

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Maitriser les émissions atmosphériques du
secteur agricole pour améliorer la santé et
l'environnement des territoires

Manon GELLE
Option EcoTerr
2018 - 2019

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Maitriser les émissions atmosphériques du
secteur agricole pour améliorer la santé et
l'environnement des territoires

Focus sur la réduction des émissions d'ammoniac
en provenance de l'élevage

Manon GELLE
Option EcoTerr
2018-2019

Tuteur de stage : Adrien Bouzonville
Enseignant référent : Christel Bosc

« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »

Résumé

Le climat est aujourd'hui dérégulé en grande partie par les activités humaines, qui impactent aussi la qualité de l'air des territoires. Malgré les diverses réglementations, les émissions d'ammoniac (NH_3), un polluant atmosphérique d'origine agricole principalement, continuent de stagner en France. Pour limiter l'impact de ce gaz sur l'environnement et la santé, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de réduction de ces émissions. Les Plans Climat Air Energie Territoriaux (PCAET) ont notamment comme rôle la mise en place de ces actions à l'échelle d'un EPCI (Etablissement Public de Coopération Intercommunale). Un outil de calcul a été réalisé dans cette étude pour estimer les réductions possibles des émissions de NH_3 issues des déjections animales sur un territoire donné, à partir de la méthodologie nationale du CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). Les cheptels communaux ont été multipliés par les facteurs d'émission des différents postes de gestion des déjections pour estimer les émissions. Une comparaison des résultats obtenus avec les estimations de l'INS (Inventaire National Spatialisé) et des ATMO régionales a été effectuée pour valider l'outil. Des mesures de réduction ont ensuite été testées pour deux communautés de communes et ont été hiérarchisées par coût-efficacité. Les actions les plus intéressantes pour ces deux exemples sont la couverture de fosse à lisier par croûte naturelle, l'évacuation fréquente des déjections par procédé gravitaire, ainsi que l'utilisation de pendillards pour épandre les effluents et l'enfouissement rapide après épandage. Cependant, il n'a pas été pris en compte dans cette hiérarchisation les freins techniques et économiques à la mise en œuvre de telles mesures.

Mots clés : Qualité de l'air, ammoniac, agriculture, PCAET, territoire, émission, polluant atmosphérique, inventaire.

Abstract

Climate is today upset due by and large to human activities, which have also an impact on air quality. Despite the various regulations, ammonia (NH_3) emissions continue to stagnate. Ammonia is an air pollutant mainly from agriculture sources. To limit the impact of this gas on environment and health, it is necessary to implement actions to reduce emissions. The Climate Plan, named *Plan Climat Air Energie Territorial* in French, is establishing those actions at the *Communauté de Communes* scale. A calculation tool has been elaborated in this study to estimate the possible reduction of ammonia emission from animal excreta, based on the CITEPA methodology. The municipality livestock has been multiplied by the corresponding emission factors to estimate the emissions. A comparison was made between the results of this tool and the data given by the national inventory and the local air quality associations, to approve the tool. Actions to reduce emissions have been tested for two *Communauté de Communes* and have been classified by cost-effectiveness. The most interesting actions for these two examples are the natural covering manure store, the frequent remove of the manure, the used of drop pipe to spread and the immediate incorporation of manure into land. However, the technical and economical obstacles of these actions are not considered in this classification.

Key words : Air quality, ammonia, agriculture, PCAET, territory, emission, air pollutant, inventory.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier mon maître de stage Adrien BOUZONVILLE, pour son soutien et ses conseils, ainsi que pour les connaissances qu'il m'a apportées et la confiance qu'il m'a accordée pendant ce stage.

Je remercie aussi ma professeur référente Christel BOSC, pour sa disponibilité, ses conseils lors de la rédaction du mémoire et pour ses nombreuses relectures.

Je remercie également toute l'équipe d'ATMOTERRA, Gwladys DIQUELOU, Manon ROULLEAU, Virginie DUVAL et Romane PAYSANT, pour la très bonne ambiance qu'il y a eu tout au long de ce stage, pour leurs retours d'expérience et leur aide dans la réalisation de cette étude.

De plus, j'aimerais remercier toutes les personnes qui m'ont aidée et accompagnée pendant ce stage de fin d'études.

Tables des matières

Introduction	1
1. Réduire les émissions atmosphériques du secteur agricole à l'échelle des collectivités territoriales	5
1.1. La qualité de l'air : une préoccupation sanitaire et environnementale	5
1.1.1. Qu'est-ce que la qualité de l'air ?.....	5
1.1.2. Comment ont évolué les façons d'appréhender cette qualité de l'air ?.....	7
1.1.3. Quels sont aujourd'hui les impacts des polluants atmosphériques ?	7
1.2. Focus sur un polluant atmosphérique d'origine agricole principalement : l'ammoniac	9
1.2.1. Le cycle de l'azote et la volatilisation de l'ammoniac	9
1.2.2. Les impacts de l'ammoniac sur l'environnement et la santé	11
1.2.3. La réglementation sur les émissions d'ammoniac et le contrôle de celles-ci.....	13
1.2.3.1. Une réglementation à l'échelle internationale	13
1.2.3.2. Et des déclinaisons à l'échelle française.....	15
1.2.3.3. Les contrôles du suivi de ces réglementations.....	17
1.2.4. Les tendances actuelles des émissions d'ammoniac	19
1.3. Le PCAET : un nouveau plan prenant en compte l'enjeu de la qualité de l'air et permettant la mise en place d'actions concrètes sur le territoire.....	19
1.3.1. Qu'est-ce qu'un Plan Climat-Air-Energie Territorial ?	19
1.3.2. Les différentes étapes dans l'élaboration du PCAET.....	21
1.3.2.1. La première étape : le diagnostic territorial	21
1.3.2.2. Focus sur le volet « qualité de l'air » du diagnostic	21
1.3.2.3. Les autres étapes d'un PCAET : stratégie et plan d'actions en co-construction	25
1.3.2.4. L'Évaluation Environnementale Stratégique (EES) : un outil permettant la prise en compte de l'environnement dans le plan d'actions du PCAET	25
1.3.3. L'accompagnement possible par des bureaux d'études pour l'élaboration du plan	27
1.3.3.1. Présentation de la structure de stage ATMOTERRA	27
1.3.3.2. Les difficultés observées par ATMOTERRA pour réduire les émissions de NH ₃ grâce aux PCAET.....	27
2. Méthodologie de l'étude	31
2.1. La méthodologie générale de l'outil de calcul des émissions d'ammoniac	31
2.1.1. La méthodologie et les données utilisées	31
2.1.2. Pourquoi recréer un inventaire d'émissions ?	33
2.1.3. Les hypothèses de calcul et les limites de l'outil	35

2.2.	La méthodologie détaillée de la première étape de l’outil.....	35
2.2.1.	La reconstitution de la base de données agricoles.....	35
2.2.2.	Les différentes étapes de calcul pour estimer les émissions	37
2.2.3.	La comparaison et validation des résultats avec les données de l’INS et ATMO 41	
2.3.	La méthodologie détaillée de la deuxième étape de l’outil	43
2.3.1.	Synthèse des différentes actions réalisables à l’échelle de l’exploitation agricole pour limiter les émissions d’ammoniac	43
2.3.1.1.	Réduction des émissions à la base en modifiant l’alimentation	43
2.3.1.2.	Des mesures possibles au niveau du bâtiment	43
2.3.1.3.	Des actions à mettre en place pour le stockage du lisier et du fumier	45
2.3.1.4.	Un poste où les émissions peuvent être largement réduites : l’épandage... ..	47
2.3.2.	L’intégration des facteurs d’ajustement aux calculs	49
3.	Quantification des émissions territoriales d’ammoniac et des réductions possibles de ces émissions	51
3.1.	Estimation des émissions d’ammoniac et validation de la méthodologie	51
3.1.1.	Une estimation des émissions de NH ₃ à l’échelle départementale qui valide la méthode	51
3.1.2.	Une quantification des émissions de NH ₃ à l’échelle de l’EPCI.....	53
3.2.	Quantification des réductions possibles des émissions selon les actions du PCAET	57
3.2.1.	Des actions permettant de fortes réductions.....	57
3.2.2.	Des actions qui peuvent être difficiles à mettre en place sur l’exploitation agricole 61	
3.2.2.1.	Des freins tout de même présents et limitant le développement de telles actions	61
3.2.2.2.	Les leviers encourageant la mise en place des mesures.....	63
3.2.3.	Quelles actions ont le meilleur coût-efficacité et sont à privilégier par les collectivités ?	65
4.	Discussion autour de cette étude.....	67
4.1.	Biais et limites de cette étude	67
4.2.	Les pistes d’approfondissement et perspectives d’évolution dans ce domaine.....	71
4.3.	Apport sur le plan personnel et professionnel	73
	Conclusion.....	75
	Bibliographie.....	76

Tables des illustrations

Figure 1 : Schéma conceptuel simplifié montrant les liens entre sources d'émissions et impacts sur les milieux et les populations	4
Figure 2 : Le cycle de l'azote simplifié en agriculture	8
Figure 3 : Hiérarchisation des textes réglementaires en termes de qualité de l'air.....	16
Figure 4 : Emissions de NH ₃ par secteurs en France métropolitaines (en kt).....	18
Figure 5 : Articulation du PCAET avec les autres documents de planification et d'urbanisme	18
Figure 6 : Les différentes étapes d'un PCAET	20
Figure 7 : Répartition des émissions polluantes [kg/an] de Clisson Sèvre et Maine Agglo en 2016.....	22
Figure 8 : Extrait du plan d'actions du PCAET de Pornic Agglo Pays de Retz.....	24
Figure 9 : Les différentes étapes de l'EES et les exemples d'interventions du bureau d'études en charge de celle-ci.....	26
Figure 10 : Schéma simplifié de la méthodologie générale de l'outil de calcul à l'échelle de l'EPCI.....	30
Figure 11 : Les sources d'émissions de particules primaires et d'ammoniac en élevage	32
Figure 12 : Aperçu de la base de données AGRESTE.....	36
Figure 13 : La première étape de l'outil : le calcul du nombre d'animaux d'élevage présent dans l'EPCI	36
Figure 14 : Représentation simplifiée de la méthode d'estimation des émissions d'ammoniac liées à l'élevage	38
Figure 15 : Influence de la couverture des fosses sur les échanges lisier / atmosphère.....	44
Figure 16 : Pourcentage d'écart entre les valeurs de l'outil et de l'INS en fonction du nombre de secret statistique moyen par commune de l'EPCI	54
Figure 17 : Coût-efficacité de plusieurs mesures de réduction des émissions d'ammoniac pour les élevages porcins de la CC Questembert Communauté	64
Figure 18 : Coût-efficacité de plusieurs mesures de réduction des émissions d'ammoniac pour les élevages bovins de la CC du Vimeu	64

Tables des tableaux

Tableau 1 : Objectifs de réduction des émissions d'ammoniac du PREPA par rapport à 200514	
Tableau 2 : Mesures des concentrations en PM ₁₀ pour les stations les plus proches de Clisson Sèvre et Maine Agglo.....	22
Tableau 3 : Récapitulatif du pourcentage de réduction des émissions d'ammoniac par action	46
Tableau 4 : Aperçu de l'onglet Excel de l'outil de calcul avec les facteurs d'ajustement.....	48
Tableau 5 : Aperçu de l'onglet Excel de l'outil de calcul où l'utilisateur entre les mesures mises en place.....	48
Tableau 6 : Comparaison des valeurs d'émissions de NH ₃ de l'outil et de l'INS pour certains départements.....	50
Tableau 7 : Pourcentages d'écart des valeurs de l'outil et de l'INS par catégorie animale et département.....	50
Tableau 8 : Comparaison des valeurs d'émissions de NH ₃ pour certaines communautés de communes.....	52
Tableau 9 : Répartition des émissions d'ammoniac par catégorie animale estimées par l'outil de calcul pour l'année 2010, pour 2 EPCI	56
Tableau 10 : Estimation des pourcentages de réduction des émissions d'ammoniac selon les actions réalisées pour la CC du Vimeu	56
Tableau 11 : Estimation des pourcentages de réduction des émissions d'ammoniac selon les actions réalisées pour la CC Questembert Communauté	58
Tableau 12 : Comparaison des réductions d'émissions de deux mesures à des postes différents de gestion des déjections, pour la CC Questembert Communauté	58
Tableau 13 : Exemples d'actions à mettre en place au niveau de la CC Questembert Communauté pour approcher ou atteindre les objectifs PREPA 2020	58
Tableau 14 : Coût moyen des différentes mesures pour réduire les émissions de NH ₃	60

Liste des abréviations

AASQA : Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

CC : Communauté de Communes

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique

CO : Monoxyde de Carbone

CO₂ : Dioxyde de Carbone

COP21 : 21^{ème} conférence des parties (à Paris)

CORPEN : Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement

COV : Composés Organiques Volatils

COVNM : Composé Organique Volatil Non Méthanique

EEA : European Environment Agency

EES : Evaluations Environnementales Stratégiques

EIE : Etat Initial de l'Environnement

EMEP : European Monitoring and Evaluation Programme

EPCI : Etablissements Publics de Coopération Intercommunale

FA : Facteur d'ajustement

FE : Facteur d'émission

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat

H₂SO₄ : Acide Sulfurique

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HNO₃ : Acide Nitrique

IDELE : Institut de l'Élevage

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
Loi LAURE : Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie

INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques

LTECV : Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte

N₂ : Diazote

NH₃ : Ammoniac

NO_x : Oxydes d'Azote

O₂ ; Dioxygène

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques

OMINEA : Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Émissions Atmosphériques en France

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCAET : Plan Climat-Air-Energie Territorial

PCET : Plan Climat-Energie Territorial

PCIT : Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux

PM_{2,5} : Particules fines de diamètre inférieur à 2.5 µm

PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère

PREPA : Plan de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

SNBC : Stratégie Nationale Bas Carbone

SNIEBA : Système National d'Inventaires d'Émissions et de Bilans dans l'Atmosphère

SO₂ : Dioxyde de Soufre

SRADDET : Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires

SRCAE : Schéma Régional Climat-Air-Energie

TECV : Transition Énergétique pour la Croissance Verte

Introduction

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) dues aux activités humaines ne cessent d'augmenter depuis le milieu du XX^{ème} siècle et sont la principale cause du dérèglement climatique selon le nouveau rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC). Ce rapport nous informe que nous avons déjà atteint 1°C d'augmentation des températures depuis l'aire préindustrielle et qu'en ne changeant rien, la planète pourrait connaître une hausse de 1.5°C de la moyenne des températures entre 2030 et 2052 (IPCC 2018). Les conséquences de ces émissions sont multiples : augmentation du niveau de la mer, acidification des océans, sécheresses plus fréquentes, cycles végétatifs accélérés mais fragilisés, etc. (ADEME 2018).

Pour limiter ces impacts, des accords internationaux ont été signés, comme l'accord de Paris lors de la COP21 en 2015. Cependant, les efforts à fournir sont encore très importants, et comme le dit Edwin Zaccai dans son livre *Deux Degrés*, « ce problème est (insuffisamment) pris en compte » (ZACCAI 2019).

On peut tout de même observer que les manifestations se font de plus en plus nombreuses pour dénoncer l'urgence climatique. En mars 2019 notamment et dans plus de 100 pays, des étudiants se sont mobilisés pour manifester en faveur d'une action plus rapide contre le réchauffement climatique (VANLERBERGHE et PECH 2019). Quatre associations se sont aussi mobilisées en France, en décidant, au nom de l'intérêt général, « d'attaquer l'Etat français en justice pour qu'il respecte ses engagements climatiques et protège nos vies, nos territoires et nos droits », c'est l'Affaire du Siècle (JULLIARD 2019).

La pollution de l'air est également un enjeu mondial important, qui a des effets locaux et globaux. En 2012, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estimait que 6.5 millions de décès étaient associés à la pollution de l'air extérieur et intérieur, notamment à cause de l'exposition aux particules fines.

En mai 2019, l'Etat français est aussi poursuivi pour « carence fautive » devant le tribunal administratif de Montreuil par une mère et sa fille qui l'accusent de ne pas avoir assez agi contre la pollution de l'air. Elles ont souffert de problèmes respiratoires chroniques lors des pics de pollution de décembre 2016 notamment (Sciences et Avenir 2019).

Réchauffement climatique et qualité de l'air sont deux phénomènes interconnectés : par exemple, si l'ensoleillement et la chaleur augmentent, cela pourrait augmenter le niveau d'ozone, un polluant extrêmement nocif à partir d'une certaine concentration dans la troposphère. De plus, avec le changement climatique, les feux de forêts risquent d'être plus nombreux, ce qui générera plus d'émissions de monoxyde de carbone (CO), de particules, ... (Atmo Auvergne-Rhône-Alpes 2015).

Ainsi, ces phénomènes étant liés, leurs stratégies de lutte le sont aussi. En effet, les politiques qui combattent le changement climatique améliorent également la qualité de l'air, notamment en limitant les émissions des particules fines et des précurseurs d'ozone (European Environment Agency 2006).

Le Plan Climat-Air-Energie Territorial (PCAET) est un outil de lutte contre le changement climatique et la pollution atmosphérique. Il est élaboré par les Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) de plus de 20 000 habitants et permet notamment de mettre en place des actions concrètes à l'échelle territoriale pour atteindre les objectifs prévus par le Plan National de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques (PREPA), mis en place en 2017 (PHILIE 2017).

Selon l'OMS, les polluants atmosphériques les plus impactants sont les particules fines $PM_{2,5}$, qui sont des particules ayant un diamètre inférieur à $2.5\mu m$, qui sont très nocives pour la santé car elles peuvent franchir la barrière pulmonaire et entrer dans le système sanguin.

Les secteurs émettant des $PM_{2,5}$ sont le secteur résidentiel (combustion des appareils de chauffage), le secteur des transports, de l'industrie ainsi que le secteur de l'agriculture (ammoniac).

L'ammoniac (NH_3) est un gaz précurseur de particules secondaires ($PM_{2,5}$), incolore et irritant, qui contribue entre autres à l'eutrophisation et l'acidification des milieux naturels (NOVAK et FIORELLI 2010), ainsi qu'à de nombreuses maladies respiratoires. En France, l'agriculture participe à la quasi-totalité (> 97 % en 2016) de ces émissions (CITEPA 2018).

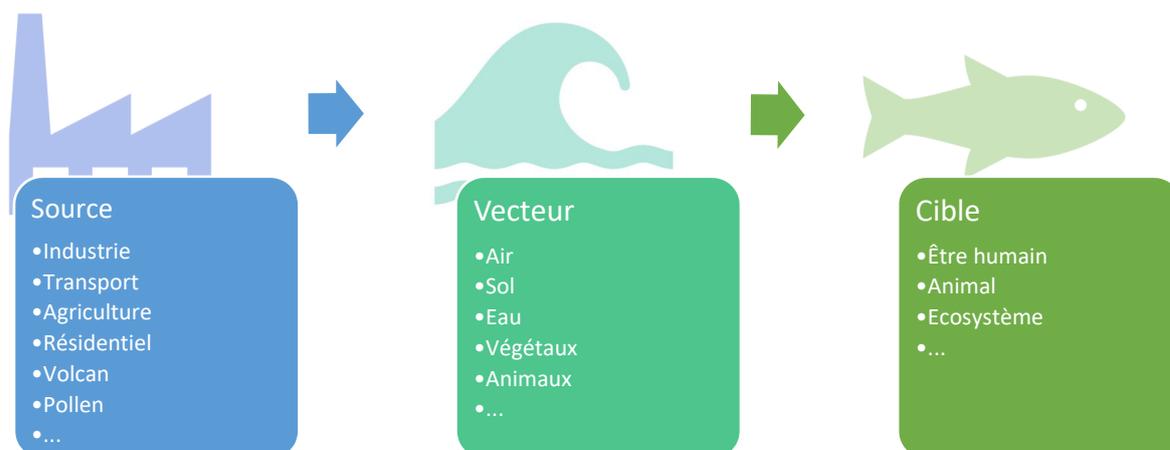
Il est donc important de mieux comprendre les processus d'émission de ce polluant et de pouvoir quantifier ces émissions, afin de mettre en place des méthodes de réduction adaptées au contexte agricole.

Ainsi, l'objectif de cette étude va être de quantifier les émissions de NH_3 à l'échelle territoriale (EPCI) ainsi que les réductions possibles de ces émissions selon les techniques d'élevage utilisées. Cette étude va donc permettre de répondre à la question suivante :

Quelles actions est-il possible de mettre en place dans le cadre d'un PCAET (Plan Climat Air Energie Territorial) pour réduire les émissions d'ammoniac en provenance des élevages et atteindre les objectifs réglementaires du Plan de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) ?

Cette question a été réfléchi dans le cadre d'un stage de fin d'études réalisé au sein du bureau d'études en environnement ATMOTERRA, à Nantes. Cette entreprise réalise notamment des Evaluations Environnementales Stratégiques (EES) et des diagnostics qualité de l'air de PCAET (*voir partie 1.3.3.1*).

La première partie du rapport présentera les concepts généraux en lien avec la qualité de l'air, les polluants atmosphériques (et en particulier le lien entre l'ammoniac et les particules), la réglementation applicable et les outils stratégiques mis en œuvre pour adresser ces aspects (PCAET, SRADDET, ...). Dans une seconde partie, sera présenté la méthodologie permettant la création d'un outil d'aide à la décision et de quantification de l'impact des actions de l'élevage sur les émissions de NH_3 à l'échelle du territoire. Ensuite, les mesures les plus intéressantes pour deux communautés de communes seront présentées. Enfin, une partie finale permettra de comprendre les freins et leviers au changement des pratiques agricoles.



Source personnelle, 2019

Figure 1 : Schéma conceptuel simplifié montrant les liens entre sources d'émissions et impacts sur les milieux et les populations

1. Réduire les émissions atmosphériques du secteur agricole à l'échelle des collectivités territoriales

Tout d'abord, une présentation du terme « qualité de l'air » va être faite pour ensuite comprendre l'évolution de la prise en compte de cet enjeu.

1.1. La qualité de l'air : une préoccupation sanitaire et environnementale

1.1.1. Qu'est-ce que la qualité de l'air ?

L'air est un mélange gazeux constitué de diazote (N_2) à 78 %, de dioxygène (O_2) à 21 % et d'autres gaz (argon, hélium, vapeur d'eau, dioxyde de carbone, ...). L'air est indispensable à la vie car l' O_2 permet aux êtres-vivants de respirer et le CO_2 participe à l'effet de serre, qui permet d'avoir une température d'en moyenne $15^\circ C$ sur Terre ($-18^\circ C$ sans gaz à effet de serre) (Atmo France s. d.).

Cette qualité de l'air est toutefois dégradée par certains polluants, des particules émises par l'industrie, les transports, les activités domestiques (le chauffage par exemple) ainsi que l'agriculture, mais aussi par des sources naturelles comme les volcans, ou encore les pollens.

Un polluant est un agent physique, chimique ou biologique qui provoque une gêne ou une nuisance dans le milieu liquide ou gazeux (Actu Environnement s. d.).

Il existe deux catégories de polluants atmosphériques, ceux émis directement dans l'atmosphère, dits particules primaires, comme le CO_2 , le SO_2 , les HAP, ... et ceux issus de transformations physico-chimiques, comme l'ozone (dits particules secondaires) (Ministère de la Transition écologique et solidaire 2017).

Une fois émis, ces polluants sont transportés sous l'effet du vent ou alors d'un autre vecteur comme l'eau ou la chaîne alimentaire (Figure 1). C'est une fois dans l'air que la concentration des particules peut être mesurée.

En France, il existe un dispositif national de surveillance de la qualité de l'air qui prévoit une surveillance sur l'ensemble du territoire et une information au public. Il a été prévu par la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie de 1996 (dite loi LAURE) qui « reconnaît à chacun le droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé ».

Les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), qui ont créé la Fédération Atmo France, surveillent les polluants suivants conformément au Code de l'environnement (articles R221-1 à R221-3) : les particules fines (PM_{10} et $PM_{2,5}$, les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, l'ozone, le monoxyde de carbone, les composés organiques volatils, les métaux lourds, le benzène ainsi que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Atmo France s. d.) ; elles mesurent ainsi leur concentration dans l'air.

La qualité de l'air est donc le niveau de polluants atmosphériques présents dans l'air des différents territoires. Cette notion est à distinguer des émissions atmosphériques qui sont quantifiées à l'échelle territoriales et qui caractérisent les émissions des différentes sources. Les actions sur les émissions sont à privilégier car plus efficaces, réglementairement, économiquement et techniquement.

1.1.2. Comment ont évolué les façons d'appréhender cette qualité de l'air ?

Au XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècle, la pollution atmosphérique est déjà remarquée par quelques personnes, comme l'écrivain John Evelyn qui a observé que l'air de Londres était corrosif, dû au mauvais état de certains marbres (CITEPA 2016).

En 1952, un premier gros épisode de pollution apparaît à Londres pendant 4 jours, cette période est appelée « l'épisode du smog » (smoke (fumée) + fog (brouillard)). Il provoque la mort de plus de 4 000 personnes, dû aux particules émises lors de la combustion du charbon pour lutter contre le froid.

Au XIX^{ème} siècle, l'ozone est découvert et ses concentrations commencent à être mesurées. Une première loi sur l'air propre est ensuite créée en Angleterre, puis en France (lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs).

En 1958, ce sont les mesures des concentrations de CO₂ à Hawaï (Mauna Loa) qui commencent à se mettre en place. Elles sont faites en plein milieu de l'Océan Pacifique, loin de toutes activités humaines.

En 1968, le suédois Svante Odéan met en évidence le phénomène des pluies acides, en lien avec l'augmentation des émissions de SO₂.

A partir de 1980, des directives européennes sont mises en place pour lutter contre la pollution atmosphérique et établir des valeurs limites ainsi que des valeurs guides.

En 1992, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques est adoptée lors du « Sommet de la Terre de Rio ».

L'OMS établit à partir de 1987 des lignes directrices en matière de qualité de l'air pour l'Europe (CITEPA 2016).

Il existe donc maintenant différentes réglementations en matière de qualité de l'air : des réglementations européennes ainsi que des réglementations françaises. Ce sont des normes qu'il faut respecter et qui sont revues à la baisse régulièrement.

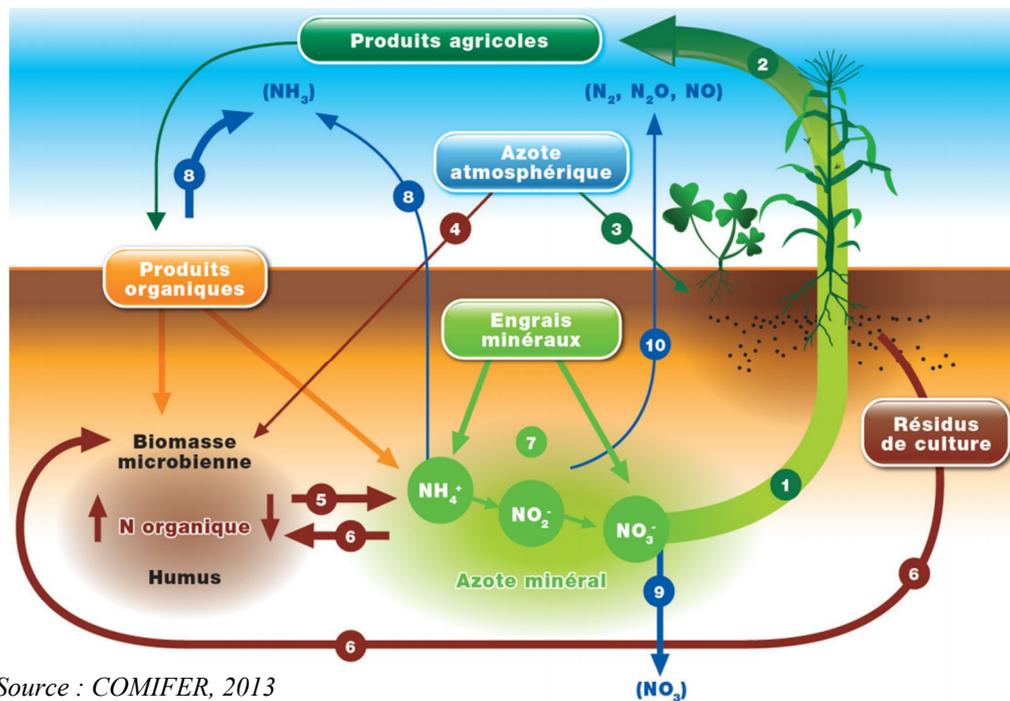
Les valeurs seuils sanitaires données par l'OMS sont, elles, des recommandations, au-dessous desquelles il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la végétation (Airparif s. d.).

Aujourd'hui, le territoire français est couvert par un réseau de stations de mesure qui sont situées dans des lieux représentatifs des différents types d'exposition (station urbaine, rurale, trafic, ...). Il y a environ 670 stations de mesures fixes, qui sont complétées par des stations mobiles. Les données sont ensuite utilisées pour effectuer des modélisations qui permettent de scénariser la répartition des polluants sur un territoire donné et donc d'estimer l'exposition des populations (Atmo France s. d.).

Ainsi, depuis les premières observations de pollution du XVII^{ème} siècle aux réglementations d'aujourd'hui, l'enjeu de la qualité de l'air a été de plus en plus pris en compte. Cependant, les impacts de cette pollution atmosphérique sont toujours nombreux.

1.1.3. Quels sont aujourd'hui les impacts des polluants atmosphériques ?

La pollution de l'air a des **impacts sanitaires** importants, sur les personnes vulnérables particulièrement. L'OMS a estimé environ 7 millions de décès prématurés par an dus à cette pollution, dont environ 600 000 décès par an pour les enfants âgés de moins de 5 ans (World Health Organization 2018).



Source : COMIFER, 2013

Figure 2 : Le cycle de l'azote simplifié en agriculture

Légende :

- | | | |
|---------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1. absorption racinaire | 5. minéralisation | 9. lixiviation |
| 2. exportation par les récoltes | 6. organisation | 10. dénitrification |
| 3. fixation symbiotique | 7. nitrification | |
| 4. fixation libre | 8. volatilisation | |

Cette pollution peut avoir des effets directs, après une courte exposition, comme une irritation oculaire ou une irritation des voies respiratoires, des crises d'asthme, des troubles cardiovasculaires et respiratoires.

Elle peut aussi avoir des effets à plus long terme, après des expositions répétées, comme l'aggravation de maladies telles que les cancers, les troubles neurologiques, troubles du développement, ... (Ministère de la Transition écologique et solidaire 2017).

Les impacts peuvent également être observés sur **l'environnement**. En effet, une concentration importante de polluants (NOx et SO₂ principalement) peut contribuer aux phénomènes de pluies acides. C'est au contact de l'humidité de l'air que le SO₂ et le NO₂ vont former de l'acide sulfurique (H₂SO₄) et de l'acide nitrique (HNO₃) qui retombent ensuite au sol sous forme de pluies acides, après avoir parfois parcouru des milliers de kilomètres. Ces pluies peuvent être dues aux activités humaines, mais aussi aux phénomènes naturels. Les centrales thermiques au charbon, les usines de métaux non ferreux et les combustions de carburants fossiles sont les sources anthropiques majoritaires de ces deux polluants. Les pluies acides peuvent avoir des impacts importants sur les écosystèmes aquatiques, en éliminant les espèces les plus intolérantes à l'acidité et donc en affectant la chaîne alimentaire (DUPONT 2004).

La pollution de l'air peut aussi impacter l'agriculture, car des concentrations importantes d'ozone impactent les rendements des cultures, notamment du blé, avec des diminution de rendement entre 4 et 15 % (ICP Vegetation 2011).

De nombreux autres impacts sur l'environnement sont observés, ainsi que des **impacts économiques**. En effet le rapport de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) sur les performances environnementales de la France estime que le coût de la mortalité liée à la pollution par les particules fines est d'environ 51 millions d'euros par an (OCDE 2016).

Les impacts de la pollution atmosphérique sont donc nombreux et divers, car ils touchent aussi bien les aspects sanitaires, environnementaux et économiques.

Cette étude se focalise toutefois sur un seul polluant atmosphérique, l'ammoniac, dont les émissions en France ne diminuent que très peu alors que les impacts de ce gaz peuvent être très importants.

1.2. Focus sur un polluant atmosphérique d'origine agricole principalement : l'ammoniac

Premièrement, une explication de l'origine de ce gaz va être faite pour ensuite comprendre ses impacts mais aussi les réglementations autour de l'ammoniac.

1.2.1. Le cycle de l'azote et la volatilisation de l'ammoniac

L'azote est présent en grande quantité dans l'atmosphère terrestre sous forme de diazote. Cependant, cet azote ne peut pas être utilisé par les plantes tel quel. Ainsi, il va pouvoir être soit fixé par des bactéries qui sont en symbiose avec des plantes (comme les légumineuses) (n°3 sur la Figure 2) soit par des bactéries du sol ou par les pluies (n°4).

L'azote peut aussi être apporté sous forme de produits organiques (lisier ou fumier) ou par engrais minéraux.

L'ammoniac provient des urines, des déjections animales et de certains engrais azotés organiques ou minéraux. En effet, l'excédent d'azote provenant du régime alimentaire est excrété dans les urines sous forme d'urée. Celle-ci est ensuite transformée en ammonium par l'uréase, une enzyme présente entre autres dans les fèces et le sol, ammonium, à partir duquel le gaz ammoniac est émis par volatilisation (OUDOT, PAIN, et MARTINEZ 2003).

Ainsi, la gestion des déjections animales contribue à environ 70 % de ces émissions agricoles, le reste correspondant aux émissions liées à la fertilisation minérale (CITEPA 2018).

L'azote organique doit être minéralisé (n°5) puis nitrifié (n°7) pour être assimilable par la plante (n°1). Dans tout ce cycle, l'ammoniac apparaît par volatilisation : l'ammonium (NH_4^+) est en équilibre avec l'ammoniac dans le sol, et si le pH du sol est élevé, il favorise la transformation de NH_4^+ en NH_3 . Si cela se produit à la surface du sol, les pertes sont plus importantes (COMIFER et Association de coordination technique agricole 2000).

L'ammoniac (NH_3) provient donc en grande partie de l'élevage, et plus particulièrement des déjections animales, suite au rejet de l'excédent d'azote provenant de l'alimentation des animaux.

1.2.2. Les impacts de l'ammoniac sur l'environnement et la santé

Les émissions d'ammoniac peuvent avoir des effets sur les milieux naturels terrestres et aquatiques. Elles sont notamment en partie responsables de l'eutrophisation et de l'acidification des milieux. L'eutrophisation favorise le développement d'espèces vivant dans des milieux riches en nitrates, à la place des espèces natives. Cela peut donc conduire localement à des pertes de biodiversité. Une acidification peut aussi être créée : le dépôt d'ammoniac (NH_3) ou d'ammonium (NH_4^+) intensifie la nitrification dans les sols, ce qui génère de l'acidité (CORPEN 2001).

Ces modifications (acidification et eutrophisation) qui affectent les sols peuvent, dans certaines conditions, se répercuter sur la qualité des cours d'eau du bassin versant. Ainsi, les eaux acidifiées peuvent conduire à la disparition de plantes aquatiques et de poissons (voir partie 1.1.3)

L'ammoniac est aussi à l'origine de particules fines impactantes pour la santé, les $\text{PM}_{2,5}$.

En effet, dans l'atmosphère, l'ammoniac réagit avec les oxydes d'azote (NO_x) et de soufre (SO_x), gaz issus du trafic routier, pour former des nitrates d'ammonium (NH_4NO_3) et des sulfates d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) sous la forme d'aérosols par condensation et par nucléation. Ce sont des particules fines inorganiques secondaires, impactantes pour la santé. Les $\text{PM}_{2,5}$ sont dangereuses car elles peuvent atteindre le système respiratoire par leur petite taille et gagner ensuite l'ensemble des organes (JEDRASZAK 2015).

L'exposition à l'ammoniac peut provoquer une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires, mais aussi, à concentration élevée, "une irritation trachéobronchique (toux, ...), des ulcérations et un œdème des muqueuses nasales, oropharyngées et laryngées" (INRS 2018).

Les impacts de l'ammoniac sont donc non négligeables, et touchent particulièrement les écosystèmes terrestres et aquatiques (eutrophisation et acidification), ainsi que la santé des hommes et des animaux (maladies respiratoires, ...).

La partie suivante va détailler quels types de réglementations sont présents en France et dans le monde afin de limiter les émissions d'ammoniac et réduire leurs impacts négatifs.

1.2.3. La réglementation sur les émissions d'ammoniac et le contrôle de celles-ci

Plusieurs réglementations ont été mises en place depuis la fin des années 1990 pour diminuer les émissions de polluants atmosphériques, et notamment les émissions d'ammoniac.

1.2.3.1. Une réglementation à l'échelle internationale ...

A l'international tout d'abord, le **protocole de Göteborg**, adopté le 1er décembre 1999, engage les 26 pays signataires à respecter des plafonds nationaux d'émission afin de limiter les impacts de la pollution atmosphérique transfrontalière sur l'environnement ainsi que sur la santé. Il concerne les émissions de SO₂, NO_x, COV (Composés Organiques Volatils) et NH₃ (MOUSSET 2012; MARTIN et MATHIAS 2013).

La France doit respecter des plafonds d'émissions définis en rejets massiques absolus en 2010, et celui du NH₃ est de 780 kt.

Ce protocole a été amendé le 4 mai 2012 car les impacts des polluants étaient toujours observés malgré une réduction des émissions. Ainsi, de nouvelles ambitions de réduction par rapport à l'année de référence 2005 ont été fixées pour 2020. Elles concernent toujours les quatre polluants mais aussi les particules fines (PM_{2,5}).

Il s'agit, pour la France, d'une diminution des émissions de 55% pour le SO₂, de 50% pour les NO_x, de 43% pour les COVNM (Composé Organique Volatil Non Méthanique), de 27% pour les PM_{2,5} et enfin de 4% pour le NH₃ (par rapport à l'année de référence) (CITEPA 2017).

En 2016, la diminution des émissions de SO₂ par rapport à 2005 était de 44.8%, pour les NO_x de 27.2%, pour les COVNM de 46.3%, pour les PM_{2,5} de 34.2% et pour le NH₃ les émissions ont augmenté de 3%. (CITEPA 2017).

Adoptée le 23 octobre 2001, la **directive NEC** (National Emission Ceilings - 2001/81/CE) visait à limiter les émissions des polluants acidifiants, eutrophisants et des précurseurs de l'ozone. Elle définit les plafonds d'émission nationaux de chaque État membre pour les quatre mêmes polluants que le protocole de Göteborg. Elle sera abrogée le 1er janvier 2018 par la nouvelle directive (UE) 2016/2284. Celle-ci fixe des engagements qui ne sont pas des plafonds comme la directive NEC, mais des objectifs relatifs de réduction (en % par rapport à l'année de référence 2005). Ces engagements portent sur deux échéances, 2020 et 2030 (CITEPA 2017).

La **directive qualité de l'air** 2008/50/CE fixe elle des seuils de concentrations en particules fines (PM₁₀ et PM_{2,5}) et NO_x, ainsi qu'un objectif de réduction de 20 % de l'exposition aux PM_{2,5} entre 2010 et 2020 (MOUSSET 2012).

Les émissions d'ammoniac sont aussi réduites à travers la **directive européenne IPPC** (Integrated Pollution Prevention and Control) 96/61/CE, refondue en 2010 en **directive IED** (Industrial Emissions Directive) 2010/75/UE. Elle définit au niveau européen une approche intégrée de la prévention et de la réduction des pollutions émises par les installations industrielles et agricoles entrant dans son champ d'application.

	Années 2020 à 2024	Années 2025 à 2029	A partir de 2030
Ammoniac (NH₃)	-4 %	-8 %	-13 %

Tableau 1 : Objectifs de réduction des émissions d'ammoniac du PREPA par rapport à 2005

Source : Arrêté du 10 mai 2017 établissant le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques

Elle impose notamment aux élevages avicoles (> 40 000 volailles) et porcins (> 2 000 porcs de production ou > 750 truies) de déclarer leurs émissions et d'appliquer les meilleures techniques disponibles (MTD) pour réduire les émissions (MOUSSET 2012).

Une autre directive peut être abordée, il s'agit de la directive 91/676/CEE dite Directive Nitrate. Elle n'a pas pour objectif de préserver directement la qualité de l'air, mais celle de l'eau. Cependant, elle a un lien direct avec la qualité de l'air car sa mise en œuvre va engendrer des effets positifs sur la qualité de l'air en limitant les épandages et donc la volatilisation de l'azote dans l'air (Commission Européenne 2010).

Ainsi, pour limiter les émissions d'ammoniac à l'échelle internationale, le protocole de Göteborg, la directive NEC, la directive qualité de l'air, ainsi que la directive IED et Nitrate ont notamment été mis en place, et ont ensuite été déclinés dans chaque pays signataire.

1.2.3.2. Et des déclinaisons à l'échelle française

Pour traduire nationalement ce contexte, le **Plan National Santé Environnement (PNSE)** est un instrument qui vise entre autres à réduire la pollution atmosphérique. Conformément à l'article L. 1311 du code de la santé publique, il doit être renouvelé tous les cinq ans. Aujourd'hui, le PNSE 3 est en cours, et il énonce par exemple des mesures à prendre pour réduire les émissions liées au secteur agricole (techniques d'épandage et de stockage d'effluents d'élevage, techniques de labour et de récolte) (action n°51).

A l'échelle nationale, afin de protéger la population et l'environnement, le **Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA)** a été instauré par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Il figure dans le décret n° 2017-949 du 10 mai 2017 qui fixe les objectifs de réduction à horizon 2020, 2025 et 2030, en application de l'article L. 222-9 du code de l'environnement, et en conformité avec les différents objectifs européens. Ce plan est aussi composé de l'arrêté du 10 mai 2017 qui fixe les orientations pour la période 2017-2021, avec des actions de réduction dans tous les secteurs (Ministère de la Transition écologique et solidaire 2018). Pour le NH₃, les objectifs de réduction sont présents dans le Tableau 1.

A l'échelle régionale, différentes actions ont lieu à travers les **Schémas Régionaux Climat, Air, Energie (SRCAE)** et les **Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA)**.

Le SRCAE est prévu par l'article 68 de la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010. C'est un document d'orientation qui fixe les efforts à fournir pour réduire les émissions de GES, de polluants atmosphériques, mais aussi de développement des énergies renouvelables et d'adaptation aux changements climatiques, aux horizons 2020 et 2050 (ALLEMANT 2013).

Cependant, un nouveau document va remplacer le SRCAE. En effet, la loi n° 2015-991 du 7 août 2015, dite loi NOTRe (Nouvelle Organisation Territoriale de la République) a doté la région d'un document prescriptif de planification, en remodelant le schéma régional d'aménagement et de développement durable du territoire (SRADDT), et en intégrant différents schémas dont le SRCAE (ZIGNANI 2016).

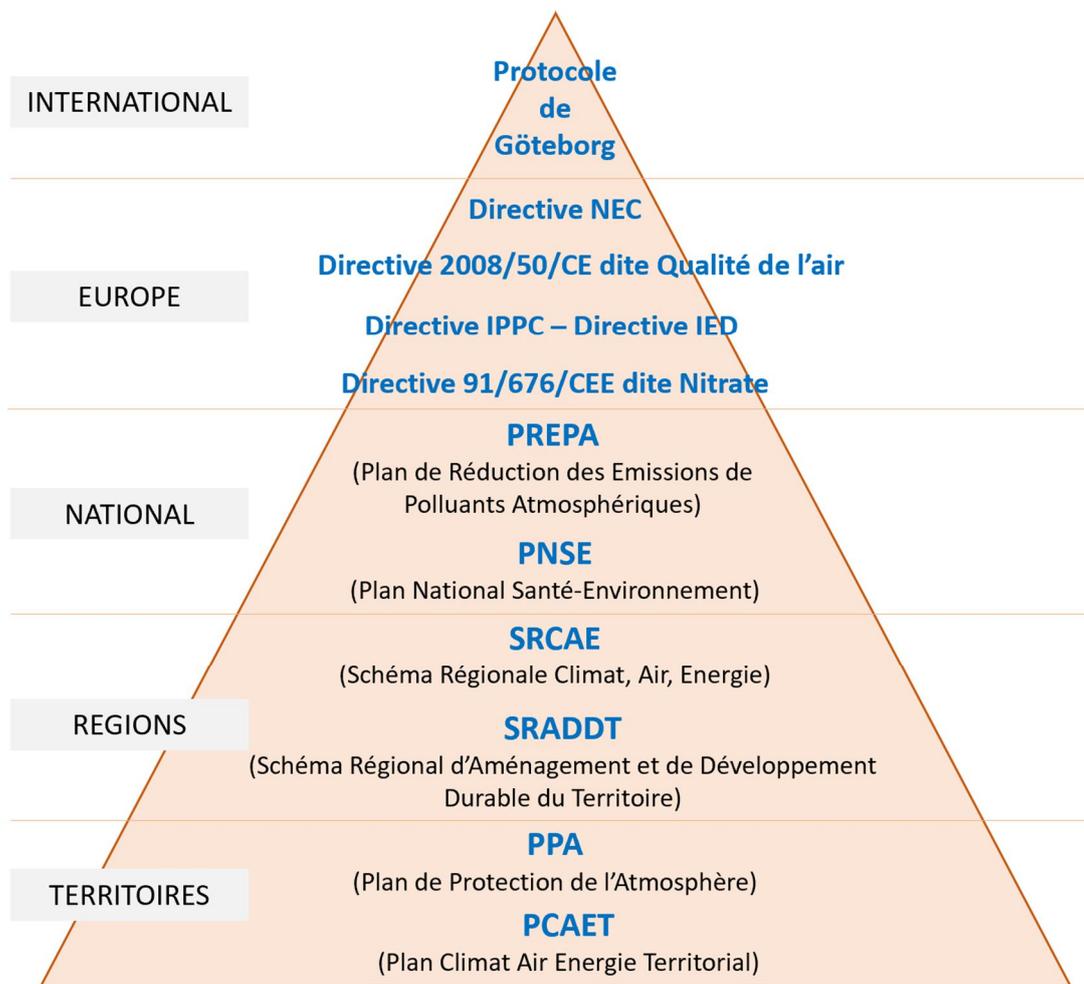


Figure 3 : Hiérarchisation des textes réglementaires en termes de qualité de l'air

Source personnelle, 2019

Le PPA est un document de planification et de gestion de la pollution atmosphérique sur un territoire pour 5 ans. Il a été instauré par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (loi LAURE). Il est obligatoire pour toutes les zones agglomérées de plus de 250 000 habitants et les zones dépassant (ou présentant un risque de dépassement) des valeurs limites fixées par l'Union Européenne (DUFOUR, THILL, et DECHERF 2012).

A l'échelle de la collectivité territoriale, les **Plans Climat Air Energie Territoriaux** (PCAET) sont désormais obligatoires pour les Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) à fiscalité propre de plus de 20 000 habitants. Il s'agit d'un document-cadre qui a comme objectif la lutte contre le changement climatique et l'adaptation du territoire.

Ainsi, le PCAET ne traite pas que l'enjeu de la qualité de l'air comme le PPA mais prend en compte l'ensemble de la problématique climat-air-énergie autour de plusieurs axes d'actions (dans un délai de 6 ans) :

- la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)
- l'adaptation au changement climatique
- la sobriété énergétique
- la qualité de l'air
- le développement des énergies renouvelables (*ADEME, 2016*).

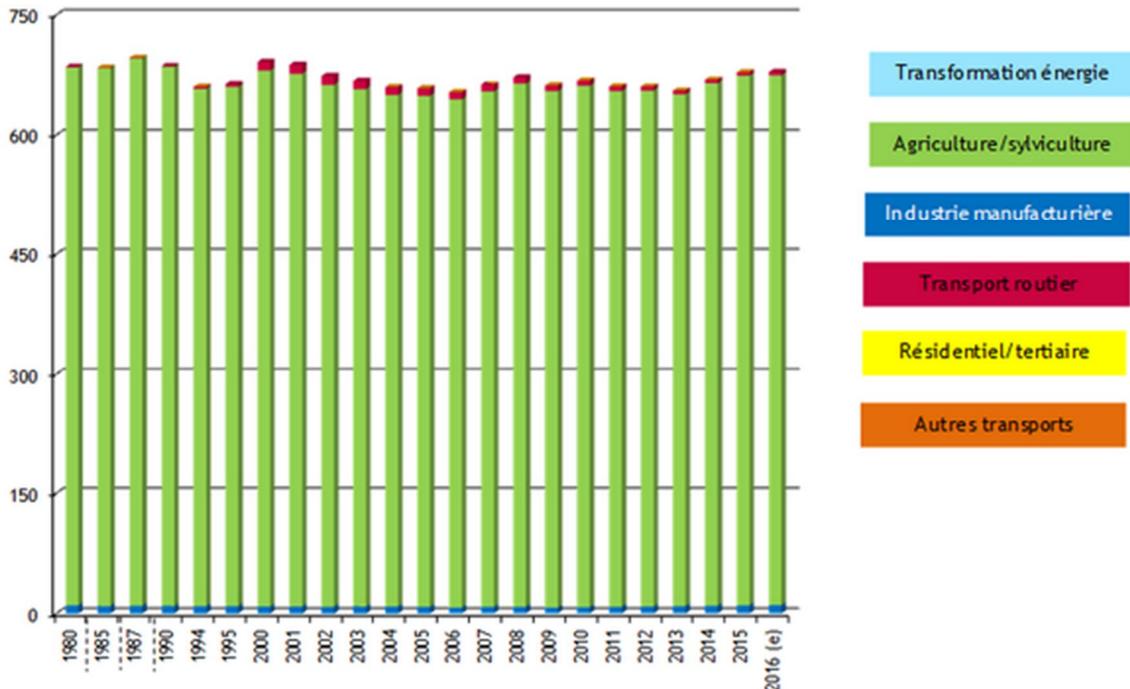
À la suite des réglementations internationales, différents plans et schémas ont vu le jour à l'échelle nationale, régionale ainsi que territoriale. La hiérarchisation de ces différents textes réglementaires est présente sur la Figure 3.

1.2.3.3. Les contrôles du suivi de ces réglementations

Si les réglementations internationales ne sont pas respectées par les pays concernés, ceux-ci peuvent avoir des sanctions. C'est le cas de la France, qui est visée par deux procédures précontentieuses relatives au non-respect de la directive 2008/50/CE sur la qualité de l'air.

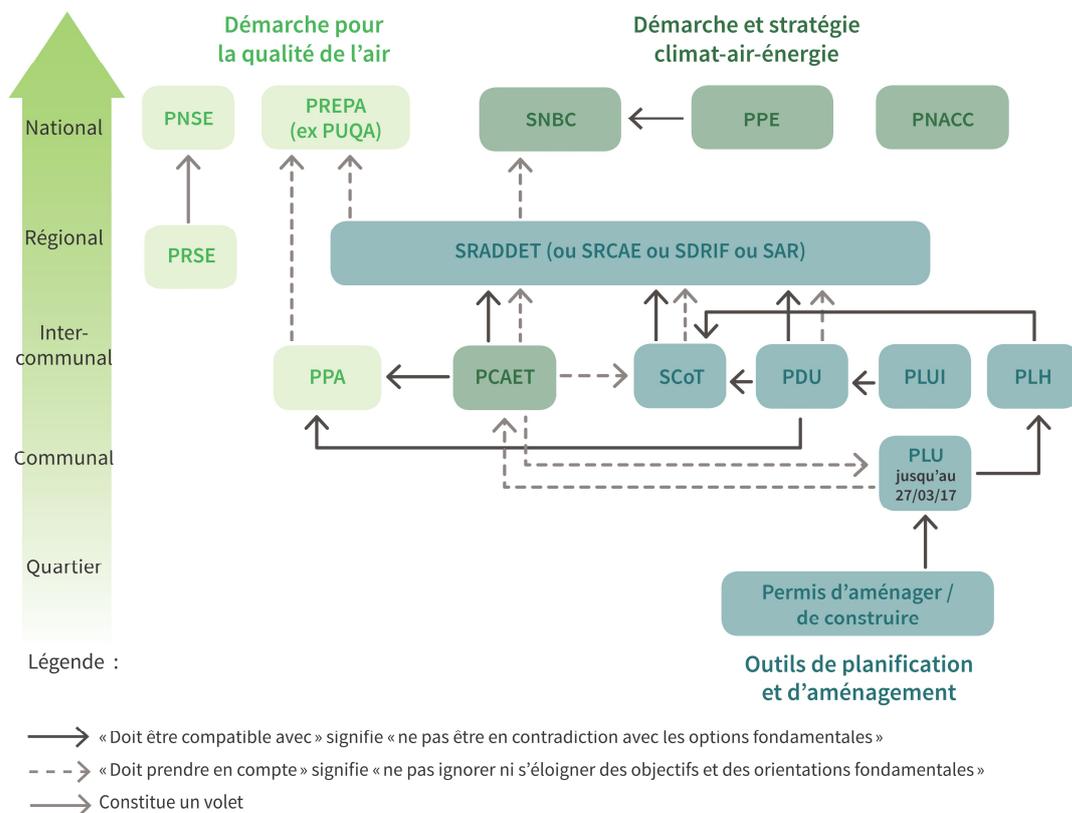
Le pays a en effet reçu, pour les particules fines, un avis motivé pour 10 zones, en avril 2015. Concernant le NO₂, la Commission Européenne a décidé de saisir la Cour de Justice de l'Union Européenne le 17 mai 2018 pour « non-respect des normes sanitaires et insuffisance des plans d'action pour 12 zones » (Ministère de la Transition écologique et solidaire 2017). La Commission Européenne annonce que les concentrations annuelles en 2016 à Paris ont atteint 96 µg/m³, soit le double de la valeur limite européenne à 40 µg/m³. Cette saisine de la Cour de Justice de l'Union Européenne expose la France à « une sanction d'au moins 11 millions d'euros et des astreintes journalières d'au moins 240 000 euros jusqu'à ce que les normes de qualité de l'air soient respectées » (MANDARD 2018).

Le contrôle des réglementations européennes est donc effectué par la Commission Européenne, qui peut prendre des mesures pour sanctionner les dépassements notables et persistants des valeurs limites fixées.



Source : CITEPA / Format SECTEN – Avril 2017 (e) estimation préliminaire

Figure 4 : Emissions de NH₃ par secteurs en France métropolitaines (en kt)



Source : ADEME, 2016

Figure 5 : Articulation du PCAET avec les autres documents de planification et d'urbanisme

1.2.4. Les tendances actuelles des émissions d'ammoniac

Malgré la réglementation présente, on observe que des efforts sont encore à fournir pour atteindre les objectifs. En effet, on peut voir sur la Figure 4 que les émissions d'ammoniac ont très peu diminué depuis 1980 (seulement -1 % entre 1980 et 2015). On observe aussi que ces émissions sont toujours très majoritairement dues au secteur agricole.

Or, une baisse de 4% des émissions d'ammoniac est à atteindre pour les années 2020 à 2024, par rapport à l'année de référence (2005).

Les émissions d'ammoniac, malgré les différentes réglementations, ont donc très peu diminué depuis 1980 et continuent d'avoir des effets sur l'environnement et la santé des territoires. Le Plan Climat Air Energie Territorial peut contribuer à améliorer ces aspects grâce à la mise en place d'actions de réduction des émissions d'ammoniac à l'échelle territoriale.

1.3. Le PCAET : un nouveau plan prenant en compte l'enjeu de la qualité de l'air et permettant la mise en place d'actions concrètes sur le territoire

1.3.1. Qu'est-ce qu'un Plan Climat-Air-Energie Territorial ?

Le PCAET est issu de la Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) du 17 août 2015 (n°2015-992), qui a élargi les domaines d'actions du Plan Climat-Energie Territorial (PCET) en y intégrant la thématique qualité de l'air.

Il a une périodicité de 6 ans et son élaboration est confiée aux Etablissements Publics de Coopération Intercommunales (EPCI) à fiscalité propre de plus de 20 000 habitants (ainsi que la Métropole de Lyon), alors que le PCET était lui confié aux collectivités de plus de 50 000 habitants (ADEME 2016b). Cette réduction d'échelle permet ainsi aux collectivités moins peuplées de réaliser elles aussi des actions en faveur de :

- La réduction des émissions de gaz à effet de serre
- L'adaptation au changement climatique
- La sobriété énergétique
- La qualité de l'air
- Et le développement des énergies renouvelables (ADEME 2016a).

Les échéances d'application des PCAET sont différentes selon la taille de l'EPCI : avant le 31 décembre 2016 pour les EPCI de plus de 50 000 habitants (existants au 1^{er} janvier 2015) et avant le 31 décembre 2018 pour ceux de plus de 20 000 habitants (existants au 1^{er} janvier 2017) (ADEME 2016b).

Il est important de bien positionner le PCAET par rapport aux autres outils de planification. Ce document doit être compatible, c'est-à-dire ne pas être en contradiction avec les idées fondamentales, avec le Schéma Régional Climat-Air-Energie (SRCAE) ou les règles du Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET). Il doit aussi être compatible avec le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) quand il est en place sur le territoire concerné (voir Figure 5).

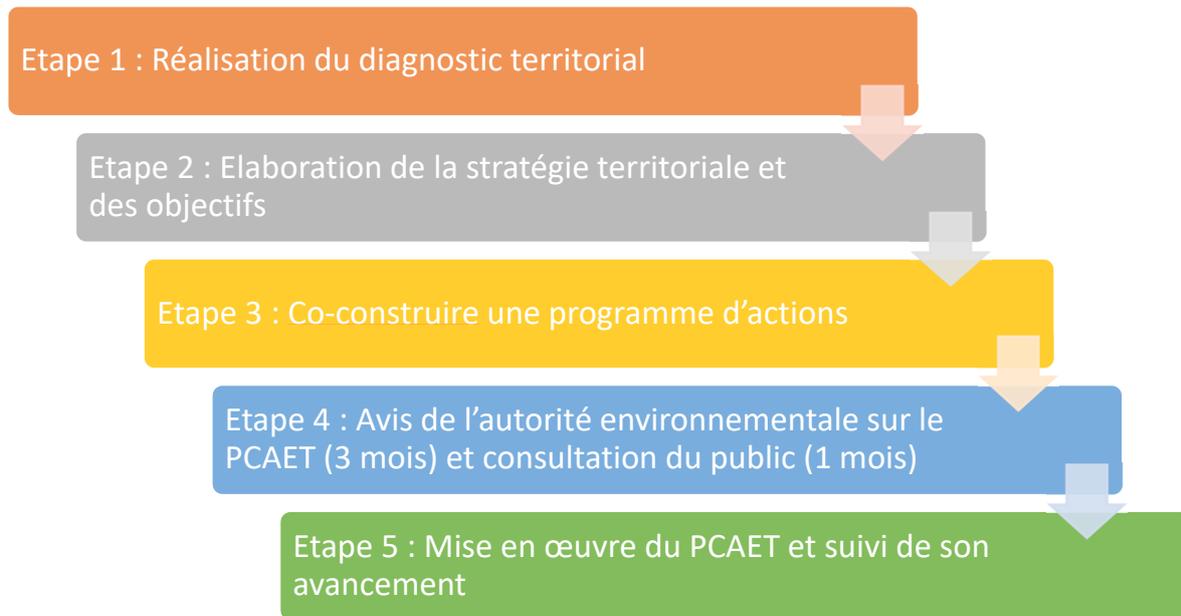


Figure 6 : Les différentes étapes d'un PCAET

Source personnelle, 2019

Le PCAET doit aussi prendre en compte, c'est-à-dire ne pas ignorer ni s'éloigner des objectifs et orientations fondamentales, des Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT) qui concernent le territoire, ainsi que des objectifs du SRADDET et de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) tant que le schéma régional ne l'a pas lui-même pris en compte (ADEME 2016b).

Le PCAET est moteur de l'action territoriale dans la lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air. Il est donc un outil adapté pour permettre la réduction des émissions d'ammoniac dans les différents territoires

1.3.2. Les différentes étapes dans l'élaboration du PCAET

1.3.2.1. La première étape : le diagnostic territorial

Le diagnostic territorial permet une connaissance de ce qui est existant sur le territoire : c'est une base pour ensuite déterminer les objectifs du plan, c'est donc la première étape du PCAET (voir Figure 6).

Le diagnostic doit contenir :

- Un état des lieux complet de la situation énergétique (consommation énergétique finale du territoire et son potentiel de réduction, présentation des réseaux de transport et de distribution d'électricité, de gaz et de chaleur, une analyse du potentiel de développement des énergies renouvelables),
- L'estimation des émissions territoriales de gaz à effet de serre, ainsi que de polluants atmosphériques, et de leur potentiel de réduction,
- L'estimation de la séquestration nette de CO₂ et son potentiel de développement,
- L'analyse de la vulnérabilité du territoire aux effets du changement climatique (ADEME 2016b).

La partie du diagnostic sur les émissions de polluants atmosphériques et leur potentiel de réduction est ce qui nous intéresse dans cette étude pour comprendre en quoi le PCAET peut être un outil pour réduire les émissions d'ammoniac en provenance de l'élevage.

Le volet « qualité de l'air » du diagnostic va donc être détaillée dans la partie suivante.

1.3.2.2. Focus sur le volet « qualité de l'air » du diagnostic

Dans le cadre du PCAET, les polluants réglementés sont les suivants (Article R. 229-52 et R. 221-1 du Code de l'Environnement et Article 1 de l'Arrêté du 4 août 2016 relatif au Plan Climat-Air-Energie Territorial) :

Les oxydes d'azote (NO _x)	Les particules (PM ₁₀ , PM _{2,5})	L'ammoniac (NH ₃)
Les composés organiques volatils (COV)		Le dioxyde de soufre (SO ₂)

Cependant, d'autres polluants peuvent être étudiés, selon les enjeux du territoire (pesticides, métaux lourds, ozone, ...).

Tout d'abord, une estimation des **émissions** de ces polluants à l'échelle de l'EPCI est réalisée : les données utilisées peuvent provenir des inventaires réalisés par les ATMO régionales.

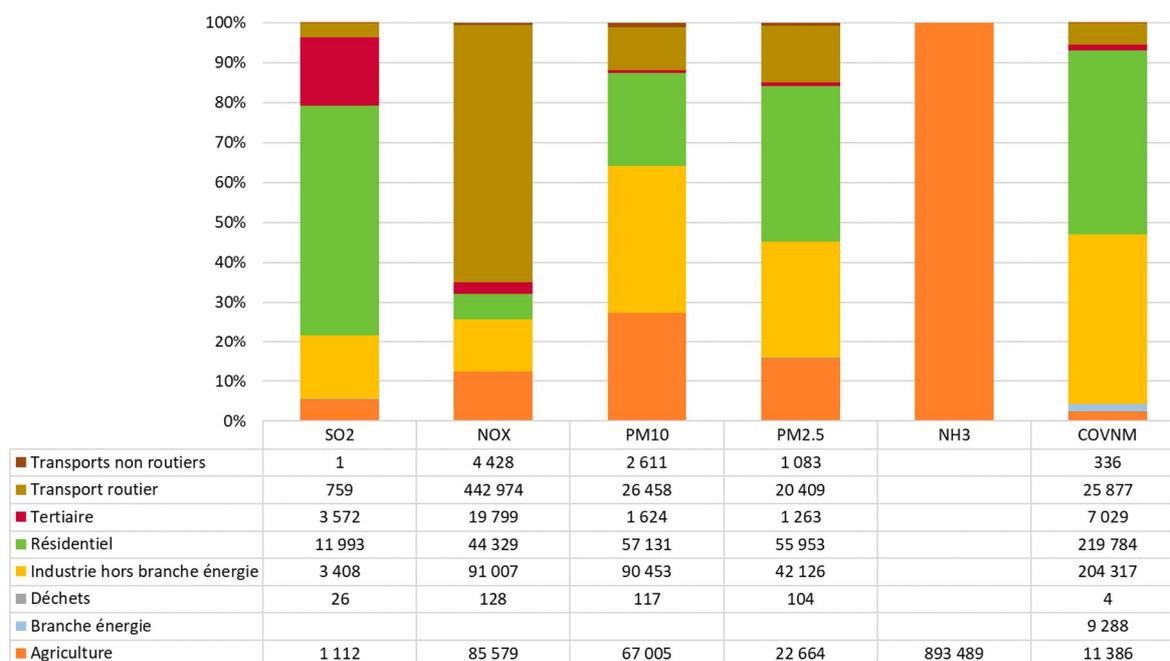


Figure 7 : Répartition des émissions polluantes [kg/an] de Clisson Sèvre et Maine Agglo en 2016

Source : ATMOTERRA 2019 ; BASEMIS/AIR PAYS DE LA LOIRE

			Moyenne annuelle [µg/m3]	Percentile 90.4 annuel en moyenne journalière [µg/m3]	Maximum moyenne journalière [µg/m3]
PM10					
Seuil d'alerte			-	-	80
Seuil de recommandation et d'information			-	-	50
Objectif de qualité			30	-	-
Valeur cible				-	-
Valeur limite			40	50	-
Recommandation OMS			20	-	50
Année	Station	Typologie de site			
2016	St-Exupéry / Cholet	Site urbain	17	29	68
2017	St-Exupéry / Cholet	Site urbain	17	27	72
2018	St-Exupéry / Cholet	Site urbain	17	25	54
2016	Victor-Hugo / Nantes	Site trafic	20	31	64
2017	Victor-Hugo / Nantes	Site trafic	22	32	75
2018	Victor-Hugo / Nantes	Site trafic	19	30	52
2016	Bouteillerie / Nantes	Site urbain	18	29	67
2017	Bouteillerie / Nantes	Site urbain	18	29	68
2018	Bouteillerie / Nantes	Site urbain	17	26	53

Tableau 2 : Mesures des concentrations en PM₁₀ pour les stations les plus proches de Clisson Sèvre et Maine Agglo

Source : ATMOTERRA 2019 ; données statistiques Air Pays de la Loire

Ces inventaires d'émissions « recensent, à un instant donné, la quantité de polluants émis dans l'atmosphère ». Les émissions de polluants s'expriment en unité de masse (kilogramme ou tonne) et par unité de temps (en année par exemple). Un inventaire est conçu à partir d'une méthodologie, et répertorie les rejets par polluant, par secteur d'activité et par zone géographique (Atmo Nord-Pas-de-Calais 2015).

Les estimations pour le PCAET sont donc faites à l'échelle de l'EPIC, pour les 6 polluants cités au-dessus et pour les secteurs d'activités suivants (MICHEL 2016) :

Résidentiel	Tertiaire	Transport routier	Autres transports
Agriculture	Déchets	Industrie hors branche énergie	

Elles sont estimées pour l'année la plus récente, ainsi que pour les années précédentes pour étudier l'évolution des émissions. La Figure 7 présente un exemple de graphique réalisé pour le diagnostic de la Communauté d'Agglomération Clisson Sèvre et Maine Agglo.

A l'échelle national, le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), association à but non lucratif, estime chaque année les émissions (et non les concentrations) de polluants atmosphériques pour le compte du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, dans le cadre de l'arrêté du 24 août 2011 relatif au Système National d'Inventaires d'Emissions et de Bilans dans l'Atmosphère (SNIEBA) (CITEPA 2019b). Cela permet par exemple de tester des scénarios pour réduire les émissions de polluants, d'évaluer la réduction des émissions dans le cadre d'un projet ou d'aider au suivi de plans comme le PCAET (Atmo Nord-Pas-de-Calais 2015). Cet inventaire national français est réalisé selon le Guide EMEP / EEA (European Monitoring and Evaluation Programme / European Environment Agency) pour les polluants atmosphériques. Le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire a aussi entrepris la réalisation d'un Inventaire National Spatialisé (INS) des émissions de polluants (inventaire avec une échelle géographique allant jusqu'à la commune), via l'Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS) qui est sous sa tutelle (INERIS s. d.).

Dans le diagnostic qualité de l'air du PCAET, les **concentrations** mesurées dans l'air sont aussi estimées pour le territoire. Les données utilisées sont celles des stations de mesures les plus proches du territoire. Ces concentrations sont comparées aux valeurs recommandées par l'OMS ainsi qu'aux normes réglementaires (voir 1.1.2). Le Tableau 2 présente une estimation des concentrations en PM₁₀ pour le territoire de Clisson Sèvre et Maine Agglo, avec en rouge les concentrations supérieures aux recommandations de l'OMS.

Le diagnostic qualité de l'air du PCAET permet donc d'avoir une estimation des émissions d'ammoniac sur le territoire, ainsi qu'une évolution de ces émissions, et permet ainsi de savoir si les objectifs réglementaires du PREPA sont atteints ou non.

Ce sont au niveau de ces émissions qu'il faut ensuite agir, pour les réduire : la stratégie et le plan d'actions du PCAET peut permettre la mise en place d'actions concrètes.

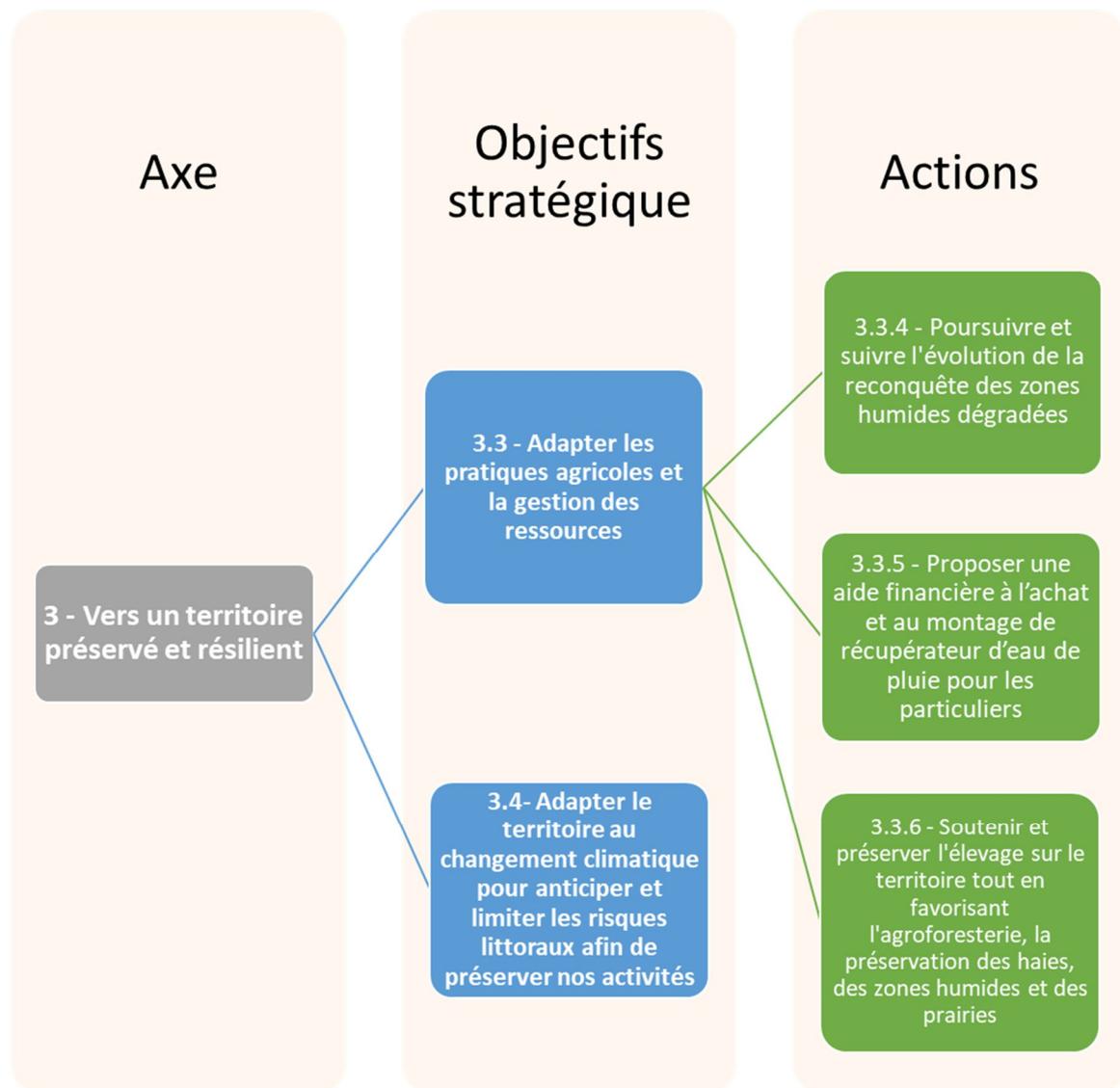


Figure 8 : Extrait du plan d'actions du PCAET de Pornic Agglo Pays de Retz

Source : issue de l'EES du PCAET, réalisée par ATMOTERRA en 2019

1.3.2.3. Les autres étapes d'un PCAET : stratégie et plan d'actions en co-construction

Comme le montre la Figure 6, après avoir identifié les enjeux et leviers d'actions du territoire grâce au diagnostic, la collectivité va pouvoir se fixer des objectifs ambitieux et réalistes : c'est la phase stratégie. Les objectifs fixés au niveau national, par la Loi relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV) et la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), servent de guide pour orienter la stratégie territoriale. Cependant, il est conseillé de s'adapter aux potentialités du territoire et de définir des objectifs atteignables pour chaque EPCI.

L'étape suivante de mise en œuvre du PCAET est la réalisation d'un plan d'actions. Il définit des actions concrètes à mettre en œuvre par la collectivité territoriale et l'ensemble des acteurs socio-économiques. Ce plan d'actions est établi en co-construction, c'est-à-dire qu'il est réfléchi, pas seulement par les élus du territoire, mais par tous les acteurs du territoire souhaitant participer. La co-construction vise à élaborer des propositions d'actions. Elle peut se faire à travers des ateliers thématiques qui associent les acteurs du territoire et couvrent les enjeux du territoire (agriculture, énergie, mobilité, habitat, biodiversité, industrie, ...) (ADEME 2016b).

C'est dans le plan d'actions que peuvent apparaître des mesures de réduction des émissions d'ammoniac à mettre en œuvre.

Le programme d'actions est rédigé sous la forme de fiches actions. Elles indiquent les étapes de mise en œuvre, le porteur de l'action, le budget prévisionnel ainsi que des ressources humaines nécessaires et les indicateurs du suivi de l'action. La Figure 8 présente un extrait d'un plan d'actions.

Le plan d'actions du PCAET est une feuille de route d'actions à réaliser sur le territoire. Des actions de réduction des émissions d'ammoniac sont tout à fait possibles dans ce plan qui a comme objectif l'amélioration de la qualité de l'air des territoires.

Le PCAET est soumis à une Evaluation Environnementale Stratégique (EES), qui va aussi prendre en compte l'enjeu sanitaire et environnemental.

1.3.2.4. L'Évaluation Environnementale Stratégique (EES) : un outil permettant la prise en compte de l'environnement dans le plan d'actions du PCAET

L'article R122-17 du Code de l'environnement décrit la liste des plans et programmes devant faire l'objet d'une Évaluation Environnementale Stratégique (EES). Le PCAET, considéré comme étant susceptible d'avoir des incidences notables sur l'environnement, fait partie de cette liste et doit donc être soumis à une EES.

L'évaluation environnementale stratégique de PCAET permet une vision globale sur la prise en compte de l'environnement à l'échelle d'un territoire ainsi que la prise en compte des effets cumulés des orientations stratégiques envisagées sur ce territoire (CEREMA et al. 2015). Elle est un vrai outil d'analyse et d'aide à la décision car elle permet aux différents acteurs d'avoir connaissance des enjeux et de mieux apprécier les conséquences de leurs décisions sur l'environnement.

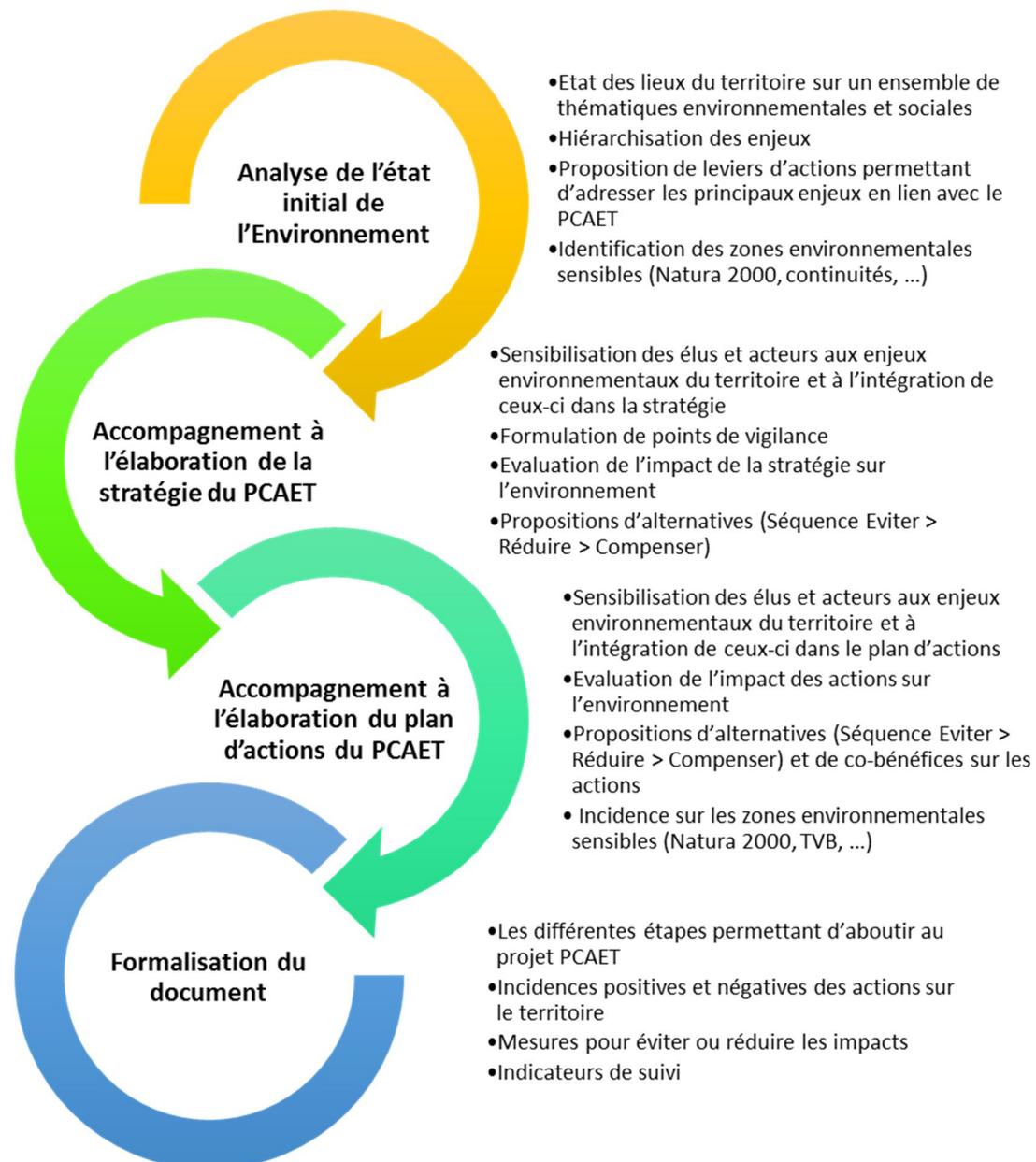


Figure 9 : Les différentes étapes de l'EES et les exemples d'interventions du bureau d'études en charge de celle-ci

Source : ATMOTERRA, 2019

L'EES s'effectue tout au long de la démarche de PCAET (voir Figure 9). Elle est tout d'abord composée d'un Etat Initial de l'Environnement (EIE), pour identifier les enjeux environnementaux du territoire et les hiérarchiser. Le bureau d'études en charge de l'EES, comme peut l'être ATMOTERRA, va donc accompagner la collectivité pendant les étapes d'élaboration de la stratégie et du programme d'actions, pour s'assurer de la prise en compte de tous les enjeux environnementaux. Il va aussi analyser les impacts des actions choisies sur les différentes thématiques environnementales.

L'EES permet donc une prise en compte de tous les enjeux environnementaux du territoire en question. Si l'impact de la pollution de l'air, et plus particulièrement de l'ammoniac, est très présent sur l'EPCI, l'EES va permettre de vérifier que cet enjeu soit bien abordé dans le plan d'actions.

1.3.3. L'accompagnement possible par des bureaux d'études pour l'élaboration du plan

Comme dit précédemment, la collectivité peut faire appel à un bureau d'études pour l'accompagner dans l'élaboration de son PCAET. C'est ce que propose comme service le bureau d'études ATMOTERRA.

1.3.3.1. Présentation de la structure de stage ATMOTERRA

ATMOTERRA est un bureau d'études indépendant, créé en 2014, spécialisé dans la réalisation d'études environnementales innovantes et durables dans les domaines d'expertise liés au sol, à l'air, à l'environnement et à l'énergie. Cette structure est basée à Nantes, dans un tiers-lieu nommé « le Solilab », destiné à réunir les acteurs de l'Économie Sociale et Solidaire de l'agglomération Nantaise et plus largement de la région Pays de la Loire.

Ce bureau d'études accompagne notamment les EPCI dans la construction de leur PCAET, en réalisant le diagnostic qualité de l'air ainsi que l'Évaluation Environnementale Stratégique (EES).

1.3.3.2. Les difficultés observées par ATMOTERRA pour réduire les émissions de NH₃ grâce aux PCAET

Comme dit dans la partie 1.3.2.3, le PCAET est un plan territorial pouvant permettre la réduction des émissions d'ammoniac, le programme d'actions pouvant comprendre des actions en faveur de cette réduction. Cependant, il est tout de même rare d'observer dans les plans d'actions des mesures ayant comme objectif la réduction directe de ces émissions.

Voici quelques exemples d'actions, en lien avec le secteur agricole, proposés dans différents PCAET :

- Préserver la qualité de la ressource en eau (PCAET de la Communauté de Communes (CC) de Grand-Lieu)
- Inciter les agriculteurs et la population à entretenir et développer le linéaire des haies (CC Sud-Estuaire)
- Créer deux unités de méthanisation valorisant les déchets agricoles (CC Baugeois Vallée)
- Accompagner les agriculteurs vers l'agro-écologie (CC Baugeois Vallée)

- Tendre vers le « zéro phyto zéro engrais chimique » (CC Sud Retz Atlantique)
- Favoriser la pratique d'un élevage de qualité aux impacts limités (Niort Agglo)
- Encourager de nouvelles pratiques culturales (Niort Agglo)

Les actions proposées en lien avec le secteur agricole dans les PCAET traitent ainsi la plupart du temps la problématique de l'eau, de la séquestration carbone, ou des énergies renouvelables, mais très peu la question de l'ammoniac, même si celui-ci est identifié comme un enjeu fort. L'action « Tendre vers le zéro phyto zéro engrais chimique » va pouvoir participer à la réduction des émissions de polluants atmosphériques, en limitant l'usage des pesticides et engrais azotés. Cependant la question de la pollution atmosphérique liée à l'élevage est très peu abordée de manière générale. L'action « Favoriser la pratique d'un élevage de qualité aux impacts limités » pourrait inclure des actions pour réduire les émissions d'ammoniac, or il s'agit ici d'une action axée seulement sur la séquestration de CO₂, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, ... et non sur l'ammoniac en tant que tel.

Ainsi, au vu des difficultés de prise en compte de mesures de réduction des émissions de NH₃ dans les plans d'actions, ATMOTERRA a souhaité en connaître davantage sur les techniques à mettre en œuvre au niveau des élevages pour diminuer ces émissions et ainsi mieux accompagner les collectivités dans ce sens.

La première mission a donc consisté à faire une recherche bibliographique sur ces mesures. Elle est synthétisée dans la partie 2.3.1.

Le bureau d'études a aussi souhaité pouvoir quantifier les réductions possibles de ces émissions sur un territoire donné. Un outil de calcul des émissions d'ammoniac en provenance de l'élevage a ainsi été réalisé, avec une deuxième étape proposant les pourcentages de réduction des émissions selon les techniques mises en place.

Cette étude a donc pour objectif d'estimer la réduction des émissions d'ammoniac d'un EPCI selon les actions proposées dans le programme d'actions du PCAET, et ainsi comparer cette réduction aux objectifs du PREPA.

L'outil de calcul développé dans cette étude pourra aussi servir d'outil d'aide à la décision pour accompagner les collectivités vers des mesures de réduction adaptées à leur territoire.

Maintenant que le contexte de l'étude a été posé, la méthodologie de celle-ci va être présentée.

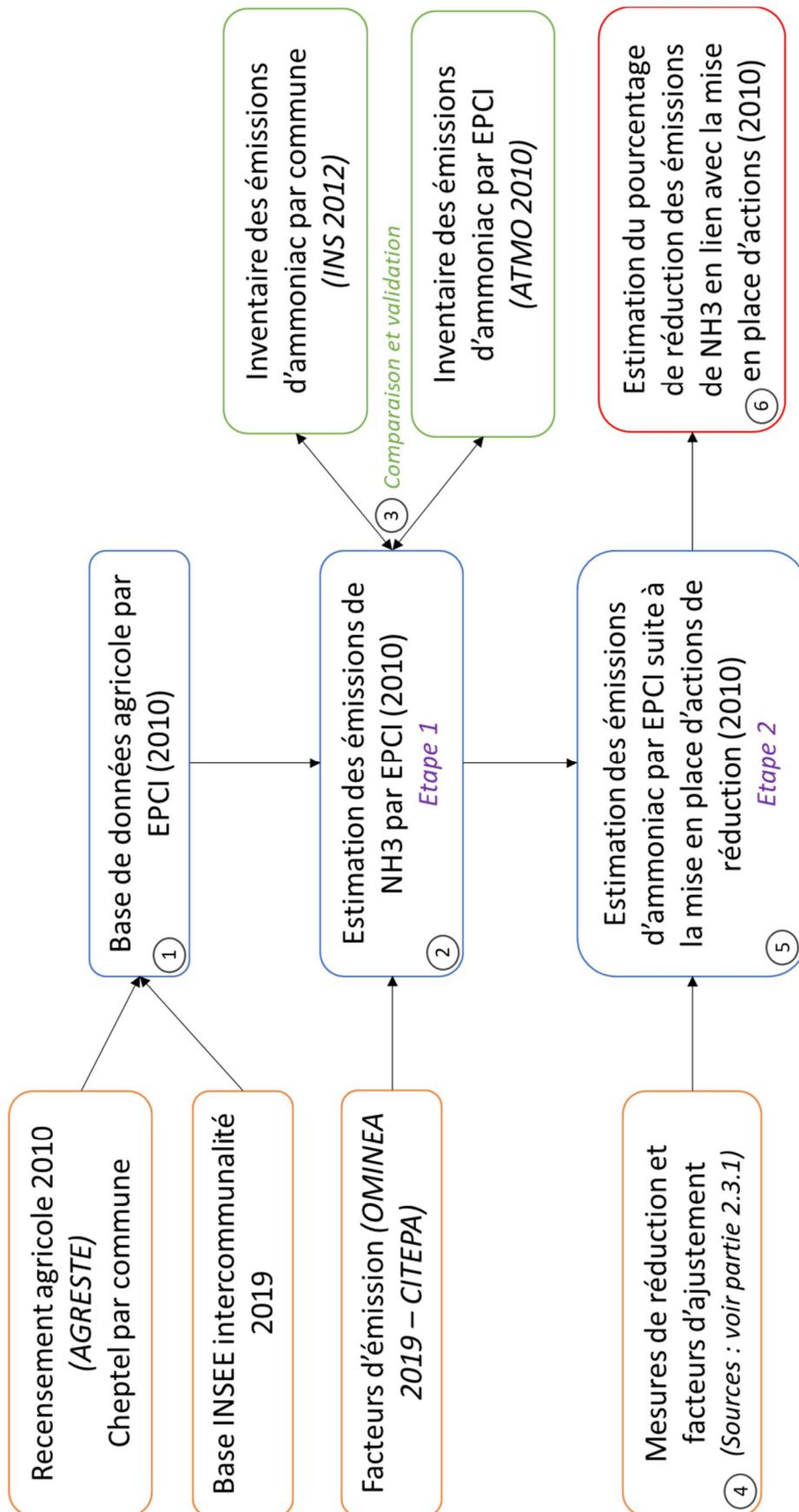


Figure 10 : Schéma simplifié de la méthodologie générale de l'outil de calcul à l'échelle de l'EPCI

Source personnelle, 2019

2. Méthodologie de l'étude

L'objectif de cet outil de calcul est tout de créer un inventaire des émissions d'ammoniac en provenance de l'élevage par EPCI et d'estimer les réductions possibles de ces émissions selon l'ambition du plan d'actions affichée dans le PCAET d'un territoire donné.

2.1. La méthodologie générale de l'outil de calcul des émissions d'ammoniac

Cette étude présente la reconstitution d'un inventaire des émissions d'un seul polluant, l'ammoniac, par un secteur d'activité, l'élevage, et par une zone géographique, l'EPCI. L'idée de recréer cet inventaire à l'échelle de l'EPCI a été trouvée par mon maitre de stage.

J'ai pris, quant à moi, l'initiative de créer un inventaire similaire à l'échelle départementale, qui suit la même méthodologie et pourrait permettre de valider les résultats et la méthode à une échelle plus grande.

2.1.1. La méthodologie et les données utilisées

La méthode générale d'estimation des émissions de polluants est le croisement des données d'activités avec des facteurs d'émission :

$$E = A \times FE$$

$E = \text{émission annuelle en } \frac{kg}{an};$ $A = \text{donnée d'activité annuelle } \frac{xx}{an};$
 $FE = \text{Facteur d'émission annuel en } \frac{kg}{xx}$

Pour cette étude, les émissions d'ammoniac en provenance de l'élevage sont estimées, la source de données d'activité utile est donc le cheptel par commune. Les données les plus récentes et détaillées que j'ai trouvé sont celles du recensement agricole de 2010 (Agreste du Ministère de l'Agriculture), où il est possible d'obtenir par commune le nombre de :

- Vaches laitières
- Vaches allaitantes
- Bovins d'un an ou plus
- Bovins de moins d'un an
- Chèvres
- Brebis nourrices
- Brebis laitières
- Porcins (avec le détail des truies reproductrices de 50 kg ou plus)
- Poulets de chair et coq

Les autres données nécessaires sont les facteurs d'émission (FE), ce sont des facteurs utilisés pour transformer une donnée d'activité en une quantité d'émissions de polluants. Les FE que j'ai choisis pour cet inventaire sont ceux proposés dans le guide OMINEA 16^{ème} édition de 2019 du CITEPA, qui sont eux -mêmes tirés du guide EMEP / EEA 2016.

Le croisement de ces deux sources de données donne une estimation des émissions de NH₃, c'est la première étape de notre outil (n°2 de la Figure 10).

La deuxième étape consiste à ajouter des facteurs d'ajustement (1 – pourcentage de réduction) selon les mesures mises en place au niveau des élevages, pour en déduire ensuite la réduction possible des émissions d'ammoniac (n°6 de la Figure 10). La Figure 10 présente les différentes étapes de cette méthodologie, qui va être détaillée dans les parties suivantes.

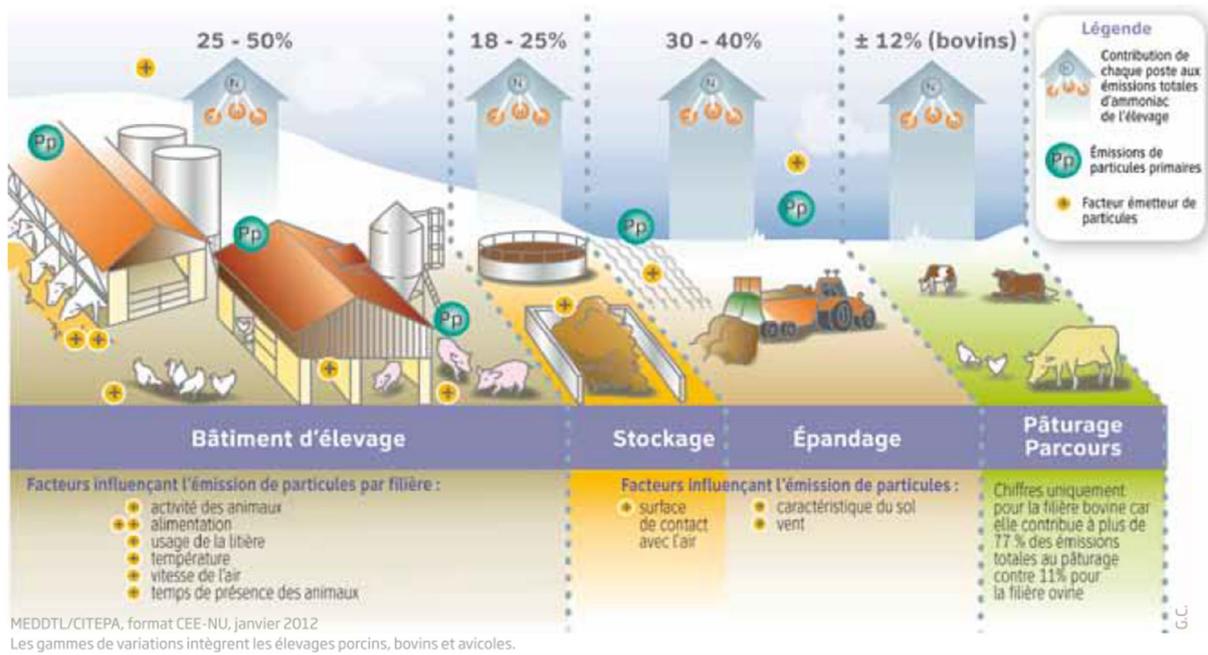


Figure 11 : Les sources d'émissions de particules primaires et d'ammoniac en élevage

Cet outil a été réalisé selon la méthodologie EMEP / EEA, qui est celle utilisée à l'échelle nationale et recommandée par le Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux (PCIT)

Le PCIT a été mis en place suite à l'arrêté SNIEBA et l'une de ses missions est de formaliser une méthodologie permettant la réalisation d'inventaires territoriaux (Pôle National de Coordination des Inventaires Territoriaux 2012).

Cette méthodologie EMEP / EEA est basée sur les flux d'azote ammoniacal (azote réduit sous forme NH_4^+ ou NH_3) et organique (azote intégré à des molécules organiques) pendant la gestion des déjections. Les émissions sont estimées aux différents postes de gestion des déjections, c'est-à-dire au bâtiment, au stockage, à l'épandage et au pâturage / parcours (CITEPA 2019a) (voir Figure 11).

Dans le calcul des émissions de NH_3 , on sépare celles en provenance de l'élevage et celles en provenance des cultures. L'étape « épandage » est intégrée à la source « élevage » et est donc prise en compte dans cet inventaire.

Les émissions de NH_3 sont ainsi calculées à chaque étape, et pour s'assurer de la cohérence du bilan de matière, les émissions de N_2 , NO_x et N_2O ont aussi été considérées, comme suggéré dans la méthodologie. Cette approche permet ainsi de considérer plusieurs systèmes d'élevage (bovins, caprins, ...) en faisant varier uniquement les quantités excrétées (WEBB et MISSELBROOK 2004).

Pour reconstruire cet inventaire d'émissions à la demande de mon maître de stage, j'ai choisi de m'appuyer sur la méthodologie nationale (EMEP / EEA) qui estime les émissions à chaque poste de gestion des déjections (bâtiment, stockage, épandage et pâturage) en suivant le flux d'azote ammoniacal et organique. Les données agricoles utilisées proviennent d'une seule source : la base AGRESTE de 2010. Les facteurs d'émissions proviennent du guide OMINEA du CITEPA de 2019 et les facteurs d'ajustement sont issus de plusieurs publications, dont une synthèse est faite partie 2.3.1.

2.1.2. Pourquoi recréer un inventaire d'émissions ?

Comme vu dans la partie 1.3.2.2, des inventaires d'émissions sont déjà réalisés à l'échelle nationale par le CITEPA et l'INS ainsi qu'à l'échelle des EPCI par les ATMO régionales.

Cependant, le but de cette étude étant la quantification des réductions d'émissions de NH_3 de différentes techniques, la reconstitution d'un inventaire est bien nécessaire pour pouvoir ajouter ces pourcentages de réductions aux différentes catégories d'animaux et aux différents postes concernés.

En effet, si par exemple 5 % des bâtiments porcins d'un territoire sont dotés d'un laveur d'air pour limiter la teneur en ammoniac dans l'air, il est nécessaire d'ajouter ce facteur de réduction dans le calcul des émissions pour les porcins seulement et au poste bâtiment. Or le détail des émissions calculées par l'INS ou les ATMO n'est pas assez important : les estimations sont faites seulement par catégorie animale pour le plus précis (INS).

L'idée de mon maître de stage de reconstruire totalement l'inventaire a donc été poursuivie pour pouvoir ajouter les facteurs de réduction correctement aux calculs.

2.1.3. Les hypothèses de calcul et les limites de l'outil

Des hypothèses ont été faites pour réaliser les différents calculs. Tout d'abord, il a été supposé que toutes les déjections au bâtiment soient ensuite stockées, et non épandues directement, et que toutes les déjections stockées soient ensuite épandues. Cette hypothèse est celle utilisée dans la méthodologie EMEP / EEA, j'ai donc choisi d'émettre la même.

J'ai émis toutefois une autre hypothèse, sur les données AGRESTE du cheptel par commune. En effet, ces données respectent le secret statistique, c'est-à-dire que les données sont indisponibles si elles concernent moins de 3 unités (s'il n'y a que 2 exploitations agricoles dans une commune, un « s » apparaîtra dans la case correspondante) et si une entreprise représente plus de 85% de la donnée. Ainsi l'identification directe ou indirecte des individus est impossible (INSEE 2018). Dans le calcul des émissions, il a donc été supposé que « s » était égal à zéro, même s'il est évident que cela n'est pas vrai, ce choix a été fait pour simplifier les calculs.

Les données AGRESTE par département n'ont pas, ou très peu, de secret statistique.

Concernant les données agricoles, celles-ci ne sont disponibles que pour certaines catégories animales. Ainsi, ont été exclu du calcul les émissions qui proviennent des poules pondeuses (les données sont seulement disponibles pour les poulets de chair et coqs), des chevaux, ânes ou mulets, ...

Une autre limite de cet inventaire est le fait que les effets environnementaux ne sont pas pris en compte, comme l'effet du vent ou des températures, qui varient pendant l'année, et qui ont un effet sur la volatilisation de l'ammoniac. Ces variations au cours et selon les années ne sont pas prises en compte dans le calcul.

De plus, cet outil présente des incertitudes liées aux incertitudes propres aux facteurs d'émissions et d'ajustement. Même si leurs valeurs sont réétudiées régulièrement, celles-ci peuvent avoir des variations considérables selon les auteurs.

La méthode de calcul peut, elle aussi, être incertaine. Celle utilisée est celle de 2019 et elle est aussi revue régulièrement.

Cet outil de calcul des émissions de NH₃ présente certaines hypothèses et limites : une gestion simplifiée des déjections, des données manquantes, des effets environnementaux non pris en compte ainsi que des incertitudes de données et de méthodologie.

D'autres limites seront développées dans les parties suivantes, lors du détail des calculs.

2.2. La méthodologie détaillée de la première étape de l'outil

La méthodologie de la première étape de l'outil, c'est-à-dire l'inventaire des émissions sans facteurs de réduction, va être détaillée dans la partie suivante.

J'ai choisi de réaliser cet outil de calcul dans un tableur Excel, avec une feuille de calcul par poste de gestion des déjections.

2.2.1. La reconstitution de la base de données agricoles

La première étape est le calcul du nombre d'animaux par catégorie (caprin, ovin, ...) présent dans l'EPCI. Pour se faire, comme les données issues du recensement agricole de 2010 sont communales, il est nécessaire de construire une base de données intercommunale.

EPCI	N° communal	Commune	Vaches laitières				Vaches allaitantes					
			Exploitations en ayant		Cheptel correspondant (têtes)		Exploitations en ayant		Cheptel correspondant (têtes)			
			2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010		
Eurométropole de Strasbourg	67001	67001 - Achenheim										
CC de l'Alsace Bossue	67002	67002 - Adamswiller										
CC de la Vallée de Villé	67003	67003 - Albé										
CC du Pays de Saverne	67004	67004 - Allenwiller										
CC du Pays de la Zorn	67005	67005 - Altekendorf										
CC du Pays de Saverne	67006	67006 - Altenheim	4	3								
CC de la Région de Molsheim-N	67008	67008 - Altorf	9	6	367	330						
CC de l'Alsace Bossue	67009	67009 - Altwiller	6	5	283	313	5	4	47	52		
CC du Pays de Barr	67010	67010 - Andlau										
CC du Ried de Marckolsheim	67011	67011 - Artoisheim		3								
CC de l'Outre-Forêt	67012	67012 - Aschbach										
CC de l'Alsace Bossue	67013	67013 - Asswiller	6	3	150	137	12	10	212	207		
CC de l'Alsace Bossue	67014	67014 - Auenheim										
CC de la Région de Molsheim-N	67016	67016 - Avoisheim										
CC de l'Alsace Bossue	67017	67017 - Baerendorf	12	4	379	333	10	4	93	130		
CC de la Mossig et du Vignoble	67018	67018 - Balbronn					3	3		111		
CC de Sélestat	67019	67019 - Baldenheim	8	5	179		3		11			
CC du Pays de Barr	67021	67021 - Barr										
CC de la Vallée de Villé	67022	67022 - Basseberg										
CA de Haguenau	67023	67023 - Batzendorf					4					
CC de la Plaine du Rhin	67025	67025 - Beinheim										
CC de la Vallée de la Bruche	67026	67026 - Bellefosse					4	4	26	41		

Figure 12 : Aperçu de la base de données AGRESTE

B8 : =SOMME.SI.ENS('Communes et EPCI'!Q10:Q33876;'Communes et EPCI'!C10:C33876;A3)				
A	B	C	D	E
2 EPCI :				
3 CC du Thouarsais				
4				
5				
6	Cheptel	<i>Source</i>	<i>Commentaire</i>	Temps passé à l'extérieur
7	[tête / an]	Recensement agricole 2010		[nombre de mois / an]
8	Vaches laitières	2 173,0	Hypothèse : "s" = 0	6
9	Vaches allaitantes	3213	Hypothèse : "s" = 0	6
10	Autres bovins	11933	Hypothèse : "s" = 0	6
11	Porcs	0	Hypothèse : "s" = 0	0
12	Ovins	5 467	Hypothèse : "s" = 0	9
13	Caprins	4488	Hypothèse : "s" = 0	1
14	Volailles	257330	Hypothèse : "s" = 0	0
15				
16	Population totale	284604		

Figure 13 : La première étape de l'outil : le calcul du nombre d'animaux d'élevage présent dans l'EPCI

Explication de la formule : Excel fait la somme des valeurs de la colonne Q (nombre de vaches laitières) de l'onglet précédent (voir la Figure 12), dont l'EPCI correspond à celui renseigné dans la cellule A3. Il va donc rechercher ici la « CC du Thouarsais » dans la colonne C de l'onglet précédent et faire la somme des vaches laitières présentes dans cet EPCI. Cette formule est réutilisée pour les autres catégories d'animaux.

Une base de données INSEE a été utilisée : celle-ci renseigne à quel EPCI appartient chaque commune. La base exploitée est celle de 2019, pour que la mise à jour des nouveaux EPCI soit bien faite.

J'ai choisi de réaliser une colonne supplémentaire dans la base agricole pour ajouter cette information sur l'EPCI (voir n°1 de la Figure 10). L'outil recherche les communes appartenant à l'EPCI, puis somme les quantités d'animaux associés, avec la formule Excel SOMME.SI.ENS (voir Figure 13).

Cependant, ces données INSEE correspondent aux communes de 2019 et non de 2010, comme celles de la base agricole. Les données des communes nouvelles, c'est-à-dire les communes qui ont fusionné, entre 2010 et 2019, ne sont donc pas correctement collectées par l'outil. Une vérification manuelle est ainsi nécessaire.

Un même outil de calcul a été fait à l'échelle départementale, celui-ci s'appuie sur le recensement agricole par département de 2010.

2.2.2. Les différentes étapes de calcul pour estimer les émissions

Une fois la base de données agricole par EPCI obtenue, le calcul continue pour estimer les émissions par poste de gestion des déjections (voir n°2 de la Figure 10).

Comme le montre la Figure 14 (au dos), il faut tout d'abord calculer les quantités d'azote excrétées au **bâtiment** par catégorie d'animal. Ensuite, on estime les quantités d'azote converties en azote ammoniacal, puis l'azote volatilisé en NH₃ au bâtiment, en multipliant la valeur obtenue à l'étape précédente par un facteur d'émission (FE). Enfin, on multiplie ce résultat par un facteur de conversion (le résultat précédent est exprimé en masse d'azote contenue dans les émissions de NH₃, il est donc nécessaire de convertir ces résultats à l'aide du ratio des masses molaires du NH₃ et de l'azote (17/14)).

Voici le détail des différents calculs pour l'étape bâtiment :

$$\text{Nex_bat [Kg N/an]} = \text{Cheptel [Tête/an]} \times \text{Facteur d'excrétion [Kg N/tête]} \\ \times \text{Part du temps au bâtiment [\%]}$$

$$\text{Nammo_ex_bat [Kg N-NH3/an]} = \text{Nex_bat [Kg N/an]} \times \text{Proportion} \\ \text{Nammo [Kg N-NH3/Kg N]}$$

$$\text{N-NH3_bat [Kg N-NH3/an]} = \text{Nammo_ex_bat [Kg N-NH3/an]} \times \text{FE_bat [Kg} \\ \text{N-NH3/ Kg N-NH3]}$$

$$\text{NH3_bat [Kg NH3/an]} = \text{N-NH3_bat [Kg N-NH3/an]} \times 17/14$$

Les mêmes calculs sont effectués pour la **pâture**, avec cette fois ci le temps passé au pâturage.

Comme on peut le voir dans la Figure 14, l'azote entrant au **stockage** provient du bâtiment. Les quantités d'azote et d'azote ammoniacale sont donc calculées en soustrayant de l'azote excrété et de l'azote ammoniacal excrété, les quantités d'azote ammoniacal volatilisé au bâtiment.

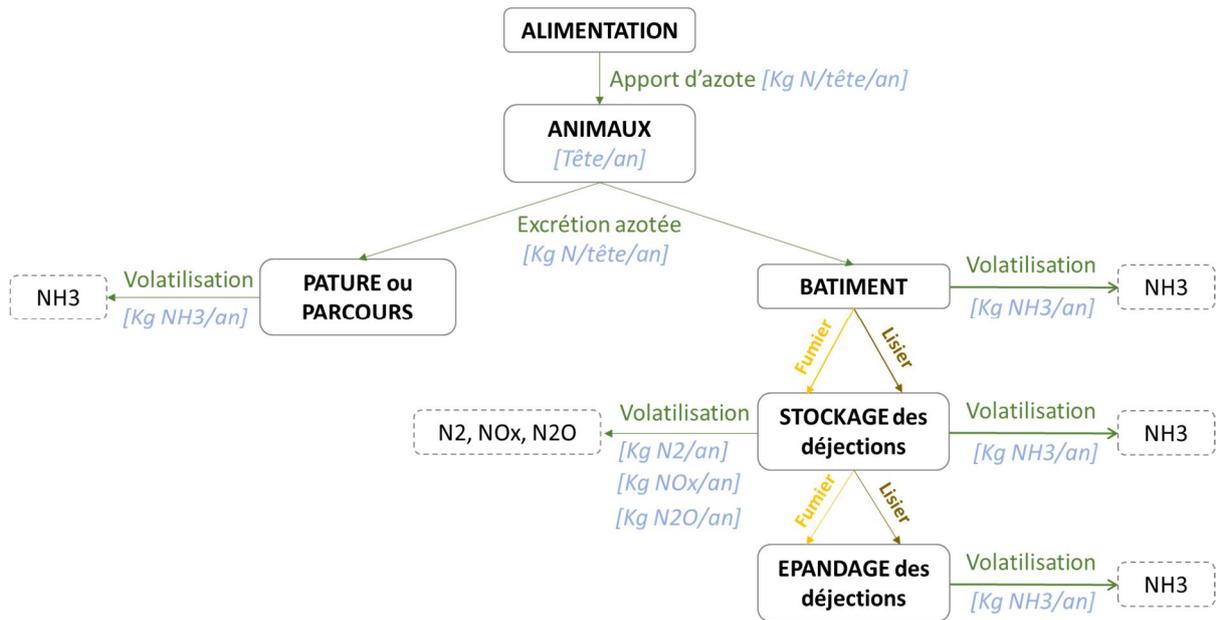


Figure 14 : Représentation simplifiée de la méthode d'estimation des émissions d'ammoniac liées à l'élevage

Source personnelle, 2019

Les émissions de NH₃ varient au stockage selon le type de gestion des déjections (lisier ou fumier). Les calculs vont séparer ces deux types de gestion comme on peut le voir dans le schéma de la Figure 14.

Pendant le stockage des **lisiers**, une partie de l'azote organique est minéralisé et rejoint le réservoir d'azote ammoniacal. Le facteur de minéralisation ajouté au calcul est celui par défaut proposé par le guide EMEP 2016 (=0.1). La part d'animaux gérée en lisier (*Pourcentage_lisier*) doit aussi être ajoutée au calcul.

Pour les **fumiers**, la paille favorise l'assimilation de l'azote par les microorganismes de la litière et peut limiter ainsi les émissions de NH₃. Les quantités de paille apportées par animal et par jour sont donc nécessaires au calcul (valeurs moyennes issues de l'Institut de l'Élevage, du Services Statistiques du Ministère de l'Agriculture et de l'Institut du porc). Cette quantité de paille est multipliée par un facteur d'immobilisation (correspondant à la fraction d'azote ammoniacal qui est immobilisée dans la matière organique).

Les émissions de NH₃ au stockage sont obtenues en multipliant les valeurs précédentes par les FE puis par le facteur de conversion.

Voici le détail des différents calculs pour l'étape stockage :

$$\begin{aligned} \text{Nammo_entrant_stock [Kg N-NH}_3\text{/an]} &= \text{Nammo_ex_bat} - \text{N-NH}_3\text{_bat} \\ \text{N_entrant_stock [Kg N/an]} &= \text{Nex_bat} - \text{N-NH}_3\text{_bat} \end{aligned}$$

$$\text{Lisier : Nammo_stock_l [Kg N-NH}_3\text{/an]} = (\text{Nammo_entrant_stock} \times \text{Pourcentage_lisier}) + (\text{Pourcentage_lisier} (\text{N_entrant_stock} - \text{Nammo_entrant_stock})) \times \text{Fmin}$$

$$\text{Fumier : Nammo_stock_f [Kg N-NH}_3\text{/an]} = (\text{Nammo_entrant_stock} \times (1 - \text{Pourcentage_lisier})) - \text{Paille [Kg de MS/an]} \times \text{Fimm [= 0.0067 Kg N-NH}_3\text{ /Kg de MS]}$$

$$\begin{aligned} \text{Lisier : N-NH}_3\text{_stock_l [Kg N-NH}_3\text{/an]} &= \text{Nammo_stock_l} \times \text{FE_stock_l} \\ \text{Fumier : N-NH}_3\text{_stock_f [Kg N-NH}_3\text{/an]} &= \text{Nammo_stock_f} \times \text{FE_stock_f} \end{aligned}$$

$$\text{NH}_3\text{_stock [Kg NH}_3\text{/an]} = (\text{N-NH}_3\text{_stock_l} + \text{N-NH}_3\text{_stock_f}) \times 17/14$$

Comme expliqué dans la partie 2.1.1, les émissions de N₂O, N₂ et NO_x ont aussi été prises en compte au stockage. Celles de N₂O sont estimées conformément au GIEC 2006, celles de N₂ et NO_x conformément à la méthodologie EMEP 2016 (European Environment Agency 2016).

On estime ensuite l'azote ammoniacal encore disponible pour **l'épandage** et on soustraie les différentes pertes d'azote ayant eu lieu au stockage. Les émissions de NH₃ au stockage sont obtenues en multipliant les valeurs précédentes par les FE puis par le facteur de conversion.

$$\text{N-NH}_3\text{_épan [Kg N-NH}_3\text{/an]} = \text{Nammo_épan_l} \times \text{FE_épan_l} + \text{Nammo_épan_f} \times \text{FE_épan_f}$$

$$\text{NH}_3\text{_épan [Kg NH}_3\text{/an]} = \text{N-NH}_3\text{_épan} \times 17/14$$

Une fois que cette chaîne de calcul a été mise en place sur le fichier Excel, celle-ci va être testée et comparée aux inventaires existants (voir n°3 de la Figure 10).

2.2.3. La comparaison et validation des résultats avec les données de l'INS et ATMO

L'INS produit des estimations d'émissions au niveau régionale, départementale et communale pour l'année 2012 (année la plus récente).

La première comparaison que j'ai choisi de faire a été celle à l'échelle départementale. Un outil de calcul a été créé en plus à cette échelle pour tester la méthode à un niveau plus important que celle de la commune ou de l'EPCI. Cette échelle plus grande permet de ne pas avoir de secret statistique et donc d'avoir une base de données agricole plus fiable. L'hypothèse que les résultats à l'échelle du département soient plus fiables et plus proches de ceux de l'INS que ceux à l'échelle de l'EPCI a donc été émise.

Une deuxième comparaison a été faite à l'échelle de l'EPCI, en sommant les valeurs de l'INS de l'échelle communale.

Les résultats de l'INS peuvent être obtenus par différents niveaux de précision de sources : les émissions peuvent par exemple être fournies pour la source « agriculture », ou alors plus précisément pour les sources « élevage » et « culture » ou bien encore plus précis avec les émissions par types d'animaux ou de cultures.

Pour faire la comparaison avec l'outil de calcul, j'ai souhaité utiliser premièrement le niveau de précision intermédiaire : les émissions totales en provenance de « l'élevage » aux échelle départementale, intercommunale et communale de l'INS.

Ensuite, la comparaison s'est faite avec les sources d'émissions plus précises : les émissions de chaque catégorie animale de l'INS à l'échelle de l'EPCI.

Après avoir comparé les résultats de l'outil de calcul à ceux de l'INS, mon maître de stage m'a conseillé de les comparer aussi aux résultats des ATMO régionales, car ces données servent de base à ATMOTERRA pour établir les diagnostics qualité de l'air des PCAET.

Cependant, les ATMO n'informent les EPCI que de leurs émissions à un niveau de source faible, c'est-à-dire seulement les émissions en provenance de « l'agriculture ». Or l'inventaire développé dans cette étude ne calcule que les émissions en provenance de l'élevage, et pas de l'agriculture en général.

Seules les données pour l'ATMO Hauts-de-France ont été trouvées avec un niveau de détail pouvant différencier « élevage » et « cultures ». Ainsi, la comparaison a été faite pour certains EPCI de la région Hauts-de-France, pour l'année 2010.

J'ai souhaité comparer de plus les valeurs de l'ATMO Hauts-de-France (2010) à l'échelle de l'EPCI à celles de l'INS (2012).

Une fois que ces différentes confrontations de résultats ont eu lieu, selon les différences de résultats obtenues, des erreurs de calculs ou de données peuvent être repérées. Des ajustements peuvent être faits pour que les valeurs comparées soient les plus proches possibles.

Les résultats de l'outil à l'échelle départementale et intercommunale ont donc été comparés à ceux de l'INS et pour les valeurs intercommunales aussi aux résultats de l'ATMO Hauts-de-France.

2.3. La méthodologie détaillée de la deuxième étape de l'outil

La méthodologie de la deuxième étape de l'outil, c'est-à-dire l'inventaire des émissions avec facteurs d'ajustement, va être détaillée dans la partie suivante. Cette deuxième version de l'outil permet d'évaluer l'impact global des actions de réduction des émissions, par ajout de facteurs d'ajustement (= 1 – facteurs de réduction). Une synthèse des actions de réduction des émissions réalisable dans les exploitations agricoles va tout d'abord être présentée.

2.3.1. Synthèse des différentes actions réalisables à l'échelle de l'exploitation agricole pour limiter les émissions d'ammoniac

Pour réduire les émissions d'ammoniac, des actions, réalisables pour différents types d'élevage (bovin, porcin, avicole), sont possibles à plusieurs niveaux : celui de l'alimentation du bétail, de la gestion des effluents au bâtiment, du stockage ou alors de l'épandage de ces effluents.

2.3.1.1. Réduction des émissions à la base en modifiant l'alimentation

Influencer l'alimentation et donc la quantité d'azote entrant conditionne ensuite les émissions à tous les postes d'élevage. Ainsi, modifier les modes d'alimentation pourrait permettre de réduire significativement ces émissions liées aux déjections animales. En effet, les animaux utilisent en moyenne moins de 30 % de l'azote contenu dans leur ration, 50 à 80 % de l'azote excrété se retrouve alors dans les urines et 20 à 50 % dans les fèces (MCCRORY et HOBBS 2001). Tout d'abord, pour les élevages porcins, réduire l'apport de protéines dans la ration permet de réduire les excréments azotés et de réduire le pH des déjections, ce qui diminue les pertes par volatilisation de l'ammoniac. En effet, en abaissant le taux protéique de l'aliment de 20 à 12 %, les émissions d'ammoniac sont diminuées de 63 %. De plus, cette modification du taux protéique du régime alimentaire n'affecte pas les performances zootechniques des animaux (PORTEJOIE, MARTINEZ, et LANDMANN 2002).

Pour les élevages bovins lait, une réduction du taux protéique de la ration aurait aussi un impact sur les émissions d'ammoniac. En effet, si le taux protéique est abaissé de 19 à 14 %, les émissions de NH₃ sont réduites de 63 % environ (2/3 d'émissions en moins) (FRANK, PERSSON, et GUSTAFSSON 2002).

Sur les élevages avicoles, peu d'études ont été réalisées.

Ainsi, pour limiter les émissions de NH₃, réduire le taux protéique de la ration des porcins et des bovins lait semble efficace : cela diminue d'environ 63 % les émissions totales.

2.3.1.2. Des mesures possibles au niveau du bâtiment

Pour ce qui est du poste bâtiment, dans les élevages porcins, les déjections des animaux passent à travers les caillebotis et restent soit en préfosse durant toute la durée de présence des animaux, soit elles sont évacuées fréquemment.

Une réduction de ce temps de présence des déjections au bâtiment limite la volatilisation de l'ammoniac. Si on utilise par exemple un raclage en V, la diminution de volatilisation de NH₃ peut être de 40 %. Pour les procédés gravitaires (sorties en fond de préfosse), la réduction est de 25 % en moyenne (RMT Elevages et environnement 2010).

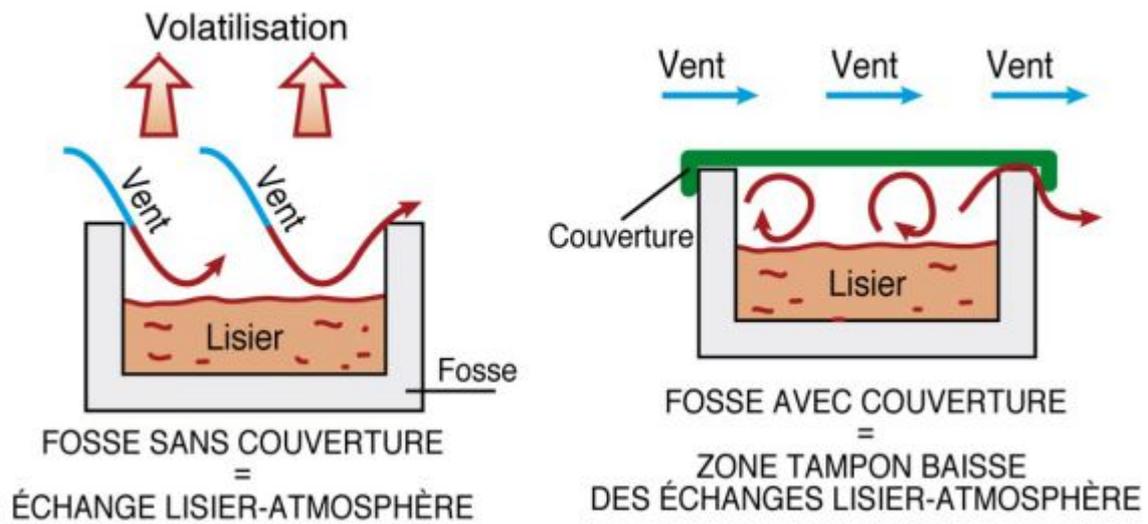


Figure 15 : Influence de la couverture des fosses sur les échanges lisier / atmosphère

Source : IFIP, 2000

Une autre technique permettant aussi de réduire ces émissions est le lavage d'air. Certains composants chimiques peuvent se solubiliser dans l'eau, passant ainsi de la forme gazeuse à liquide : l'air se décharge d'un certain nombre de particules au passage de l'eau. Cette méthode est déjà beaucoup utilisée aux Pays-Bas car les contraintes réglementaires y sont plus strictes. Avec un lavage d'air à l'acide, la réduction des émissions d'ammoniac dans ce pays peut atteindre 90 % (GUINGAND 2008), mais si la moyenne des valeurs de plusieurs publications dans des pays différents est faite, le résultat est plutôt de 35 % de réduction (DONG et al. 1997; GUINGAND et DEFORGES 2008; GUINGAND 2005).

D'autres auteurs, comme Lais et al. (1997), ont remarqué que l'efficacité du laveur d'air était liée à plusieurs paramètres, comme le temps de contact air - liquide de lavage, donc le débit d'air, ou alors même la qualité de l'eau de lavage (LAIS, HARTUNG, et JUNGLUTH 1997). Pour les élevages bovins, une méthode est d'enlever régulièrement les déjections des animaux, comme pour les élevages porcins ou avicoles.

D'autres types de méthode existent, comme le fait de modifier les caractéristiques physico-chimiques du lisier pour réduire la volatilisation de l'ammoniac. En effet, l'abaissement de la température du lisier de porcs, premièrement, a permis par exemple au Danemark de diminuer de 5 à 10 % pour chaque degré en moins la volatilisation du gaz (INERIS 2018).

Diluer le lisier avec de l'eau permettrait aussi de limiter les émissions (INERIS 2018; GROOT KOERKAMP 1994; GENNEN et LUXEN 2015). De même, abaisser le pH de l'effluent en ajoutant de l'acide sulfurique réduirait les émissions. Au Danemark, plusieurs exploitations ont diminué de 56 à 71 % leurs émissions d'ammoniac (INERIS 2018; JONASSEN 2016).

Pour limiter les émissions de NH₃ au bâtiment, différentes techniques peuvent être employées comme racler les déjections des bâtiments bovins, « laver » l'air de ces bâtiments ou même baisser la température ou le pH des lisiers.

2.3.1.3. Des actions à mettre en place pour le stockage du lisier et du fumier

Pour ce qui est du stockage, pour les élevages bovins, comme porcins ou avicoles, des solutions existent en termes de couverture des structures de stockage de lisier ou de fumier. Cette couverture permet de limiter le contact entre le lisier et l'atmosphère. Une zone tampon se crée entre la couverture et le lisier, et la volatilisation est maîtrisée (voir Figure 15).

Une première méthode pour les lisiers est la croûte naturelle, qui permet des réductions d'émissions jusqu'à 50 % (MARTIN et MATHIAS 2013). Celle-ci se forme naturellement à la surface du lisier à forte teneur en matière sèche. Pour maintenir cette croûte, il faut limiter le brassage et injecter les déjections sous la surface du lisier stocké.

Les autres couvertures (rigide, souple, flottante artificielle) peuvent permettre de diminuer les émissions en moyenne de 80 % (LOYON et al. 2007).

Le bâchage de tas de fumier peut aussi être réalisé, une réduction en moyenne de 60 % des émissions de NH₃ est obtenue (NEWELL PRICE et al. 2011)

Pour limiter les émissions de NH₃ au stockage, il peut être intéressant de couvrir les fosses, par une croûte naturelle ou par une couverture rigide, souple ou flottante.

Type d'action	Type d'élevage	Pourcentage de réduction des émissions de NH3	Auteurs
Réduire le taux protéique de la ration (de 20 à 12 %)	Porcin	63 % au total	Portejoie et al., 2002
Réduire le taux protéique de la ration (de 19 à 14 %)	Bovin lait	63 % au total	Frank et al., 2002
Réduire le temps de présence des déjections au bâtiment : raclage en V	Porcin	40 % au bâtiment	RMT Elevages et environnement, 2010
Réduire le temps de présence des déjections au bâtiment : procédés gravitaires	Porcin	25 % au bâtiment	RMT Elevages et environnement, 2010
Lavage d'air du bâtiment (à l'acide)	Porcin	35 % (moyenne de plusieurs publications) au bâtiment	Dong et al., 1997 Guingand, 2005 Guingand et Deforges, 2008
Abaissement de la température du lisier	Porcin	30 % au bâtiment	INERIS, 2018
Abaissement du pH du lisier (ajout d'acide sulfurique)	Porcin	56 à 71 % au bâtiment	INERIS, 2018 ; Johassen, 2016
Couverture de fosse de lisier : autres couvertures	Bovin, porcin et avicole	80 % au stockage	Loyon et al., 2007
Couverture de fosse de lisier : croûte naturelle	Bovin, porcin et avicole	50 % au stockage	Martin, Mathias, 2013
Bâchage de tas de fumier	Bovin, porcin et avicole	60 % au stockage	Newell Price J.P., 2011
Epanchage par pendillards à sabots trainés	Bovin, porcin et avicole	50 % à l'épandage	Martin, Mathias, 2013
Injection du lisier	Bovin, porcin et avicole	80 % à l'épandage	Martin, Mathias, 2013 RMT Elevages et environnement, 2010
Incorporation des déjections (dans la semaine de l'épandage, avec une charrue)	Bovin, porcin et avicole	5 à 10 % à l'épandage	Martin, Mathias, 2013
Incorporation des déjections (dans les 4h avec une charrue)	Bovin, porcin et avicole	70 à 95 % à l'épandage	Martin, Mathias, 2013

Tableau 3 : Récapitulatif du pourcentage de réduction des émissions d'ammoniac par action

Source personnelle, 2019

2.3.1.4. Un poste où les émissions peuvent être largement réduites : l'épandage

Pour limiter les émissions de NH_3 pendant l'épandage, il est nécessaire d'épandre durant des conditions météorologiques spécifiques, c'est-à-dire par temps frais (l'augmentation de la température favorise la volatilisation du gaz), ainsi que par temps pluvieux et peu venteux (GENNEN et LUXEN 2015).

Ensuite, certaines techniques d'épandage, diminuant la surface de contact entre l'effluent épandu et l'air, sont à privilégier. Un épandage en bandes par pendillards à sabots trainés permet par exemple de limiter de 50 % la volatilisation de l'ammoniac par rapport à un épandage par buses palettes. En effet, les pendillards et les sabots déposent le lisier sous le couvert végétal, en bandes étroites au niveau des racines, ce qui réduit l'interface lisier-atmosphère et permet de rendre l'utilisation du lisier plus facile pour la plante. Le sabot est applicable aux prairies et cultures arables à des stades précoces. Pour d'autres cultures, le pendillard à tubes trainés sans sabots peut être utilisé (MARTIN et MATHIAS 2013).

Le lisier peut aussi être injecté, c'est-à-dire qu'il est déposé dans une cavité formée sous la surface du sol. L'injecteur ouvre des sillons verticaux dans le sol, dans lequel le lisier est déposé, et ces sillons peuvent être ensuite refermés. L'efficacité de la réduction des émissions augmentent avec la profondeur de l'injection (efficace surtout à partir de 5 cm). La diminution de la volatilisation est d'environ 80 % par rapport à un épandage par buses palettes (RMT Elevages et environnement 2010).

Si le lisier ou le fumier est épandu, il peut ensuite être incorporé, c'est-à-dire faire entrer dans le sol cet effluent qui a été répandu en surface, afin de réduire le temps de contact entre l'air et le produit. Différents outils du travail du sol peuvent être utilisés selon le type de sol, et la charrue semble être l'outil le plus efficace (par rapport à la herse à disques ou au déchaumeur). Cependant, l'efficacité repose surtout sur le délai entre l'épandage et l'incorporation. En effet, pour une incorporation avant 4h, avec charrue, les émissions peuvent être réduites de 70 à 95 %, alors que pour une incorporation seulement dans la semaine, la réduction est de 5 à 10 % (MARTIN et MATHIAS 2013).

Pour limiter les émissions de NH_3 à l'épandage, il pourrait être intéressant de limiter le temps de contact des effluents avec l'air, en les incorporant le plus rapidement possible, et aussi limiter la surface de contact avec l'air en utilisant un matériel limitant cette surface comme les pendillards à sabots trainés.

Les actions possibles à mettre en place et leur pourcentage de réduction des émissions d'ammoniac sont récapitulées dans le Tableau 3.

Après avoir vu certaines actions permettant la réduction des émissions d'ammoniac à l'échelle de l'exploitation agricole, l'intégration de ces mesures dans l'outil de calcul va être expliqué, pour pouvoir quantifier les réductions possibles à l'échelle de l'EPCI.

Enfouissement dans un délai entre 12 et 24h	Facteur de réduction à l'épandage [%]	Facteur d'ajustement [%]	Source
Vaches laitières	25%	75%	Martin, Mathias, 2013
Vaches allaitantes	25%	75%	Martin, Mathias, 2013
Autres bovins	25%	75%	Martin, Mathias, 2013
Porcs (porcelets +porcs)	25%	75%	Martin, Mathias, 2013
Ovins (agnelles + brebis)	25%	75%	Martin, Mathias, 2013
Caprins	25%	75%	Martin, Mathias, 2013
Volailles	25%	75%	Martin, Mathias, 2013
Utilisation de pendillards à sabots traînés pour épandre			
	Facteur de réduction à l'épandage [%]	Facteur d'ajustement [%]	Source
Vaches laitières	50%	50%	Martin, Mathias, 2013
Vaches allaitantes	50%	50%	Martin, Mathias, 2013
Autres bovins	50%	50%	Martin, Mathias, 2013
Porcs (porcelets +porcs)	50%	50%	Martin, Mathias, 2013
Ovins (agnelles + brebis)	50%	50%	Martin, Mathias, 2013
Caprins	50%	50%	Martin, Mathias, 2013
Volailles	50%	50%	Martin, Mathias, 2013
Abaissement de la température du lisier de porc			
	Facteur de réduction au bâtiment [%]	Facteur d'ajustement [%]	Source
Vaches laitières			
Vaches allaitantes			
Autres bovins			
Porcs (porcelets +porcs)	30%	70%	INERIS, 2018
Ovins (agnelles + brebis)			
Caprins			
Volailles			

Tableau 4 : Aperçu de l'onglet Excel de l'outil de calcul avec les facteurs d'ajustement
Source personnelle, 2019

Mesures de réduction des émissions					
A compléter par des valeurs	Traitement de l'air pour porcin	Réduction du temps de présence des déjections au bâtiment : raclage en V pour porcin	Réduction du temps de présence des déjections au bâtiment : procédés gravitaires pour porcin	Couverture des fosses à lisier par croûte naturelle	Couverture des fosses à lisier (autres que naturelle)
	[% du cheptel]	[% du cheptel]	[% du cheptel]	[% des lisiers stockés dans des fosses couvertes par croûte naturelle]	[% des lisiers stockés dans des fosses couvertes]
Vaches laitières				10%	
Vaches allaitantes				10%	
Autres bovins				10%	
Porcs	2%				
Ovins					8%
Caprins					
Volailles					

Tableau 5 : Aperçu de l'onglet Excel de l'outil de calcul où l'utilisateur entre les mesures mises en place

Source personnelle, 2019

2.3.2. L'intégration des facteurs d'ajustement aux calculs

Pour prendre en compte les mesures de réduction dans le calcul de quantités d'ammoniac émises, il est nécessaire d'ajouter les pourcentages de réduction cités dans la partie précédente (voir Tableau 4).

Ils sont ajoutés dans la partie du calcul correspondante : par exemple, la réduction des émissions suite à la mise en place d'un laveur d'air va se faire seulement au bâtiment, le facteur de réduction va donc être ajouté au calcul des émissions au bâtiment.

Pour intégrer cette réduction au calcul, il est nécessaire de savoir le pourcentage de bâtiment dans l'EPCI utilisant cette technique : cette valeur représente l'ambition du plan d'actions du PCAET, c'est-à-dire pour l'exemple proposé, si l'ambition est d'avoir 2 % des bâtiments avec des laveurs d'air ou 6 %. C'est donc à l'utilisateur de l'outil de rentrer ces valeurs (voir Tableau 5).

Le pourcentage de réduction est ensuite ajouté dans la formule sous la forme d'un facteur d'ajustement (FA), qui est égale à 1 – le facteur de réduction, pour pouvoir le multiplier aux émissions de base et au pourcentage utilisant la technique.

$$E_{\text{reduction}} = E_{\text{de_base}} \times \% \text{ utilisant la technique} \times FA + ((1 - \% \text{ utilisant la technique}) \times E_{\text{de_base}})$$

Maintenant que la méthodologie de création de cet inventaire d'émissions a été présentée, les résultats obtenus vont être détaillés dans la partie suivante.

	Outil de calcul, 2010	INS, 2012	Pourcentage de différence
Morbihan	1,98E+07	1,88E+07	5%
Manche	1,54E+07	1,65E+07	-7%
Vendée	1,47E+07	1,53E+07	-4%
Deux-Sèvres	8,92E+06	1,00E+07	-11%
Nord	8,72E+06	8,65E+06	1%
Haute-Vienne	6,07E+06	6,11E+06	-1%
Vosges	3,95E+06	5,22E+06	-24%
Vaucluse	2,03E+05	2,63E+05	-23%

Tableau 6 : Comparaison des valeurs d'émissions de NH₃ de l'outil et de l'INS pour certains départements

Source personnelle, 2019

	Bovins	Porcs	Ovins	Caprins	Volailles	Autres animaux (chevaux, ânes, ...)
Morbihan	-77%	154%	-73%	-21%	-51%	-100%
Manche	-13%	128%	-70%	-84%	-28%	-100%
Vendée	17%	89%	-80%	-68%	-38%	-100%
Deux-Sèvres	25%	120%	-82%	-75%	-42%	-100%
Nord	-18%	140%	206%	-72%	-13%	-100%
Haute-Vienne	27%	46%	-82%	-77%	10%	-100%
Vosges	-21%	51%	31%	-77%	-58%	-100%
Vaucluse	35%	446%	152%	-77%	19%	-100%
Moyenne des écarts	-3%	147%	0%	-69%	-25%	-100%

Tableau 7 : Pourcentages d'écart des valeurs de l'outil et de l'INS par catégorie animale et département

Source personnelle, 2019

3. Quantification des émissions territoriales d'ammoniac et des réductions possibles de ces émissions

Les résultats obtenus après utilisation de l'outil vont être présentés, ainsi que la comparaison des valeurs avec les inventaires existants.

3.1. Estimation des émissions d'ammoniac et validation de la méthodologie

Les résultats de la première étape de l'outil, c'est-à-dire sans les facteurs de réduction, seront tout d'abord présentés, avant d'être discuté ensuite.

3.1.1. Une estimation des émissions de NH₃ à l'échelle départementale qui valide la méthode

Comme expliqué dans la partie 2.2.3, la méthode de l'outil de calcul a été réalisée pour l'échelle départementale, afin de pouvoir la tester sans avoir de données erronées (à cause du secret statistique déjà évoqué plus haut).

Les valeurs d'émissions provenant de départements avec des caractéristiques agricoles différentes, avec une implantation géographique répartie sur toute la France, ont été ainsi testées.

J'ai choisi le département du Morbihan car il comporte de nombreux élevages de porcs et de vaches, de la Manche pour ses élevages de vaches, des Deux-Sèvres pour ses élevages de chèvres, de la Haute-Vienne pour son nombre élevé de brebis et de la Vendée pour ses volailles et bovins. Les Vosges ont été choisies pour représenter la partie Est de la France, et le département du Nord pour représenter le Nord du pays, étant donné que les autres départements choisis se situent tous à l'Ouest. Le Vaucluse a aussi été choisi car il est composé de peu d'élevages.

On observe des résultats qui ont entre 1 et 24 % d'écart avec les données de l'INS (voir Tableau 6). Ces résultats sont pour la plupart inférieurs à ceux fournis par l'INS. Ainsi, même s'il n'y pas de données indisponibles dû au secret statistique, des écarts entre les valeurs sont présents. D'autres facteurs entrent donc en jeu pour expliquer ces différences.

Pour mieux comprendre pourquoi il y a certaines différences et d'où elles viennent, mon maître de stage m'a conseillé de faire une comparaison par catégorie animale (voir Tableau 7).

On observe que les émissions des bovins sont en moyenne proche de celles de l'INS, avec quelques variations selon les départements. Pour les porcs, on observe des résultats constamment supérieurs à ceux de l'INS. Pour les caprins, les résultats sont à l'inverse toujours inférieurs à ceux de l'INS. Enfin, pour les ovins et les volailles, les écarts varient, avec globalement des valeurs inférieures.

Pour les volailles, cette différence peut s'expliquer du fait que la base AGRESTE ne comptabilise que les poulets de chair et les coqs, et pas les autres volailles comme le fait l'INS, cela pourrait potentiellement expliquer ces valeurs inférieures.

Pour les autres catégories, il n'y a pas d'explications directes : les sources de données agricoles et les facteurs d'émissions, temps passé au pâturage, etc., ne sont pas les mêmes, étant donné que l'outil comptabilise les émissions pour l'année 2010 et l'INS pour l'année 2012.

	Outil de calcul, 2010	INS, 2012	Pourcentage de différence
CC Questembert Communauté	9,45E+05	1,10E+06	-14%
CC du Vimeu	2,33E+05	3,50E+05	-33%
CC Gartempe - Saint-Pardoux	2,98E+05	2,93E+05	2%
CC du Sud-Estuaire	2,90E+05	2,54E+05	14%
CC du Sud Avesnois	1,54E+05	2,09E+05	-26%
CC Caux - Austreberthe	9,60E+04	1,48E+05	-35%
CC des Ballons des Hautes-Vosges	3,59E+04	5,85E+04	-39%
CC du Bassin de Marennes	5,56E+04	5,27E+04	6%

Tableau 8 : Comparaison des valeurs d'émissions de NH₃ pour certaines communautés de communes

Source personnelle, 2019

Comme la méthodologie précise utilisée par l'INS n'est pas connue, il est difficile d'expliquer clairement ces différences.

De plus, l'INS comptabilise certaines émissions en plus : celles provenant des chevaux, des ânes et des mulets, etc. Ainsi, même si les émissions des porcins sont surestimées, celles des caprins et des volailles, ainsi que celles non estimées pour les chevaux et ânes « équilibrent » les moyennes au final (voir dernière colonne du Tableau 7).

L'estimation des émissions des chevaux et des ânes n'est pas possible comme ces animaux ne sont pas quantifiés dans la base agricole.

Au final, la méthodologie de l'outil permet d'approcher relativement précisément les résultats de l'inventaire national déjà réalisé. Les incertitudes sur les données sources sont telles que le résultat final est acceptable. Les résultats de l'INS comportent eux aussi des incertitudes.

La méthodologie de l'étape 1 est donc validée.

3.1.2. Une quantification des émissions de NH₃ à l'échelle de l'EPCI

L'échelle intéressante pour cette étude est celle de l'intercommunalité, pour pouvoir utiliser l'outil d'aide à la décision dans l'élaboration des PCAET.

Les résultats obtenus par cet inventaire vont aussi être comparés à ceux de l'INS. Pour ce faire, une addition des valeurs d'émissions produits par l'INS pour chaque commune de l'EPCI choisi est faite, comme expliqué dans la partie 2.2.3.

Les EPCI que j'ai choisis pour effectuer la comparaison sont :

- La Communauté de Communes de Sud Estuaire, en Loire-Atlantique
- La Communauté de Communes du Bassin de Marennes, en Charente-Maritime
- La Communauté de Communes Questembert Communauté, dans le Morbihan
- La Communauté de Communes des Ballons des Hautes-Vosges, dans les Vosges
- La Communauté de Communes de Caux – Austreberthe, en Seine-Maritime
- La Communauté de Communes de Gartempe – Saint-Pardoux, en Haute-Vienne
- La Communauté de Communes du Sud Avesnois, dans le Nord
- La Communauté de Communes du Vimeu, dans la Somme

Toutes les communautés de communes (CC) ont aussi été choisies pour leur nombre assez faible de communes (de 5 à 26), afin de limiter le temps passé à additionner les données communales de l'INS. Elles ont aussi été choisies car elles n'ont pas ou peu de communes nouvelles, l'utilisation de l'outil est donc simplifiée.

Par ailleurs, cet échantillon de CC a été choisi de manière à représenter le plus possible les différents territoires français.

Deux CC ont aussi été choisies car elles appartiennent à la Région Hauts-de-France et les données d'ATMO sont disponibles pour cette région, permettant une comparaison conjointe avec les données INS et ATMO.

Le Tableau 8 présente les comparaisons. On remarque que les résultats obtenus avec l'outil de calcul sont pour 5 communes sur 8, inférieurs à ceux de l'INS.

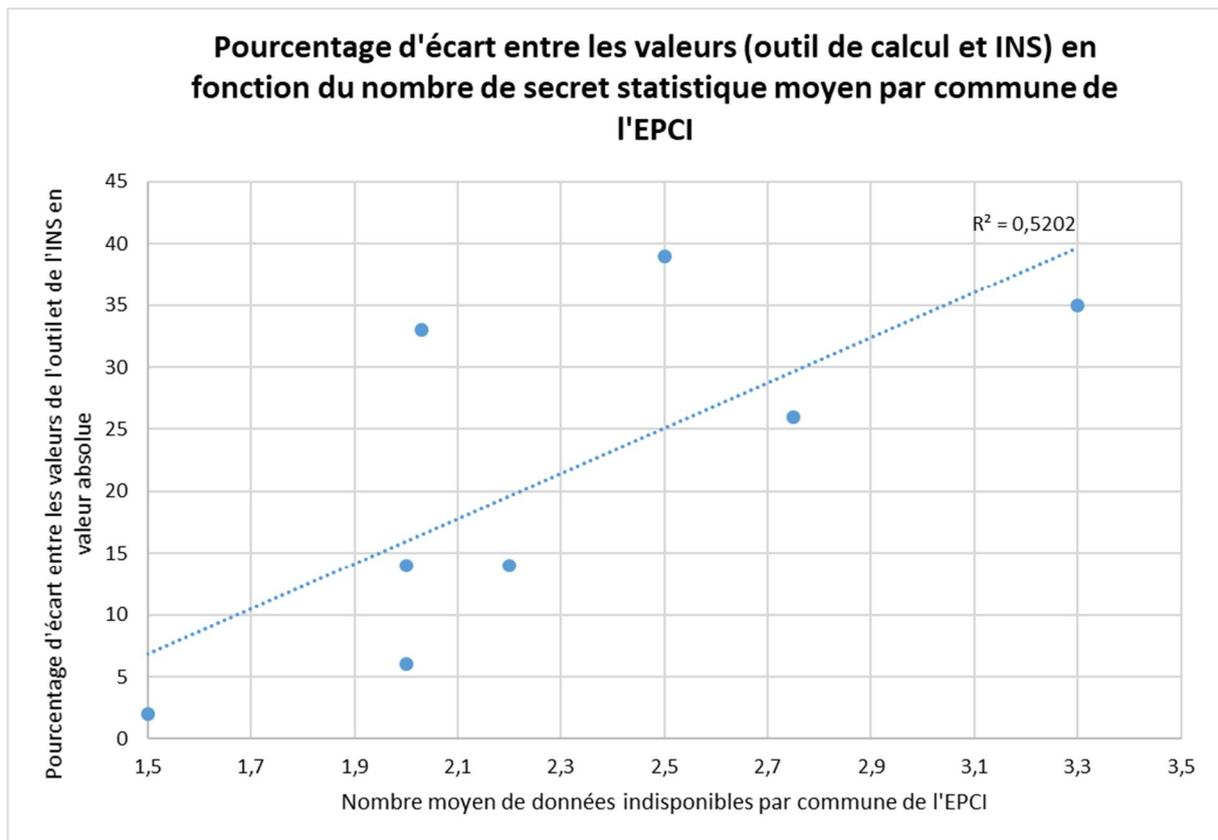


Figure 16 : Pourcentage d'écart entre les valeurs de l'outil et de l'INS en fonction du nombre de secret statistique moyen par commune de l'EPCI

Source personnelle, 2019

Une partie de la différence peut peut-être s'expliquer par le manque de données dû au secret statistique agricole.

Pour vérifier l'hypothèse que j'ai faite de « plus il y a de secret statistique, plus il y a d'écart entre les valeurs », la Figure 16 a été réalisée. Elle représente les pourcentages de différences (voir les valeurs du Tableau 8) en valeur absolue, par rapport au nombre de valeurs indisponibles (à cause du secret statistique) moyen par commune de l'EPCI, pour l'échantillon des 8 CC.

On observe que globalement, plus il y a de valeurs indisponibles liées au secret statistique, plus les écarts entre les résultats de l'outil et de l'INS sont importants. Cependant, la taille de l'échantillon étant très petit, il est difficile de pouvoir tirer des conclusions.

Le coefficient de détermination R^2 est de 0.52, ce qui montre une régression moyenne. Ainsi, d'autres facteurs entrent en jeu dans les écarts observés, comme nous avons pu le voir à l'échelle départementale.

Les valeurs obtenues pour les collectivités des Hauts-de-France (Sud Avesnois et Vimeu) ont aussi été comparées à celles de l'ATMO Hauts-de-France de 2010. Des résultats plus similaires ont été trouvés :

- Pour la CC du Sud Avesnois, la valeur de l'outil est 6% supérieure à celle de l'ATMO
- Pour la CC du Vimeu, la valeur de l'outil est 3% supérieure à celle de l'ATMO.

Les valeurs proviennent de la même année (2010), ce qui peut être une première raison de ces différences plus faibles. De plus, la méthodologie employée est la même.

Une comparaison entre les résultats de l'INS et de l'ATMO Hauts-de-France pour l'année 2012 a ensuite été faite. On obtient pour les deux communautés de communes (Sud Avesnois et Vimeu) des différences de 49 % et 61 %. Ainsi, les valeurs de ces deux inventaires sont encore plus éloignées qu'avec celles de l'outil de calcul. On remarque donc qu'il est difficile d'estimer ces émissions et que les valeurs obtenues entre 2 organismes peuvent être assez différentes.

L'outil de calcul créé estime donc les émissions d'ammoniac pour l'année 2010 de manière assez proche de celles de l'INS (de 2 à 39 % d'écart pour cet échantillon) et semblent s'approcher encore plus de valeurs obtenues par l'ATMO Hauts-de-France notamment (3 et 6% pour les 2 EPCI testés).

	CC Questembert Communauté	CC du Vimeu
Vaches laitières	22,2%	40,1%
Autres bovins	17,9%	59,8%
Porcins	44,0%	0,0%
Ovins	0,0%	0,1%
Caprins	0,0%	0,0%
Volailles	15,9%	0,0%
Total élevage [Kg NH3 an]	945358,9	232734,9

Tableau 9 : Répartition des émissions d'ammoniac par catégorie animale estimées par l'outil de calcul pour l'année 2010, pour 2 EPCI

Source personnelle, 2019

CC du Vimeu	100% des élevages bovins	5% des élevages bovins
Couverture des fosses à lisier par croûte naturelle	0,97%	0,05%
Couverture des fosses à lisier (autres que naturelle)	1,56%	0,08%
Couverture des structures de stockage du fumier	2,18%	0,11%
Enfouissement / injection directement lors de l'épandage	24%	1,19%
Utilisation de pendillards à sabots traînés pour épandre	14,85%	0,74%
Enfouissement dans un délai entre 12 et 24h	7,42%	0,37%

Tableau 10 : Estimation des pourcentages de réduction des émissions d'ammoniac selon les actions réalisées pour la CC du Vimeu

Source personnelle, 2019

3.2. Quantification des réductions possibles des émissions selon les actions du PCAET

Des estimations des réductions possibles des émissions d'ammoniac grâce à certaines actions envisagées dans les PCAET ont été réalisées.

3.2.1. Des actions permettant de fortes réductions

J'ai choisi deux collectivités pour tester cet outil d'aide à la décision, il s'agit de :

- La CC Questembert Communauté, car elle comporte un nombre important d'élevages porcins et de volailles par rapport aux autres EPCI
- Et la CC du Vimeu, car les émissions d'ammoniac sur ce territoire proviennent presque totalement des élevages bovins

Comme les élevages bovins sont la source de 99.9 % des émissions d'ammoniac pour la CC du Vimeu (voir Tableau 9), des mesures de réductions pour ces élevages-là vont être testées.

Certaines mesures pour réduire les émissions d'ammoniac au stockage ont tout d'abord été testées (voir Tableau 10) (comparaison action par action).

Si 100 % des élevages de bovins de cet EPCI possédaient des fosses à lisier couvertes par une croûte naturelle, les émissions totales de la collectivité diminueraient d'environ 0.97 % (estimation de l'outil de calcul).

La réduction est plus forte si le fumier est couvert car il y a plus de fumier en élevage bovin.

Ensuite, des mesures à l'épandage ont été testées. Si 100 % des éleveurs bovins du territoire enfouissaient leurs effluents dans les 12 à 24h après épandage, une réduction d'environ 7.42 % seraient faite sur les émissions d'ammoniac. Et si ces effluents sont enfouis directement après épandage, on obtient jusqu'à 24 % de réduction sur les émissions totales du territoire.

L'utilisation d'un matériel comme les pendillards réduit aussi de 14.85 % ces émissions.

On observe que la diminution des émissions est plus importante sur l'étape épandage, et surtout si l'action permet de réduire le plus possible le temps et la surface de contact entre l'air et l'effluent. Ceci est dû aux facteurs d'émissions différents, mais aussi au fait que les émissions sont de l'ordre de 30 % au poste épandage pour cet EPCI, et de 22 % au poste stockage.

Ainsi, il est aussi intéressant de savoir à quel poste les émissions sont les plus importantes pour savoir quelles mesures entreprendre.

De plus, il est nécessaire de savoir quel type d'élevage émet le plus pour savoir aussi quelles mesures mettre en place.

En effet, pour la CC Questembert Communauté, des actions sont testées pour les élevages porcins (44 % des émissions, voir Tableau 9) et bovins (40 % des émissions) et on remarque que les mêmes mesures sont plus efficaces pour les élevages porcins, étant donné qu'ils sont plus nombreux sur le territoire (voir

Tableau 11 au dos). Ainsi, si 5 % des éleveurs de porcs de l'EPCI utilisaient des pendillards pour épandre, les émissions d'ammoniac réduiraient d'environ 0.42 %, alors que pour 5 % des élevages de bovins, on obtient 0.3 % de diminution.

Ainsi, les mesures sont à mettre en place selon les types d'élevage présents sur le territoire et selon les émissions aux différents postes de gestion des déjections.

CC Questembert Communauté	100% des élevages bovins	5% des élevages bovins	100% des élevages porcins	5% des élevages porcins
Couverture des fosses à lisier par croûte naturelle	0,41%	0,02%	2,40%	0,12%
Couverture des fosses à lisier (autres que naturelle)	0,65%	0,03%	3,84%	0,19%
Couverture des structures de stockage du fumier	0,86%	0,04%	0,00%	0,00%
Enfouissement / injection directement lors de l'épandage	9,54%	0,48%	13,50%	0,68%
Utilisation de pendillards à sabots traînés pour épandre	5,96%	0,30%	8,44%	0,42%
Enfouissement dans un délai entre 12 et 24h	2,98%	0,15%	4,22%	0,21%

Tableau 11 : Estimation des pourcentages de réduction des émissions d'ammoniac selon les actions proposées pour la CC Questembert Communauté

Source personnelle, 2019

CC Questembert Communauté	100% des élevages porcins	5% des élevages porcins
Réduction du taux de protéine de la ration	27,69%	1,38%
Enfouissement dans un délai < 4h	11,81%	0,59%

Tableau 12 : Comparaison des réductions d'émissions de deux mesures à des postes différents de gestion des déjections, pour la CC Questembert Communauté

Source personnelle, 2019

CC Questembert Communauté	Raclage en V	Couverture des fosses à lisier (autres que naturelle)	Enfouissement dans un délai entre 12 et 24h	Traitement de l'air pour porcin	1 mois supplémentaire de pâturage
25 exploitations de porcs	3,9%				
50 exploitations de porcs		3,8%	4,2%	4,0%	
200 exploitations ayant des vaches laitières					3,6%

Tableau 13 : Exemples d'actions à mettre en place au niveau de la CC Questembert Communauté pour approcher ou atteindre les objectifs PREPA 2020-2024

Source personnelle, 2019

Or, même si c'est au poste épandage que les émissions sont les plus importantes, il peut être intéressant de mettre en place des mesures réduisant « à la source » le plus possible les émissions. Ainsi, pour la CC Questembert Communauté, une mesure de réduction lors de l'alimentation et une lors de l'épandage ont été testées, sachant que celles-ci ont des facteurs de réduction équivalents.

Le Tableau 12 présente les résultats et confirme qu'il peut être plus intéressant de faire des actions limitant la volatilisation de l'ammoniac le plus en amont possible de la chaîne de l'azote.

Ainsi, pour réussir à réduire ses émissions de NH₃ de 4% (objectif PREPA 2020-2024 par rapport à 2005), la CC Questembert Communauté pourrait par exemple dans son PCAET :

- Encourager / subventionner la mise en place de racleurs en V dans 25 exploitations de porcs (50 % des exploitations du territoire) : environ **3.9 %** de réduction des émissions d'ammoniac
- Ou favoriser la mise en place de couvertures de fosses à lisier pour que toutes les exploitations de porcs du territoire aient ce dispositif : environ **3.8 %** de diminution des émissions de NH₃
- Ou sensibiliser sur les avantages de l'enfouissement des effluents après épandage pour que les exploitants de porcs enfouissent tous au maximum 24h après épandage : la réduction des émissions d'ammoniac est estimée à **4.2 %**
- Ou même encourager / subventionner la mise en place de laveurs d'air dans tous les bâtiments porcins de l'EPCI : réduction des émissions de NH₃ d'environ **4 %**
- Ou encourager le pâturage pour que les vaches laitières du territoire ne passent pas en moyenne 6 mois à l'extérieur mais 7 mois : réduction estimée de **3.6 %** (voir Tableau 13).

Si la collectivité ajoute à son plan d'actions une des propositions ci-dessus, les objectifs PREPA sembleraient être atteints, ou très approchés (même si avec l'outil de calcul les estimations des émissions sont de l'année 2010 et non l'année de référence 2005).

Pour réduire les émissions de NH₃ de 4 % entre 2005 et 2024 d'un EPCI, une seule mesure de réduction peut être choisie, elle doit cependant être appliquée sur un nombre important d'exploitation. Pour choisir au mieux les mesures adaptées, il est nécessaire de savoir quels types d'élevages émettent le plus sur le territoire.

Pour atteindre l'objectif, il peut être plus facile de cumuler les bonnes pratiques pour une partie des exploitants que de faire une seule mesure pour 100 % des agriculteurs.

Cependant, certaines mesures peuvent être difficiles à mettre en place à cause de leur coût élevé, ou à cause notamment de freins techniques par exemple, Ainsi, les principaux freins des actions de réduction exposées dans la partie 2.3.1 vont être présentés dans la partie suivante.

Type d'action	Type d'élevage	Coût moyen	Auteurs
Réduire le taux protéique de la ration (de 20 à 12 %)	Porcin	<i>Aucune information : cependant, un coût qui sera négatif car on limite l'apport d'aliment</i>	Portejoie et al., 2002
Réduire le taux protéique de la ration (de 19 à 14 %)	Bovin lait	Economie de 11,6 € / vache / an	Frank et al., 2002 ADEME, 2019
Réduire le temps de présence des déjections au bâtiment : raclage en V	Porcin	5,42 € / place / an	Martin, Mathias, 2013
Réduire le temps de présence des déjections au bâtiment : procédés gravitaires	Porcin	0 € / place / an	Martin, Mathias, 2013
Lavage d'air du bâtiment (à l'acide)	Porcin	30 - 50 € / place de porc charcutier ou 1,66 € / place / an	Guingand, 2008 ; Martin, Mathias, 2013
Abaissement de la température du lisier	Porcin	0 à 6,8 € / place / an	INERIS, 2018
Abaissement du pH du lisier (ajout d'acide sulfurique)	Porcin	1,4 à 7 € / place / an	INERIS, 2018 ; Jonassen, 2016
Couverture de fosse de lisier : autres couvertures	Bovin, porcin et avicole	Bâche camion : 12,6 à 37,5 € / UGB / an Couverture souple flexible : 5,46 € / place porc charcutier Couverture flottante : 2,25 € / place porc charcutier Pour les volailles : 0,12 € / place / an	Martin, Mathias, 2013
Couverture de fosse de lisier : croûte naturelle	Bovin, porcin et avicole	0 €	Martin, Mathias, 2013
Epanchage par pendillards à sabots trainés	Bovin, porcin et avicole	Bovin : 1,46 € / UGB / an Porcin : 0,16 € / place Avicole : 0,02 € / place / an	Martin, Mathias, 2013
Injection du lisier	Bovin, porcin et avicole	Bovin : 2,03 € / UGB / an Porcin : 1,7 € / place Avicole (canard) : 0,02 € / place / an	Martin, Mathias, 2013
Incorporation des déjections (dans la semaine de l'épandage, avec une charrue)	Bovin, porcin et avicole	Bovin : 12,13 et 6,27 € / UGB / an (respectivement fumier et lisier) Porcin : 1,02 et 0,89 € / place / an Avicole : 0,02 et 0,08 € / place / an	Martin, Mathias, 2013
Incorporation des déjections (dans les 4h avec une charrue)	Bovin, porcin et avicole	Bovin : 12,13 et 6,27 € / UGB / an (respectivement fumier et lisier) Porcin : 1,02 et 0,89 € / place / an Avicole : 0,02 et 0,08 € / place / an	Martin, Mathias, 2013

Tableau 14 : Coût moyen des différentes mesures pour réduire les émissions de NH₃*Source personnelle, 2019*

3.2.2. Des actions qui peuvent être difficiles à mettre en place sur l'exploitation agricole

3.2.2.1. Des freins tout de même présents et limitant le développement de telles actions

Un premier frein important est la configuration des bâtiments déjà présents. En effet, certaines techniques ne peuvent se mettre en place que sur des bâtiments neufs ou en rénovation, comme le raclage en V. De même, selon la configuration du bâtiment, la méthode du lavage d'air peut ne pas se faire (nécessité d'une centralisation de l'extraction de l'air) (GUINGAND 2008). Pour ce qui est de l'épandage, de nombreuses techniques nécessitent des sols qui ne soient pas pierreux ainsi que des sols qui ne soient pas en pente, comme pour la méthode d'injection ou d'épandage par pendillards avec sabots traînés. Ces techniques ne peuvent aussi fonctionner que si le lisier utilisé n'est pas trop visqueux ou contenant de grandes quantités de matériaux fibreux. Il peut de plus être difficile pour les petites exploitations agricoles de mettre en place une technique d'incorporation après épandage car cela nécessite de la main d'œuvre et du matériel en plus (MARTIN et MATHIAS 2013).

Des obstacles sont aussi identifiés pour mettre en œuvre l'action de réduction des apports de protéines. En effet, il conviendrait d'ajuster au mieux les besoins en azote de l'animal avec les apports dans l'alimentation. Or, pour le cas des concentrés qui sont autoproduits sur l'exploitation, il est difficile d'obtenir une composition précise et pour les cas des fourrages, leur composition est très variable selon le stage de récolte, la météo, etc. De plus, les quantités exactes ingérées par l'animal ne sont pas quantifiées et il est aussi difficile de contrôler les apports d'azote alimentaire lors du pâturage (MARTIN et MATHIAS 2013).

Un autre frein existant concerne le danger de certaines manipulations, notamment de l'acide lors de la méthode de l'acidification des lisiers. C'est pour cela que certains systèmes totalement automatisés de distribution d'acide et de décharge du lisier existent (INERIS 2018).

Certaines des mesures proposées nécessitent des investissements assez conséquents, comme par exemple la mise en place d'un laveur d'air. De même pour la pose d'une couverture de fosse, la principale difficulté est le coût de cette installation. Pour ce qui est des techniques d'épandage, l'injection du lisier nécessite un prix d'achat du matériel qui est élevé, et pour l'incorporation, le temps associé sera augmenté et ainsi le coût s'élèvera aussi (RMT Elevages et environnement 2010). Le Tableau 14 présente les coûts moyens de chaque technique.

Certains freins sociologiques limitent la mise en place d'actions, comme par exemple pour la méthode de la croûte naturelle : la tendance depuis plusieurs années est au brassage des fosses, il est ainsi difficile de faire changer les mentalités et de développer cette action (MARTIN et MATHIAS 2013).

Un autre aspect qui peut entrer en contradiction avec certaines méthodes de réduction des émissions d'ammoniac, ce sont les performances zootechniques. En effet, abaisser la température du lisier par exemple, et donc du bâtiment, peut avoir un impact sur le bien-être des animaux ainsi que sur leurs performances zootechniques (GROOT KOERKAMP 1994; INERIS 2018).

La mise en œuvre d'actions de réduction des émissions de NH₃ sur les exploitations agricoles peut ainsi être contrainte par des freins techniques, économiques et sociologiques.

Cependant, des leviers peuvent aussi favoriser la mise en œuvre de certaines actions dans les exploitations agricoles.

3.2.2.2. Les leviers encourageant la mise en place des mesures

Certaines aides financières sont possibles pour permettre le développement de telles mesures. En région Normandie par exemple, une aide nommée "Investissements agricoles pour une agriculture normande performante", cofinancée par la région Normandie et le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER), permet aux agriculteurs d'avoir un financement pour l'acquisition de matériel d'épandage.

Des appels à projet peuvent aussi être lancés, comme l'appel à projet de l'ADEME, en 2017, nommé Agr'Air, qui avait comme objectif d'accompagner des projets visant à diffuser dans le secteur agricole, les technologies et pratiques contribuant à réduire les émissions d'ammoniac et/ou les émissions de particules fines liées au brûlage à l'air libre des résidus agricoles.

Des formations auprès des agriculteurs sont aussi possibles. Par exemple, la Chambre d'Agriculture de Bretagne propose une formation pour les éleveurs porcins pour les guider dans leur choix de techniques de réduction des émissions d'ammoniac dans leur élevage.

La mise en place de plusieurs de ces mesures peut aussi avoir des effets positifs sur d'autres aspects que la réduction des émissions de NH₃.

Tout d'abord, une limitation des odeurs peut résulter de ces actions. En effet, réduire le temps de présence des déjections au bâtiment, couvrir les structures de stockage des effluents, injecter ou incorporer le lisier permet de réduire les odeurs, et ainsi une meilleure relation avec le voisinage.

Ces techniques d'incorporation sont aussi intéressantes car elles permettent de gagner des surfaces épandables en réduisant les distances d'épandage par rapport aux habitations jusqu'à 50, voire 15 mètres. Une meilleure optimisation des éléments fertilisants des lisiers est aussi réalisée quand une bonne incorporation est faite, ce qui permet de limiter l'achat d'engrais minéraux.

Certaines actions permettent aussi un gain de temps pour l'éleveur, comme la couverture de fosse qui empêche l'eau de pluie de se stocker dans le lisier et donc d'avoir un moindre volume de lisier à épandre moindre (MARTIN et MATHIAS 2013).

Ainsi, malgré les freins observés, certains leviers sont aussi présents pour encourager la mise en place de mesures de réduction des émissions d'ammoniac, comme des aides financières, des formations ou même des bénéfices multiples, sur des aspects autres que les émissions de NH₃.

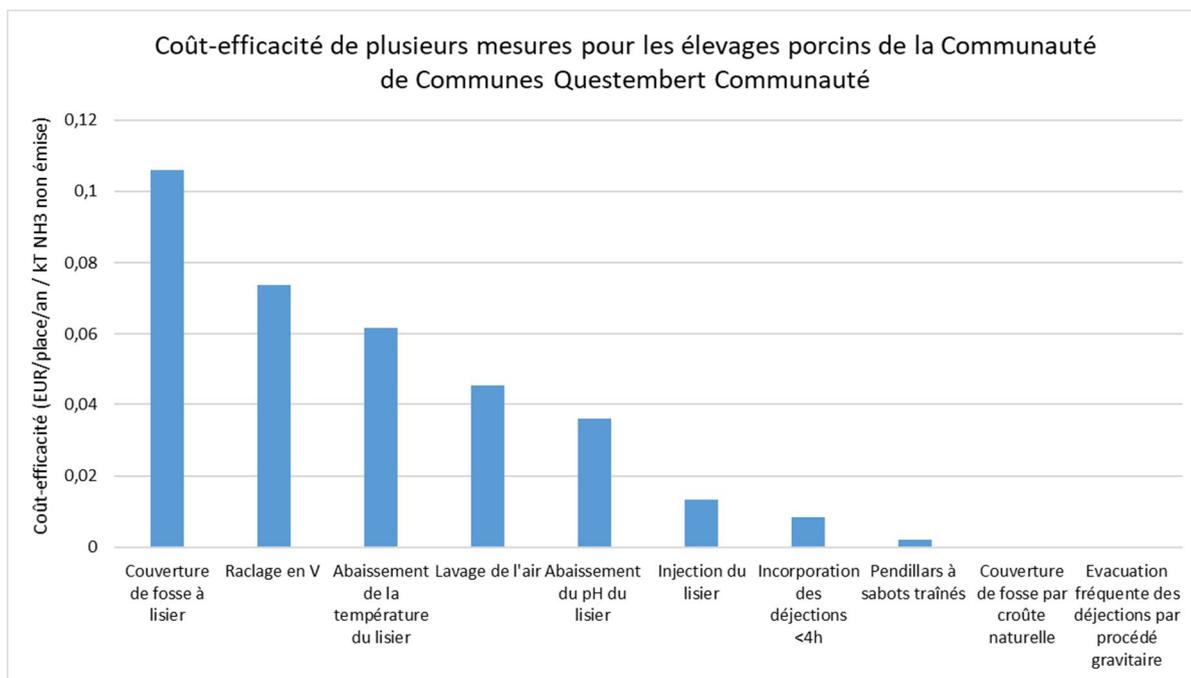


Figure 17 : Coût-efficacité de plusieurs mesures de réduction des émissions d'ammoniac pour les élevages porcins de la CC Questembert Communauté

Source personnelle, 2019

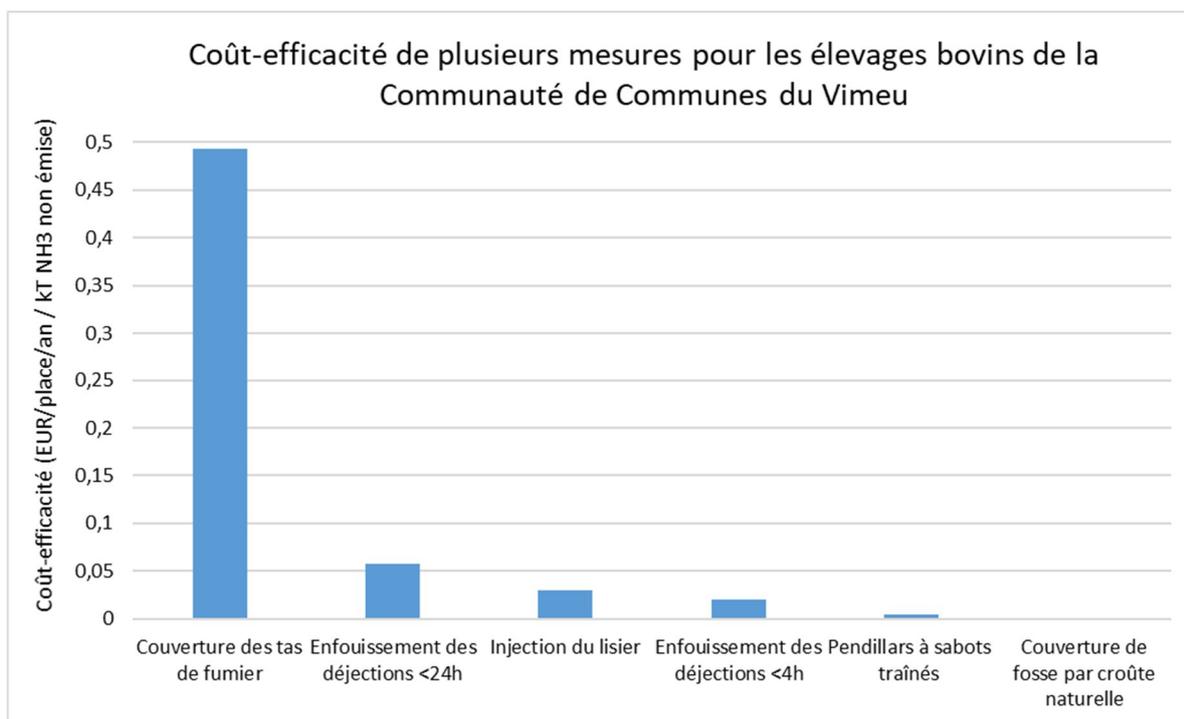


Figure 18 : Coût-efficacité de plusieurs mesures de réduction des émissions d'ammoniac pour les élevages bovins de la CC du Vimeu

Source personnelle, 2019

3.2.3. Quelles actions ont le meilleur coût-efficacité et sont à privilégier par les collectivités ?

En prenant maintenant en compte l'efficacité des mesures (pourcentage de réduction) ainsi que les coûts associés à la mise en place de ces mesures, celles-ci vont être hiérarchisées pour savoir lesquelles sont les plus intéressantes, pour l'exemple de la collectivité de Questembert Communauté et ses élevages porcins.

Cette hiérarchisation a été faite en prenant le coût de chaque mesure en euro par place et par an (voir Tableau 14) et en prenant les quantités de NH₃ non émises grâce à ces mesures (valeurs issues de l'outil de calcul pour l'année 2010) si elles sont mises en place dans 100 % des élevages porcins.

Les résultats obtenus sont présentés dans la Figure 17. Les mesures les plus intéressantes sont celles qui ont des valeurs de coût-efficacité les plus faibles.

Pour la CC Questembert Communauté, les procédés gravitaires pour évacuer les déjections, les couvertures de fosse par croûte naturelle, l'utilisation de pendillards et l'incorporation des déjections sont les actions les plus avantageuses.

Cependant, il n'a pas été pris en compte dans cette hiérarchisation les freins techniques, qui dépendent des caractéristiques du territoire (sols caillouteux, relief, ...) et des caractéristiques des exploitations (bâtiments anciens, main d'œuvre, matériel, ...). De plus, l'action sur l'alimentation n'a pas pu être hiérarchisée car elle n'avait pas de coûts associés. Cependant, on peut imaginer que cette action permettra de faire des économies en limitant l'achat d'aliments. Ainsi, elle semble être une action intéressante, mais avec des freins techniques importants.

Pour que cet EPCI réussisse à atteindre le 1^{er} objectif du PREPA (d'ici 2024, -4 % de réduction des émissions de NH₃ par rapport à 2005), les mesures les plus intéressantes techniquement et économiquement pourraient être par exemple que :

- 20 % des bâtiments porcins du territoire soient dotés d'un procédé gravitaire pour évacuer les déjections fréquemment,
- 20 % des fosses à lisier de porcs soient couvertes par une croûte naturelle,
- 10 % des éleveurs porcins utilisent des pendillards à sabots traînés pour épandre,
- Et que 10 % des éleveurs enfouissent les déjections des porcs moins de 4 heures après l'épandage.

Une hiérarchisation des mesures possibles au niveau des exploitations bovines de la CC du Vimeu a aussi été réalisée (voir Figure 18). On remarque que les actions les mieux classées sont les mêmes que pour la CC Questembert Communauté (à l'exception du procédé gravitaire réservé aux bâtiments pour porcins).

Ainsi, la couverture par croûte naturelle, qui ne demande pas de coût, puis les mesures d'épandage sont les plus intéressantes. On pourrait ajouter à ces actions celle de la limitation de l'apport protéique dans l'alimentation, car elle a un coût-efficacité négatif, cependant comme dit précédemment, elle a des freins techniques importants.

Pour que la collectivité du Vimeu arrive à atteindre le 1^{er} objectif du PREPA, les mesures les plus intéressantes techniquement et économiquement pourraient être par exemple que :

- 20 % des fosses à lisier de bovins soient couvertes par une croûte naturelle,
- 10 % des éleveurs bovins utilisent des pendillards à sabots traînés pour épandre,
- 5 % des éleveurs enfouissent les déjections des bovins moins de 4 heures après l'épandage,
- Et que 5 % des agriculteurs injectent directement le lisier lors de l'épandage le lisier.

Ainsi, les actions à privilégier par les collectivités sont celles ayant le coût-efficacité le plus faible. Il s'agirait notamment pour le bâtiment de privilégier les procédés gravitaires, pour le stockage, de mettre en place des couvertures de fosses par croûte naturelle et pour l'épandage de l'enfouissement le plus rapide possible et à l'utilisation de pendillards.

Pour les deux collectivités étudiées, il faudrait ensuite que ces 4 types d'actions soient effectués par au moins de 10 à 15 % des agriculteurs pour atteindre les objectifs PREPA les plus proches.

La partie suivante va présenter les limites et perspectives d'approfondissement de cette étude.

4. Discussion autour de cette étude

4.1. Biais et limites de cette étude

L'outil réalisé estime ainsi les réductions possibles des émissions d'ammoniac et peut être utile comme outil d'aide à la décision, cependant, cette étude a tout de même certaines limites.

Premièrement, cet inventaire estime seulement les émissions en provenance de l'élevage. Or, il serait intéressant d'ajouter à cet outil la part des émissions en provenance des cultures, pour pouvoir estimer les émissions de l'agriculture en général. En ayant cette information, il serait plus simple ensuite de comparer ces valeurs à celles des ATMO qui sont fournies pour « l'agriculture ». De plus, cet outil nous permet de savoir si les objectifs PREPA 2020-2024 peuvent être atteints (-4 % des émissions) en considérant que les émissions en provenance des cultures n'augmentent pas. Comme les émissions d'ammoniac sont émises pour la quasi-totalité par l'agriculture, il serait plus intéressant donc de créer cet inventaire pour « l'agriculture » et pas seulement « l'élevage ».

Une autre limite de cette étude, découlant de la première, est que peu de comparaisons ont pu être faites avec les résultats des ATMO (données non distribuées par ces organismes avec un niveau de détail suffisant). Il aurait été intéressant de pouvoir récolter plus de résultats de ces organismes pour voir si les valeurs étaient bien toutes similaires.

Cette étude est aussi limitée dans le nombre de propositions de mesures de réduction. Les actions les plus intéressantes trouvées dans la bibliographie ont été choisies, mais il pourra être intéressant d'en intégrer de nouvelles à l'outil de calcul afin d'augmenter le panel d'actions. De plus, si de nouvelles techniques sont inventées dans quelques années, il sera possible de les ajouter facilement dans l'onglet Excel de l'outil. De même, si les données agricoles ou les facteurs d'émissions sont mis à jour, il sera possible de les changer dans l'inventaire.

Il a aussi été difficile de trouver le coût de chaque mesure, ainsi des fourchettes assez larges de valeurs ont parfois été trouvées et la moyenne a été utilisée. Certaines mesures n'avaient pas du tout d'estimation de coûts, ainsi elles n'ont pas pu être ajoutées aux exemples de hiérarchisation des mesures par coût-efficacité.

Des hypothèses ont aussi été formulées et celles-ci peuvent apporter des incertitudes aux valeurs obtenues.

Comme vu dans la partie 3.1.2, le secret statistique des données agricoles pourrait induire une partie des écarts d'estimation avec l'INS, et pourrait ainsi induire une erreur d'estimation des émissions. Cependant, on remarque que les valeurs fournies et utilisées par les ATMO sont semblables à celles de l'outil et qu'elles aussi ont des données agricoles avec secret statistique. Ainsi, cette erreur semble être négligée, même s'il serait intéressant de pouvoir la limiter.

Une estimation de ces valeurs sous secret statistique pourrait être faite. En effet, un tel secret signifie que la valeur mentionnée correspond à un nombre inférieur de 3 entreprises. On pourrait ainsi considérer qu'il correspond en moyenne à 2 exploitations. Ensuite, si l'on cherche le nombre de vaches laitières par exemple, il suffirait de connaître le nombre moyen de vaches laitières par exploitations dans le département en question et de le multiplier par 2.

Une autre hypothèse était que toutes les déjections provenant du bâtiment étaient ensuite stockées, et que toutes celles stockées étaient ensuite épandues. Cette hypothèse provient de la méthodologie de calcul choisie et il est difficile de ne pas l'émettre. Il faudrait savoir sur le territoire combien d'agriculteurs et donc de déjections sont épandues directement mais cette donnée n'est pas disponible à l'échelle des inventaires agricoles.

Une limite importante est aussi la date de l'inventaire agricole, qui est de 2010, alors que nous sommes en 2019. Cependant, un nouvel inventaire est fait tous les 10 ans, les données de 2020 pourront ainsi bientôt être utilisées.

Cette étude a aussi une autre limite, elle ne concerne que les émissions d'ammoniac. Les autres types de polluants atmosphériques pourraient être ajoutés pour pouvoir savoir globalement si le PCAET semble atteindre tous les objectifs du PREPA.

De plus, l'étude estime les émissions d'ammoniac pouvant être réduites, mais ne prend pas en compte si les mesures de réduction peuvent avoir des impacts (positifs ou négatifs) sur d'autres enjeux environnementaux.

En effet, certaines techniques nécessitent par exemple un apport d'énergie, la consommation d'énergie de l'exploitation est donc augmentée. Ceci augmente donc les émissions de CO₂, qui est un gaz à effet de serre. Quelques techniques augmentent aussi les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) ainsi que celles de méthane (CH₄), qui sont aussi des gaz à effet de serre et qui participent donc au réchauffement climatique. A l'inverse, certaines méthodes réduisent ces émissions ou ces consommations, comme par exemple la couverture de fosse qui permet de ne pas stocker les eaux pluviales et ainsi d'avoir un lisier à épandre moins volumineux et donc le transport nécessitera moins de consommation d'énergie (MARTIN et MATHIAS 2013).

La méthode qui permet d'abaisser le pH du lisier peut aussi avoir des impacts sur l'environnement, elle peut en effet perturber les microorganismes si ce lisier est méthanisé ou alors impacter le pH du sol s'il est épandu. De plus, des phénomènes de corrosion peuvent se produire au contact du lisier (INERIS 2018; JONASSEN 2016).

Pour améliorer cette étude, il pourrait donc être intéressant de prendre en compte les autres enjeux environnementaux, en affectant par exemple à chaque mesure un coefficient positif ou négatif selon son impact sur cet enjeu, de sorte que les mesures les plus bénéfiques pour l'environnement global soient choisies.

Ce rapport est ainsi limité à l'étude des émissions d'un seul polluant, l'ammoniac, par une seule source d'émissions, l'élevage. Il est aussi limité par le nombre de mesures de réduction choisies ainsi que par le manque de certaines données (cheptel, coût des actions, ...). De plus, la hiérarchisation finale des mesures ne prend pas en compte les autres enjeux environnementaux.

4.2. Les pistes d'approfondissement et perspectives d'évolution dans ce domaine

Pour approfondir cette étude, il serait intéressant de mener une enquête auprès d'agriculteurs, pour savoir s'ils seraient prêts à mettre en place certaines de ces mesures de réduction des émissions d'ammoniac.

Des enquêtes plus générales ont déjà été menées, sur les principaux freins et leviers aux changements des pratiques agricoles. C'est ce qu'a fait Marc NOUGIER dans son mémoire de fin d'études en 2015 (étudiant à Agro Campus Ouest), pour le territoire de la Seine-et-Marne.

Les principaux leviers qui ressortent de cette étude sont :

- Les économies faites à réduire l'utilisation d'intrants,
- La mutualisation du matériel,
- Les groupements de conseil technique « indépendant »,
- Les formations agricoles,
- Les dynamiques de groupe qui induisent un sentiment de sécurité pour l'exploitant, etc.

Les principaux freins qui ressortent de son étude sont :

- Les filières en aval de la production qui exigent certaines variétés par exemple, et une certaine qualité des produits,
- Les intérêts économiques de la filière coopérative dans la vente des produits phytosanitaires,
- Les coûts économiques des nouvelles pratiques,
- Les temps de réflexion qui peuvent être longs avant de choisir de changer de pratiques, et ces temps nécessitent du temps libre,
- L'intensification des périodes de travail qui rend impossible la participation à des réunions ou formations,
- La concurrence et la mise en danger de la compétitivité agricole, etc. (NOUGIER 2015).

Ainsi, les actions qui réduisent les coûts pourraient peut-être être mises en place plus facilement par les agriculteurs. De même, la mutualisation du matériel, comme les pendillards, pourrait être une solution. Enfin, pour que la qualité de l'air (et notamment l'ammoniac) soit un enjeu mieux pris en compte dans le secteur agricole, il faudrait tout d'abord, à l'échelle territoriale, informer et former les agriculteurs sur la thématique, et ensuite les accompagner dans la mise en œuvre des mesures (conseils, subventions, ...).

Un levier important au changement de pratiques agricoles peut aussi être les groupes d'échanges, permettant entre agriculteurs un échange sur leurs expériences, réussites ou échecs. De plus, la recherche d'une charge de travail allégée peut expliquer l'adoption de certaines pratiques comme la pâture (ANSALONI et FOUILLEUX 2006).

Selon J.M. Lusson et X. Coquil, « pour que les motivations au changement prennent le pas sur les freins et les difficultés [...], il faut que l'incohérence au sein de sa situation de travail grandisse et devienne pour lui insupportable, rendant le changement impératif » (LUSSON et COQUIL 2016).

Ainsi, pour que des réductions des émissions de NH₃ puissent se faire à l'échelle territoriale, il peut être intéressant d'accompagner le plus possible les agriculteurs avec les PCAET, pour faire évoluer leurs pratiques agricoles et surmonter les freins, qui peuvent être d'ordre économique, technique ou social.

La suite de cette étude serait de tester l'outil concrètement lors de l'élaboration du PCAET d'une collectivité, pour savoir tout d'abord si les arguments apportés permettent d'avoir plus d'actions en faveur de la diminution des émissions de NH₃ et si ces actions sont ensuite suffisantes pour atteindre les objectifs réglementaires.

Toutefois, on pourrait se demander si ces objectifs nationaux de réduction des émissions sont suffisants pour améliorer la santé et l'environnement des territoires. Ils sont calculés pour chaque état membre de l'Union Européenne de façon à être conforme aux lignes directrices de l'OMS, ainsi qu'à la réalisation des objectifs de l'Union en matière de biodiversité et de protection des écosystèmes (Parlement Européen et Conseil de l'Union Européenne 2016). Cependant, même si les objectifs sont respectés, les impacts négatifs sur la santé et l'environnement ne sont pas nuls.

4.3. Apport sur le plan personnel et professionnel

Ce stage m'a permis d'acquérir des connaissances techniques dans le domaine de la qualité de l'air, et plus particulièrement des connaissances sur l'ammoniac et l'agriculture, ainsi que des savoirs sur le déroulement des PCAET et l'élaboration des EES.

Il m'a aussi permis d'avoir une vision globale de l'environnement des territoires et de ne pas traiter une seule problématique environnementale. J'ai de plus appris à connaître les acteurs du monde de l'environnement et des collectivités territoriales.

En faisant ce stage, j'ai pu travailler et communiquer avec des personnes différentes (collègues, élus, agents territoriaux, ...), en présentant notamment l'avancée des études (EES, diagnostics qualité de l'air) lors de comités de Pilotage et d'ateliers. J'ai ainsi développé mon aisance à l'oral, ainsi que ma capacité d'animation et de travail en équipe.

En réalisant cette étude, j'ai appris à prendre des initiatives (formulations d'hypothèses, choix des sources de données, de la méthodologie, ainsi que de la forme des résultats) et décisions.

Cette expérience professionnelle confirme mon souhait de travailler dans le conseil en environnement.

Conclusion

Pour améliorer la qualité de l'air des territoires, le secteur agricole a un rôle à jouer, en adaptant ses pratiques de manière à diminuer ses émissions d'ammoniac. Ces actions de réduction interviennent tout au long du cycle de l'azote, de son absorption par les cultures, à son ingestion par l'animal, puis aux différentes postes de gestion des déjections animales (bâtiment, stockage, épandage, pâturage).

Les directives réglementaires fixent des objectifs de réductions des émissions et les plans locaux, comme le Plan Climat Air Energie Territorial, participent à la mise en place d'actions permettant cette diminution d'émissions et l'atteinte de ces objectifs.

L'échelle territoriale (EPCI pour les PCAET) semble intéressante pour traiter cet enjeu, car c'est une échelle assez petite pour aborder les spécificités agricoles du territoire, et en même temps une échelle assez grande pour que les acteurs du secteur agricole travaillent ensemble sur ces questions de qualité de l'air et partagent leurs expériences.

L'outil d'aide à la décision créé dans cette étude permet de savoir quelles peuvent être les actions les plus intéressantes à mettre en place dans les territoires et quelle ambition se fixer pour atteindre les objectifs nationaux.

Cette étude prend en compte l'efficacité des actions ainsi que les coûts associés pour hiérarchiser les mesures.

En prenant comme exemple deux collectivités, il a été mis en évidence que les 4 % de réduction des émissions d'ammoniac d'ici 2020-2004 (à partir des émissions 2005) était atteignable en réalisant différentes actions au stockage et à l'épandage notamment, et ce par au moins 10 à 15 % des agriculteurs du territoire.

Pour y arriver, il est nécessaire de continuer les efforts de réduction déjà entrepris dans le secteur agricole et d'accompagner les agriculteurs afin de lever les freins au changement de pratiques.

Cependant, les changements au niveau de l'agriculture dépendent de changements à d'autres niveaux du système « agri-alimentaire », comme l'explique Claire Lamine dans son article « Changer de système ». Ce système englobe les agriculteurs, le conseil, la recherche, les acteurs de l'amont et de l'aval des filières, les politiques publiques et les instances de régulation, les consommateurs et la société civile (LAMINE 2012). Ainsi, au-delà du système agricole, c'est peut-être tout le système « agri-alimentaire » qui devrait évoluer pour limiter les impacts sur l'environnement et la santé et pour limiter le dérèglement climatique.

Bibliographie

- Actu Environnement. s. d. « Définition de Polluant ». Actu-Environnement. Consulté le 25 août 2019. https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/polluant.php4.
- ADEME. 2016a. « Elus, l'essentiel à connaître sur les PCAET ». ADEME Editions.
- . 2016b. « PCAET : Comprendre, construire et mettre en oeuvre ». ADEME Editions.
- . 2018. « Le changement climatique en 10 questions ».
- Airparif. s. d. « Réglementation - Recommandations de l'OMS ». Consulté le 6 août 2019. <https://www.airparif.asso.fr/reglementation/recommandations-oms>.
- ALLEMAND, R. 2013. « IX. Les effets juridiques du schéma régional climat air énergie ». *Annuaire des Collectivités Locales* 33 (1): 169-82. <https://doi.org/10.3406/coloc.2013.2403>.
- ANSALONI, M., et E. FOUILLEUX. 2006. « Changement de pratiques agricoles. Acteurs et modalités d'hybridation technique des exploitations laitières bretonnes ». *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires*, n° 292 (mai): 3-17. <https://doi.org/10.4000/economierurale.695>.
- Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. 2015. « Air, Climat et Energie ». Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. 20 juillet 2015. <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/air-climat-et-energie>.
- Atmo France. s. d. « 3 outils complémentaires de surveillance ». Consulté le 6 août 2019a. <https://atmo-france.org/3-outils-complementaires-de-surveillance/>.
- . s. d. « L'air en France – Atmo France ». Consulté le 5 août 2019b. <https://atmo-france.org/category/air-en-france/>.
- CEREMA, Direction territoriale Centre-Est, Direction environnement territoires et climat, et Pôle de compétence et d'innovation « Evaluations Environnementales ». 2015. « Préconisations relatives à l'évaluation environnementale stratégique - Note méthodologique ».
- CITEPA. 2016. « Histoire de la pollution de l'air - CITEPA ». 29 septembre 2016. <https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/histoire-de-la-pollution-de-l-air>.
- . 2017. « La France face à ses objectifs - CITEPA ». 2017. <https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/la-france-face-a-ses-objectifs>.
- . 2018. « Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France - OMINEA - 15ème édition ».
- . 2019a. « Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France - OMINEA - 16ème édition ».
- . 2019b. « Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Format Secten ».
- COMIFER, et Association de coordination technique agricole. 2000. *Guide méthodologique pour l'expérimentation au champ valeur agronomique des produits d'origine non agricole recyclés en agriculture, PONARA: juin 2000*. Paris: Comifer : Acta.
- Commission Européenne. 2010. « La directive "Nitrates" de l'UE ».
- CORPEN. 2001. « Les émissions d'ammoniac d'origine agricole dans l'atmosphère – Etat des connaissances et perspectives de réduction des émissions. » *Ministère de l'agriculture et de la pêche, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement*, 110.
- DONG, L., A. J. HEBER, J. A. PATTERSON, B. R. STROBEL, D. D. JONES, et A. L. SUTTON. 1997. « Bioscrubber for removing ammonia from swine house exhaust air - In proceedings of the congress «Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities» ». Vinkeloord, The Netherlands.

- DUFOUR, N, M THILL, et O DECHERF. 2012. « Élaboration des Plans de Protection de l'atmosphère, le point de vue des bureaux d'études ». *POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE*, 3.
- DUPONT, J. 2004. *La problématique des lacs acides au Québec*. QE/145. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement.
- European Environment Agency. 2006. « Air quality and ancillary benefits of climate change policies ». 4.
- . 2016. « EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016 - 3.B Manure management ».
- FRANK, B, M PERSSON, et G GUSTAFSSON. 2002. « Feeding Dairy Cows for Decreased Ammonia Emission ». *Livestock Production Science* 76 (1-2): 171-79. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00021-0).
- GENNEN, J., et P. LUXEN. 2015. « Mesure des pertes par volatilisation lors de l'épandage de lisier sur prairie permanente ». *Fourrages* 224 (décembre): 265-68.
- GIEC. 2006. « Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre - Volume 4 : Agriculture, forecterie et autres affectations de terres - Chapitre 10 ».
- GROOT KOERKAMP, P. W. G. 1994. « Review on Emissions of Ammonia from Housing Systems for Laying Hens in Relation to Sources, Processes, Building Design and Manure Handling ». *Journal of Agricultural Engineering Research* 59 (2): 73-87. <https://doi.org/10.1006/jaer.1994.1065>.
- GUINGAND, N. 2005. « Le lavage d'air : influence sur les odeurs et l'ammoniac en engraissement – 1ère Journée Privilège Sodalec ». Lohéac.
- . 2008. « Le lavage d'air en élevages porcins ». *TechniPorc* 1 (31): 23-27.
- GUINGAND, N., et S. DEFORGES. 2008. « Etude d'un laveur d'air individuel en engraissement : efficacité sur les émissions d'odeurs et d'ammoniac – 40ème Journées de la Recherche Porcine en France ».
- ICP Vegetation. 2011. « Ozone Pollution: A hidden threat to food security ». *Centre for Ecology and Hydrology*, septembre.
- INERIS. 2018. « Etat de l'art relatif aux meilleures techniques disponibles, réduction des émissions d'ammoniac au niveau du stockage de lisier porcin dans les bâtiments ».
- . s. d. « Pollution atmosphérique ». Consulté le 12 août 2019. <https://www.ineris.fr/fr/recherche-appui/risques-chroniques/mesure-prevision-qualite-air/pollution-atmospherique>.
- INRS. 2018. « Ammoniac et solutions aqueuses, fiche toxicologique n°16 ».
- IPCC. 2018. « Global Warming of 1.5°C ».
- JEDRASZAK, J. M. 2015. « Un point de vue à partir d'un élevage intensif de porcs à Heuringhem », 34.
- JONASSEN, K. 2016. « Ammonia emission reduction during in-house slurry acidification ». *International seminar on slurry acidification*.
- JULLIARD, J. F. 2019. « Climat : Stop à l'inaction, Demandons Justice ! » L'Affaire Du Siècle. 7 février 2019. <https://laffairedu siecle.net/>.
- LAIS, S., E. HARTUNG, et T. JUNGBLUTH. 1997. « Reduction of ammonia and odour emissions by bioscrubbers - In proceedings of the congress «Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities» ». Vinkeloord, The Netherlands.
- LAMINE, C. 2012. « « Changer de système » : une analyse des transitions vers l'agriculture biologique à l'échelle des systèmes agri-alimentaires territoriaux ». *Terrains travaux* n° 20 (1): 139-56.
- LOYON, L., F. GUIZIOU, S. PICARD, et P. SAINT CAST. 2007. « CEMOA : Impact des couvertures de fosse sur les émissions de NH3 et gaz à effet de serre au cours du

- stockage et de l'épandage de lisiers de porc ». <https://irsteadoc.irstea.fr/oa/PUB00023797-impact-des-couvertures-fosse-sur-les-emissions-nh3.html>.
- LUSSON, J.M., et X. COQUIL. 2016. « Transitions vers des systèmes autonomes et économes en intrants avec élevages de bovins: freins, motivations, apprentissages », 13.
- MANDARD, S. 2018. « Pollution de l'air : Bruxelles poursuit la France en justice ». *Le Monde.fr*, 17 mai 2018. https://www.lemonde.fr/pollution/article/2018/05/17/pollution-de-l-air-bruxelles-renvoie-la-france-devant-la-cour-de-justice-de-l-union-europeenne_5300331_1652666.html.
- MARTIN, E, et E MATHIAS. 2013. « Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030 – Rapport », 242.
- MCCRORY, D. F., et P. J. HOBBS. 2001. « Additives to reduce ammonia and odour emissions from livestock wastes : a review ». *Journal of Environmental Quality* 30 (2): 345-55.
- MICHEL, L. 2016. *Arrêté du 4 août 2016 relatif au plan climat-air-énergie territorial*.
- Ministère de la Transition écologique et solidaire. 2017. « Pollution de l'air : origines, situation et impacts ». Ministère de la Transition écologique et solidaire. 1 février 2017. <http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/pollution-lair-origines-situation-et-impacts>.
- . 2018. « Politiques publiques pour réduire la pollution de l'air ». Ministère de la Transition écologique et solidaire. 14 mai 2018. <http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/politiques-publiques-reduire-pollution-lair>.
- MOUSSET, J. 2012. « Les émissions agricoles de particules dans l'air », 19.
- NEWELL PRICE, J. P., D. HARRIS, M. TAYLOR, J. R. WILLIAMS, S. G. ANTHONY, D. DUETHMANN, R. D. GOODAY, et al. 2011. « An inventory of mitigation methods and Guide to their effects on diffuse water pollution, greenhouse gas emissions and ammonia emissions from agriculture ».
- NOUGIER, M. 2015. « Etude des freins et leviers à l'évolution des pratiques agricoles en Seine-et-Marne ».
- NOVAK, S. M., et J. L. FIORELLI. 2010. « Greenhouse gases and ammonia emissions from organic mixed crop-dairy systems: a critical review of mitigation options ».
- OCDE. 2016. « Examens environnementaux de l'OCDE : France 2016, Editions OCDE ». *OECD iLibrary*. <https://dx.doi.org/10.1787/9789264252592-fr>.
- OUDOT, C., B. PAIN, et MARTINEZ. 2003. « Éléments pour une politique de réduction des émissions d'ammoniac d'origine agricole en France ». Ouvrage. 1 janvier 2003. <http://portaildoc-agro.vetagro-sup.fr/Record.htm?idlist=47&record=19255147124910733299>.
- Parlement Européen et Conseil de l'Union Européenne. 2016. *Directive (EU) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques, modifiant la directive 2003/35/CE et abrogeant la directive 2001/81/CE (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)*. 344. Vol. OJ L. <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/2284/oj/fra>.
- PHILIE, M. L. 2017. « Le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques enfin dévoilé ». Banque des Territoires. 12 mai 2017. <https://www.banquedesterritoires.fr/le-plan-national-de-reduction-des-emissions-de-polluants-atmospheriques-enfin-devoile>.
- Pôle National de Coordination des Inventaires Territoriaux. 2012. « Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques (polluants de l'air et gaz à effet de serre) ».

- PORTEJOIE, S., J. MARTINEZ, et G. LANDMANN. 2002. « L'ammoniac d'origine agricole : impacts sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel ». *INRA Prod. Anim.* 15 (3): 151-60.
- RMT Elevages et environnement. 2010. « Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage ».
- Sciences et Avenir. 2019. « Pollution de l'air : une mère et sa fille en procès contre l'Etat ». Sciences et Avenir. 29 mai 2019. https://www.sciencesetavenir.fr/sante/pollution-de-l-air-deux-citoyennes-en-proces-contre-l-etat_134026.
- VANLERBERGHE, C., et M. E. PECH. 2019. « Mobilisation mondiale des jeunes pour le climat ». FIGARO. 15 mars 2019. <http://www.lefigaro.fr/sciences/2019/03/15/01008-20190315ARTFIG00206-mobilisation-mondiale-pour-le-climat.php>.
- WEBB, J., et T. H. MISSELBROOK. 2004. « A mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production ». *Atmospheric Environment* 38: 2163-76. <https://doi.org/doi:10.1016/j.atmosenv.2004.01.023>.
- World Health Organization. 2018. « Air pollution and child health - Prescribing clean air ».
- ZACCAI, Edwin. 2019. *Deux degrés*. Presses de Sciences Po. <https://www.cairn.info/deux-degres--9782724624403.htm>.
- ZIGNANI, G. 2016. « SRADDET : l'intégration des schémas régionaux sectoriels », 2016, La Gazette des Communes édition. <https://www.lagazettedescommunes.com/455344/sraddet-lintegration-des-schemas-regionaux-sectoriels/>.



GELLE, Manon, 2019, Maitriser les émissions atmosphériques du secteur agricole pour améliorer la santé et l'environnement des territoires, 38 pages, mémoire de fin d'études, VetAgro Sup, 2019

STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIEES :

- ATMOTERRA

ENCADRANTS :

- Maître de stage : Adrien BOUZONVILLE (ATMOTERRA)
- Professeur référent : Christel BOSC

OPTION : Ingénierie et stratégie du développement éco territorial (EcoTerr)

Résumé

Le climat est aujourd'hui dérégulé en grande partie par les activités humaines, qui impactent aussi la qualité de l'air des territoires. Malgré les diverses réglementations, les émissions d'ammoniac (NH_3), un polluant atmosphérique d'origine agricole principalement, continuent de stagner en France. Pour limiter l'impact de ce gaz sur l'environnement et la santé, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de réduction de ces émissions. Les Plans Climat Air Energie Territoriaux (PCAET) ont notamment comme rôle la mise en place de ces actions à l'échelle d'un EPCI (Etablissement Public de Coopération Intercommunale). Un outil de calcul a été réalisé dans cette étude pour estimer les réductions possibles des émissions de NH_3 issues des déjections animales sur un territoire donné, à partir de la méthodologie nationale du CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). Les cheptels communaux ont été multipliés par les facteurs d'émission des différents postes de gestion des déjections pour estimer les émissions. Une comparaison des résultats obtenus avec les estimations de l'INS (Inventaire National Spatialisé) et des ATMO régionales a été effectuée pour valider l'outil. Des mesures de réduction ont ensuite été testées pour deux communautés de communes et ont été hiérarchisées par coût-efficacité. Les actions les plus intéressantes pour ces deux exemples sont la couverture de fosse à lisier par croûte naturelle, l'évacuation fréquente des déjections par procédé gravitaire, ainsi que l'utilisation de pendillards pour épandre les effluents et l'enfouissement rapide après épandage. Cependant, il n'a pas été pris en compte dans cette hiérarchisation les freins techniques et économiques à la mise en œuvre de telles mesures.

Mots clés : Qualité de l'air, ammoniac, agriculture, PCAET, territoire, émission, polluant atmosphérique, inventaire.

Cote documentation VetAgro Sup :