire inclut la plupart des principaux polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre de chaque année durant la période de 2000-2008. Les émissions sont estimées à l'échelle annuelle, pour chaque pays et région, avec une résolution de 0,5° x 0,5°, à l'aide de données et de paramètres d'activité mis à jour.

Les activités agricoles liées aux émissions de NH₃ comprennent l'application d'engrais et la gestion du fumier. Ces émissions ont été calculées avec une résolution de 0,5° x 0,5°.

Les données d'activités telles que le nombre d'animaux d'élevage et les quantités d'engrais appliquées ont été recueillies à partir de statistiques internationales, nationales et régionales.

Le rapport entre les émissions de l'année cible et celles de 2000 a été calculé pour chaque pays et sous-région à l'aide des données d'activité et des facteurs d'émission correspondants du guide EMEP (EEA, 2009).

Pour le maillage des émissions des sous-régions de REAS 2.1 (Russie asiatique et Asie centrale), la base de données EDGAR 4.2 (EC-JRC / PBL, 2011) de 2000 à 2008 a été utilisée.

Annexe 3

Selon Yann et al., (2005) après l'application, on ne suppose pas que l'azote persiste toute l'année, mais il est supposé être efficace pendant une saison de culture. Du fait que l'azote est appliqué pour soutenir la croissance des cultures, on a supposé que le moment de l'application de l'azote variait parallèlement au LAI (indice de surface foliaire) avec une différence de phase d'un mois. Par conséquent, nous prenons le temps effectif comme 122 jours. Si le taux annuel de fertilisation pour une terre cultivée est le taux AN , pour un jour donné, le taux effectif de fertilisation à l'azote, EN, est :

$$EN=AN . 122 / 365 . (LAI_{m+1} / LAI_{ave}) \quad (10)$$

avec LAI_{ave} est la moyenne annuelle LAI des terres cultivées, LAI_{m+1} est le LAI du mois suivant .

Pour les prairies, on suppose que l'azote est appliqué de manière uniforme au cours de l'année :

$$EN=AN . 122 / 365 \quad (11)$$