

“L’air est **essentiel à chacun**
et mérite l’**attention de tous.**”

ETUDE PRSE 2019

Stratégie de surveillance de l’ammoniac dans l’air ambiant en Bretagne

Version du 4 février 2021

Avec le soutien financier de

 LIBERTÉ • ÉGALITÉ • FRATERNITÉ REPUBLIQUE FRANÇAISE	 Agence Régionale de Santé Bretagne	
---	---	---



ORGANISME
DE MESURE, D'ÉTUDE
ET D'INFORMATION SUR
LA QUALITÉ DE L'AIR
EN BRETAGNE



Air Breizh
3 rue du Bosphore - Tour ALMA 8ème étage - 35200 Rennes
Tél : 02 23 20 90 90 – Fax : 02 23 20 90 95

www.airbreizh.asso.fr



Etude réalisée par Air Breizh

Conditions de diffusion

Air Breizh est l'organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air dans la région Bretagne, au titre de l'article L221-3 du Code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 17 juillet 2019 pris par le Ministère de l'Environnement portant renouvellement de l'agrément de l'association.

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Breizh est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Breizh réserve un droit d'accès au public à l'ensemble des résultats de mesures et rapports d'études selon plusieurs modalités : document papier, mise en ligne sur son site internet www.airbreizh.asso.fr, résumé dans ses publications, ...

Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à Air Breizh. Air Breizh ne peut, en aucune façon, être tenu responsable des interprétations et travaux utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Breizh n'aura pas donné d'accord préalable.

Organisation interne – contrôle qualité

Rédacteur	Validation
David LAVOUÉ <i>Responsable service études</i>	Gaël LEFEUVRE <i>Directeur</i>
	Alain LAPLANCHE <i>Président</i>

Sommaire

I. Contexte de l'étude	6
II. La surveillance de la qualité de l'air en Bretagne	8
III. Le NH₃, un précurseur des PM fines.....	10
III.1. La pollution particulaire.....	10
III.2. Brève description des mécanismes chimiques	10
III.3. Valeurs limites et de référence.....	11
III.3.1 Les particules fines	11
III.3.2 Le NH ₃	12
III.4. Bonnes pratiques agricoles pour réduire les émissions.....	13
IV. Mesures des concentrations en NH₃ dans l'air ambiant.....	14
IV.1. Etudes ponctuelles	14
IV.2. Disparité régionale des concentrations en NH₃.....	14
IV.3. Mesures au site rural breton du programme MERA.....	15
V. Emissions de NH₃ par le secteur agricole breton.....	18
V.1. Méthode d'inventaire	18
V.2. Résultats	18
VI. Modèles de chimie-transport	21
VII. Stratégie de surveillance du NH₃ en Bretagne	23
VII.1. Composante mesures	23
VII.1.1 Station Kergoff/MERA	23
VII.1.2 Station Pays-Bas/CARA	24
VII.1.3 Autres stations de surveillance.....	25
VII.2. Mise en place d'un système d'alerte	25
VII.3. Amélioration des modèles de prévision de la qualité de l'air	26
VII.4. Cadres réglementaires européen et français en matière environnementale	26
VIII. Conclusions.....	28
IX. Références bibliographiques	29

Liste des figures

Figure 1 : Emissions de NH_3 en kilogrammes par hectare en France et dans les pays limitrophes (INERIS, 2019).....	6
Figure 2 : Emissions de NH_3 en tonnes par km^2 dans les treize régions françaises (source : inventaires régionaux des AASQA – dernière année disponible).....	7
Figure 3 : Réseau de surveillance de la qualité de l'air opéré par Air Breizh au 1 ^{er} janvier 2019.....	8
Figure 4 : Mécanismes de conversion des précurseurs gazeux en PM fines secondaires.	11
Figure 5 : L'analyseur de NH_3 en continu Picarro ; photo du site officiel https://www.picarro.com/g2103_gas_concentration_analyzer (accès 18 novembre 2019).....	14
Figure 6 : Variabilité mensuelle des concentrations en NH_3 en différents points de mesures (Fauvel et al., 2019).....	14
Figure 7 : Situation géographique des sites de Guipry et Kergoff en Bretagne.	15
Figure 8 : Concentrations horaires en $PM_{2.5}$ et NH_3 à Kergoff (IMT Lille Douai, 2019).	16
Figure 9 : Variation horaire des concentrations en NH_3 et de la température ambiante à Kergoff (IMT Lille Douai, 2019).....	16
Figure 10 : Concentrations hebdomadaires en NH_3 mesurées par tubes passifs à Kergoff (IMT Lille Douai, 2019).....	16
Figure 11 : Comparaison des concentrations journalières en NH_4^+ observées dans les particules $PM_{2.5}$ à Kergoff et Guipry (IMT Lille Douai, 2019).	16
Figure 12 : Evolution pluriannuelle des émissions de NH_3 en Bretagne depuis 1990.	19
Figure 13 : Evolution sectorielle pluriannuelle des émissions de NH_3 par l'agriculture en Bretagne.	19
Figure 14 : Carte des flux d'émissions de NH_3 par communes bretonnes en 2016.	20
Figure 15 : Concentrations maximales de NH_3 (haut) et NH_4^+ (bas) à la surface modélisées avec ESMEALDA pour le 27 février 2019.....	22
Figure 16 : Photo d'un analyseur Fidas.....	23
Figure 17 : Photo de l'AE33 à la station Pays-Bas de Rennes.....	24
Figure 18 : ACSM du réseau de surveillance d'Atmo Hauts-de-France installé à Creil à une cinquantaine de kilomètres au nord de la région parisienne.	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs réglementaires et guides, et seuils des procédures d'alerte pour les PM.	11
Tableau 2: Liste des valeurs guides pour le NH_3 ambiant instaurées par des administrations environnementales en Amérique du Nord (NH_3 : $1 \mu g/m^3 = 1,4 \text{ ppb}$ à $25^\circ C$) (WBK & Associates, 2004).	12
Tableau 3 : Cadre réglementaire aux niveaux européens et français (adapté de ADEME, 2012).	27

Glossaire

AASQA	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ACSM	Aerosol Chemical Speciation Monitor
AEE	Agence Européenne pour l'Environnement
ANSES	Agence nationale de sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
BC	Black Carbon
CARA	CARActérisation chimique des particules
CITEPA	Centre TEchnique de référence en matière de Pollution Atmosphérique et de changement climatique
CTM	Chemical Transport Model
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
EPCI	Etablissement public de coopération intercommunale
ESMERALDA	EtudeS Multi RégionALes De l'Atmosphère
EU	European Union
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique
LISA	Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques
MERA	Mesure et d'Evaluation en zone Rurale de la pollution Atmosphérique
MM5	Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model
NEC	National Emission Ceilings
NH ₃	Ammoniac (formule chimique)
NH ₄ ⁺	Ammonium
NH ₄ NO ₃	Nitrate d'ammonium
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfate d'ammonium
PM	Particulate Matter
PRSE	Plan Régional Santé Environnement
RGA	Recensement Général Agricole
UE	Union Européenne
VTR	Valeur Toxicologique de Référence
WRF	Weather Research and Forecasting model

I. Contexte de l'étude

Le 3^{ème} Plan Régional Santé Environnement (PRSE3) Bretagne 2017-2021 a été signé le 4 juillet 2017. Il formalise l'engagement des partenaires bretons face aux enjeux environnementaux, aux inégalités sociales et territoriales de santé.

La présente étude s'inscrit dans le cadre du PRSE3 Bretagne, et plus précisément de son objectif de « mieux connaître les émissions issues des activités agricoles en Bretagne » et de son action « d'assurer une surveillance de l'ammoniac dans l'air ». L'ammoniac NH_3 ne faisant pas partie des polluants réglementés dans l'air ambiant (Code de l'environnement R221-1), sa mesure n'est pas intégrée à ce jour au réseau de surveillance régionale d'Air Breizh.

En revanche, la Directive européenne 2016/2284/EU fixe des objectifs de réduction des émissions en NH_3 par pays aux horizons 2020 et 2030. Des études scientifiques sur l'ammoniac montrent en effet que des pays européens, comme la France, les Pays-Bas, la Suisse ou l'Italie, comportent de larges zones de fortes émissions d'origine agricole (*Figure 1*).

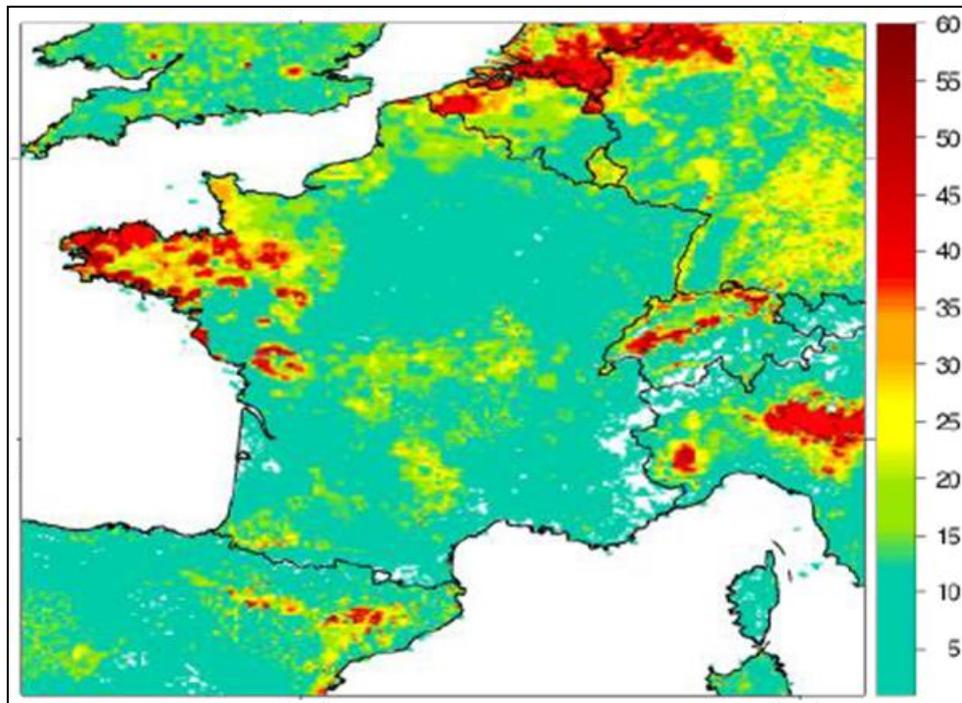


Figure 1 : Emissions de NH_3 en kilogrammes par hectare en France et dans les pays limitrophes (INERIS, 2019).

L'inventaire national français des émissions en NH_3 réalisé par le CITEPA indique que (1) les émissions ne montrent pas d'évolution notable depuis plus de 30 ans et (2) la Bretagne étant la première région française émettrice de NH_3 , elle est directement concernée par l'objectif réglementaire de réduction de la directive 2016/2284/EU (*Figures 1 et 2*).

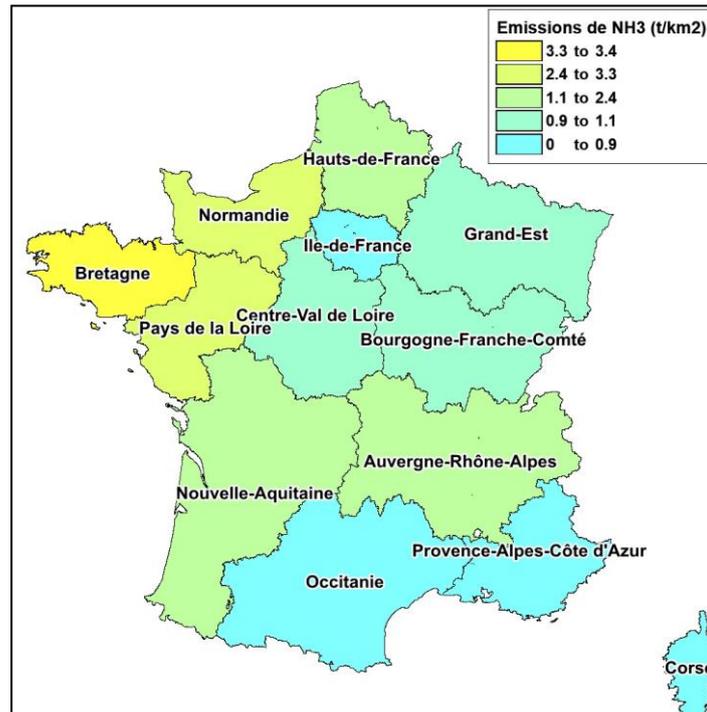


Figure 2 : Emissions de NH₃ en tonnes par km² dans les treize régions françaises (source : inventaires régionaux des AASQA – dernière année disponible).

Air Breizh étant l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air, elle a pour principale mission de mesurer les concentrations dans l'air pour les polluants réglementés. Air Breizh se doit également d'assurer un rôle de vigie par rapport à des polluants dits « émergents » du fait d'enjeux sanitaires nouveaux, d'interrogations sociétales mais également afin de permettre une meilleure compréhension des phénomènes atmosphériques.

Air Breizh a donc réalisé, dans la présente étude, un travail de recherche scientifique sur l'ammoniac en accompagnement d'une proposition de mise en place d'une stratégie de surveillance régionale dans l'air ambiant.

Ce rapport passe en revue des éléments de la littérature scientifique portant sur la formation de particules fines secondaires à partir du NH₃. Il détaille la méthodologie suivie pour quantifier les émissions de NH₃ en Bretagne et déterminer les concentrations ambiantes de NH₃ et particules fines lors d'épisodes de pollution. Nous verrons également les types d'instruments et les mesures pouvant être mis en œuvre en Bretagne.

II. La surveillance de la qualité de l'air en Bretagne

La surveillance de la qualité de l'air en Bretagne est assurée par Air Breizh, une association agréée par le Ministère de la Transition écologique et solidaire. Depuis sa création en 1986, Air Breizh a développé sur plus de 30 ans une expertise technique en études de la qualité de l'air ambiant.

Le dernier audit d'Air Breizh mené par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) en octobre 2017 a validé la méthodologie de surveillance de l'association pour les cinq prochaines années.

Les missions de base de l'association sont :

- La surveillance de la qualité de l'air ambiant fondé sur un réseau de mesure disséminé sur tout le territoire breton (*Figure 3*) et la mise en œuvre d'un laboratoire mobile, de cabines et de différents préleveurs, pour la réalisation de campagnes de mesure ponctuelles ;
- La prévision des épisodes de pollution atmosphérique à l'aide des données de mesures et d'outils de simulation numérique ;
- La diffusion des résultats et des prévisions et la transmission immédiate au Préfet et au public, des informations relatives aux dépassements ou prévisions de dépassements des seuils de recommandation et d'information du public et des seuils d'alerte.

L'impartialité de ses actions est assurée par la composition quadripartite de son Assemblée Générale regroupant quatre collèges :

- Collège 1 : services de l'Etat ;
- Collège 2 : collectivités territoriales ;
- Collège 3 : émetteurs de substances polluantes ;
- Collège 4 : associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées.

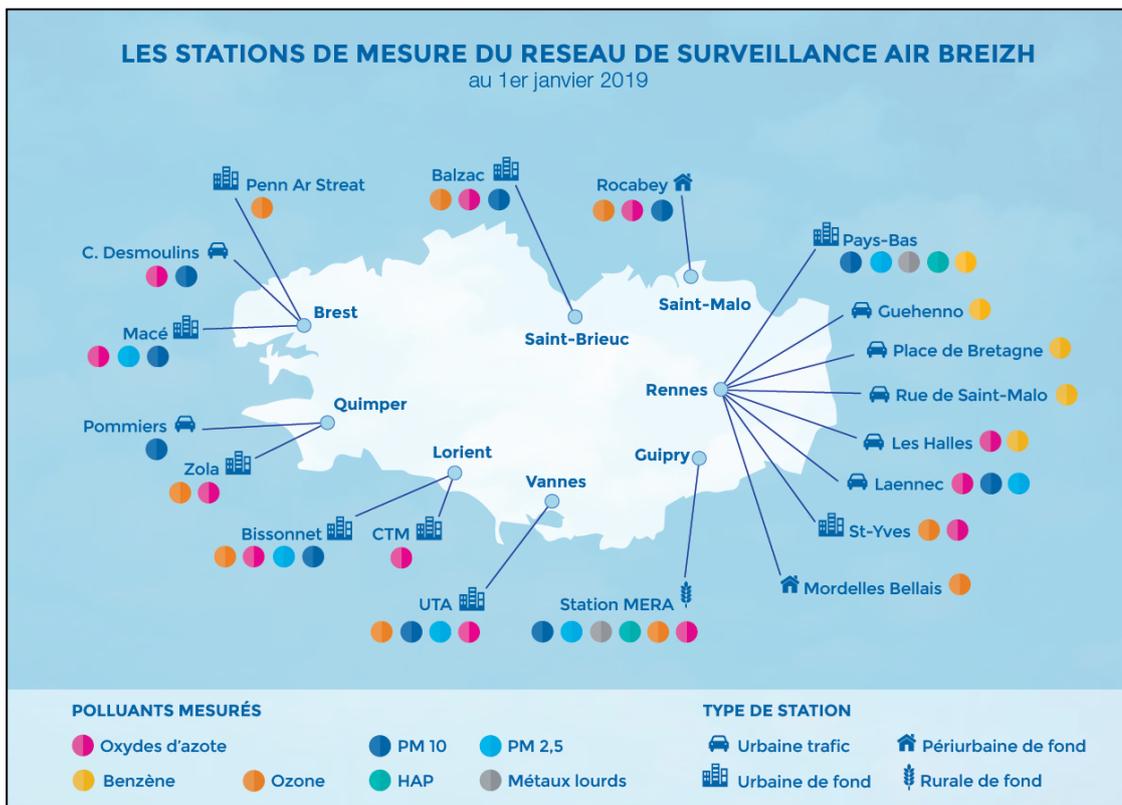


Figure 3 : Réseau de surveillance de la qualité de l'air opéré par Air Breizh au 1^{er} janvier 2019.

La surveillance de la qualité de l'air pour les polluants réglementés est assurée via des analyseurs répartis au niveau des grandes agglomérations bretonnes (*Figure 3*). Le réseau de mesure opéré par Air Breizh comporte 19 sites permanents, dont 15 avec des analyseurs en continu des concentrations en oxydes d'azote (NO_x), de l'ozone (O₃) et des particules fines (PM₁₀) et plus fines (PM_{2,5}).

En accord avec la réglementation européenne, les concentrations mesurées intègrent la base de données officielle de la qualité de l'air de l'Union Européenne, et sont ainsi reportées régulièrement sur le site internet de l'Agence européenne pour l'environnement (AEE).

Ce dispositif est complété par d'autres outils comme les inventaires d'émissions et la modélisation numérique, qui permettent d'assurer une meilleure couverture de la région et une connaissance plus précise.

En ce qui concerne la prévision de la qualité de l'air, les agences régionales du nord-ouest de la France, dont Air Breizh, ont mis en commun leurs ressources afin de mettre en œuvre le modèle de qualité de l'air ESERALDA (<http://www.esmeralda-web.fr/>, accès 12 novembre 2019) pour simuler les concentrations des polluants atmosphériques dans leurs régions respectives. Les cartes de prévision jusqu'à sept jours sont disponibles sur le site internet suscité.

La modélisation constitue une solution économique pour déterminer l'évolution de la qualité de l'air sur tout le territoire et permet ainsi d'identifier des problèmes potentiels dans des régions où il n'y a pas de site de mesures.

Toutefois ces modèles nécessitent un grand nombre de données d'entrée à haute résolution spatiale et temporelle. Au cours des quinze dernières années, Air Breizh a développé une expertise dans la préparation des inventaires d'émissions par polluants et par types de sources à intégrer dans les modèles de qualité de l'air. Les paramètres de ces modèles sont ajustés en fonction des données de mesures afin d'améliorer la qualité des prévisions.

III. Le NH₃, un précurseur des PM fines

III.1. La pollution particulaire

En Europe, plus d'un demi-million de personnes meurent prématurément chaque année à cause d'une qualité de l'air dégradée, dû entre autres à des concentrations élevées en particules fines (Lelieveld et al., 2019). Santé publique France (2016) estime que chaque année près de 50 000 personnes décèdent en France à cause de la pollution atmosphérique (<https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2016/impacts-sanitaires-de-la-pollution-de-l-air-en-france-nouvelles-donnees-et-perspectives>, accès 25 octobre 2019).

Selon un rapport récent de l'Agence sanitaire française (ANSES, 2019), les preuves d'effets néfastes sur la santé liée à l'exposition aux émissions issues de la combustion de biomasse et du trafic routier sont avérées. L'agence souligne également l'importance de considérer les autres sources de particules comme les activités agricoles qui pourraient également avoir un impact sanitaire.

En effet, en hiver, les épisodes de pollution sont plutôt dus aux phénomènes de combustion, dont le chauffage au bois. Alors qu'au printemps, une part importante des particules fines observées est constituée de nitrate d'ammonium (NH₄NO₃ particule secondaire) formé par la combinaison de l'ammoniac NH₃, émis majoritairement par les activités agricoles, notamment l'épandage d'engrais minéraux et organiques, et de l'acide nitrique HNO₃ produit de la réaction des émissions du trafic routier (Lelieveld et al., 2015 ; Bauer et al., 2016).

Chaque année, ces épisodes de pollution hivernaux et printaniers aux particules fines entraînent des dépassements de la valeur limite réglementaire de la Directive Européenne 2008/50/CE.

III.2. Brève description des mécanismes chimiques

L'ammoniac NH₃ est reconnu comme un précurseur majeur des PM atmosphériques. NH₃ est un gaz réactif et alcalin qui réagit avec les polluants acides, tels que les produits des réactions impliquant le SO₂ et les NO_x, pour produire du sulfate d'ammonium (NH₄)₂SO₄ et du nitrate d'ammonium NH₄NO₃ qui contribuent à la portion inorganique des PM fines secondaires (Figure 4) :

- Le dioxyde de soufre SO₂ s'oxyde en acide sulfurique H₂SO₄ ;
- L'acide nitrique HNO₃ résulte de l'oxydation des NO_x ;

En fait, le sulfate SO₄²⁻ et le nitrate NO₃⁻ sont en compétition pour former soit du (NH₄)₂SO₄, soit du NH₄NO₃ (Seinfeld et Pandis, 2006 ; Sportisse, 2008). Deux cas dépendant de la richesse du milieu en NH₄⁺ sont habituellement distingués :

- Si le milieu est riche en NH₄⁺, le (NH₄)₂SO₄ se forme d'abord, puis avec l'excès de NH₄⁺, le NH₄NO₃ ;
- Si le milieu est pauvre en NH₄⁺, il n'y en a pas assez pour neutraliser le SO₄²⁻ et l'aérosol est fortement acide ; il n'y a pas de formation de NH₄NO₃.

Précisons deux faits importants : tout d'abord, les concentrations en SO₂ ont fortement baissé ces dernières années pour atteindre des niveaux très bas ; en conséquence, Air Breizh a décidé de ne plus mesurer plus le SO₂ à ses stations fixes. Deuxièmement, la combinaison du HNO₃ avec le NH₃ pour former du NH₄NO₃ est favorisée lorsque les températures sont suffisamment froides.

Alors que le temps de résidence du NH₃ dans l'air est approximativement d'une journée, les particules fines peuvent rester en suspension de 7 à 10 jours, ce qui permet à (NH₄)₂SO₄ et NH₄NO₃ d'être transportés par les vents dominants sur de longues distances.

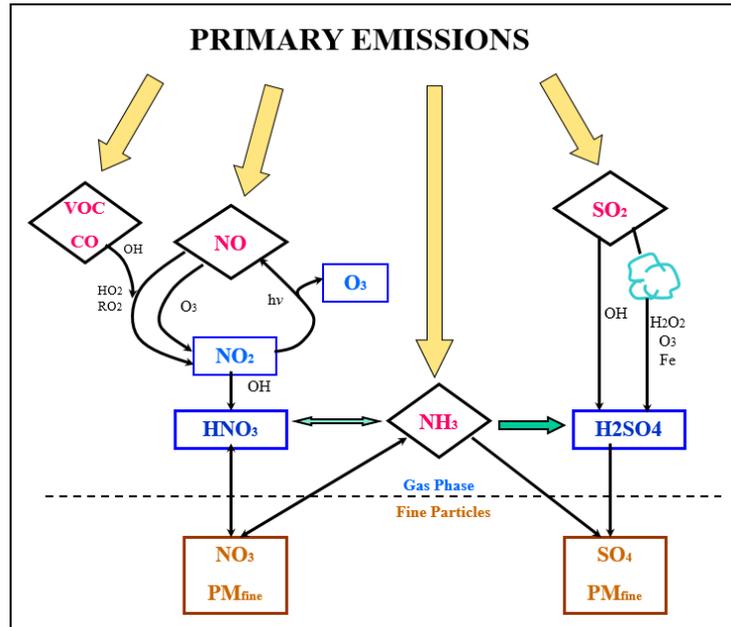


Figure 4 : Mécanismes de conversion des précurseurs gazeux en PM fines secondaires.

III.3. Valeurs limites et de référence

III.3.1 Les particules fines

Les concentrations en PM dans l'air ambiant sont encadrées par des valeurs réglementaires et des seuils de procédures d'alerte (PM₁₀), correspondant à des moyennes sur des périodes journalières et annuelles, pour tenir compte de l'exposition chronique et à court terme (Tableau 1).

Tableau 1 : Valeurs réglementaires et guides, et seuils des procédures d'alerte pour les PM.

Particules en suspension	Valeurs réglementaires en air extérieur en vigueur Décrets N°98-360, 2002-2113, 2003-1479, 2007-1479, 2008-1152, 2010-1250 Directive européenne 2008/50/CE			Seuils des procédures d'alerte en air extérieur en vigueur Procédures préfectorales		Valeurs guides OMS (2006)
	Valeurs limites	Valeurs cibles	Objectifs de qualité	Seuil IR	Seuil Alerte	
PM₁₀	40 µg/m ³ en moyenne annuelle 50 µg/m ³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 35 jours/an	-	30 µg/m ³ en moyenne annuelle	50 µg/m ³ en moyenne journalière	80 µg/m ³ en moyenne journalière	20 µg/m ³ en moyenne annuelle 50 µg/m ³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 3 jours/an
PM_{2.5}	25 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	Non inclus dans les procédures préfectorales	Non inclus dans les procédures préfectorales	10 µg/m ³ en moyenne annuelle 25 µg/m ³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 3 jours/an

III.3.2 Le NH₃

Le NH₃ est un gaz incolore et d'odeur piquante caractéristique qui peut provoquer des gênes olfactives à partir de concentrations dans l'air ambiant de 350 µg/m³. A de fortes concentrations, il peut entraîner des irritations des voies respiratoires et des yeux.

L'emploi et le stockage de l'ammoniac sont réglementés lorsqu'il s'agit d'installations classées pour la protection de l'environnement (e.g., <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/installation-classee-protection-lenvironnement>, accès 27 novembre 2019). Toutefois le NH₃ n'est pas réglementé dans l'air ambiant. Il n'est donc pas surveillé de façon continue par les AAQSA.

L'ANSES (2018) a validé trois Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) pour une exposition au NH₃ par inhalation et les effets respiratoires sur l'homme :

- Pour une exposition aiguë sur une durée de 24 heures : 5900 µg/m³ ;
- Pour une exposition subchronique : il est recommandé d'utiliser la valeur d'exposition chronique de 500 µg/m³ établie par l'agence de protection environnementale américaine ;
- Pour une exposition chronique : 500 µg/m³ provenant également de l'agence américaine.

Des agences environnementales en Amérique du Nord ont établi des valeurs guides dans l'air ambiant, correspondant à des moyennes de concentrations mesurées sur des périodes allant d'une heure à une année. Le *Tableau 2* présente les valeurs définies en 2004.

Tableau 2: Liste des valeurs guides pour le NH₃ ambiant instaurées par des administrations environnementales en Amérique du Nord (NH₃ : 1 µg/m³ = 1,4 ppb à 25°C) (WBK & Associates, 2004).

Administration	Nom de la valeur guide	Valeurs moyennées (µg/m ³)			
		1 heure	8 heures	24 heures	Annuel
Alberta	Qualité de l'air ambiant	1400			
Manitoba	Concentration acceptable maximum	1400			
Ontario	Critère de la qualité de l'air ambiant			100	
Californie	Niveau d'exposition de référence	3200			200
Louisiane	Norme de l'air ambiant				
Michigan	Seuil initial d'un examen préalable				
New Hampshire	Valeur limite dans l'air ambiant			100	100
New Jersey	Quotient de risque				100
Caroline du Nord	Niveau ambiant acceptable	2700			
Ohio	Concentration au sol maximum acceptable	170			
Oklahoma	Concentration ambiante maximum acceptable			1742	
Texas	Effets lors d'un examen préalable	170			17
Washington	Niveau d'impact acceptable de la source			100	
Wisconsin	Concentration dans l'air ambiant			432	

III.4. Bonnes pratiques agricoles pour réduire les émissions

Il n'y a pas de moyen direct de réglementer les émissions de NH_3 d'origine agricole, comme c'est le cas pour les processus de combustion par exemple. Il s'agit plutôt de mettre en œuvre de façon pérenne des actions à la source afin de réduire les émissions.

Depuis une quinzaine d'années, des organismes de recherche agronomique dans le monde ont mis en place des stratégies de contrôle des émissions du NH_3 en concertation avec le secteur agricole (e.g., *Atia et al.*, 2004). Des états européens ont également développé une expertise dans le contrôle des émissions fondée sur les mesures atmosphériques et la législation. Par exemple, l'institut national néerlandais de la santé publique et de l'environnement surveille les concentrations atmosphériques en NH_3 en de multiples sites fixes depuis plus d'un quart de siècle ; le pays a réussi à limiter les quantités de NH_3 émis par les exploitations d'élevage grâce à leur décret sur les bâtiments d'élevage.

En France, l'ADEME (2019a, b) a récemment établi un guide national des bonnes pratiques agricoles pour limiter les émissions de NH_3 et de particules dans le but d'améliorer la qualité de l'air. Ce catalogue de bons procédés répond à la Directive européenne NEC (« National Emission Ceilings ») 2016/2284/EU, qui fixe pour la France des objectifs de réduction d'émissions de 13% pour le NH_3 et de 57% pour les $\text{PM}_{2.5}$ en 2030 par rapport au niveau de 2005 ;

Le guide répertorie par thème les techniques les plus pertinentes pour réduire les émissions pour les gestions de l'élevage et des sols agricoles :

- Diminuer les quantités de protéines brutes dans l'alimentation des bovins, porcins et volailles afin de limiter les rejets azotés dans les déjections.
- Limiter les pertes d'azote sous forme de NH_3 des bâtiments d'élevage des bovins, porcins, et volailles ;
- Couvrir les stockages des effluents d'élevage ;
- Augmenter le temps passé au pâturage pour les bovins ;
- Optimiser les apports organiques et minéraux aux besoins des cultures pour diminuer leurs quantités ;
- Réduire la surface et le temps de contact des produits d'épandage avec l'atmosphère ;
- Mettre en œuvre des alternatives au brûlage des résidus de récolte ;
- Diminuer les émissions des engins agricoles.

IV. Mesures des concentrations en NH_3 dans l'air ambiant

IV.1. Etudes ponctuelles

Ces dernières années, différentes AASQA (<https://atmo-france.org/la-carte-des-aasqa/>, accès 27 novembre 2019) ont mené des campagnes d'études sur le NH_3 dans leurs régions respectives.

Par exemple, Air Rhône-Alpes (2016) a réalisé d'avril à octobre 2015 des mesures de NH_3 à proximité d'activités agricoles, potentiellement émettrices lors des épandages d'engrais. La concentration moyenne horaire est de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (9 ppb à 25°C). Les concentrations maximales sont observées durant la première semaine de juin avec un pic horaire à $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (130 ppb). L'appareil de mesures retenu pour la campagne était l'analyseur en continu Picarro (Figure 5). Cet appareil est aujourd'hui l'analyseur validé par le LCSQA pour les mesures de NH_3 effectuées par toutes les AASQA en France.



Figure 5 : L'analyseur de NH_3 en continu Picarro ; photo du site officiel https://www.picarro.com/g2103_gas_concentration_analyzer (accès 18 novembre 2019)

IV.2. Disparité régionale des concentrations en NH_3

Une campagne de mesures menée par l'INRA (Fauvel et al., 2019) sur des sites agricoles et en forêt pendant dix ans a montré que la concentration mensuelle moyenne la plus élevée ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou 33 ppb) est relevée au mois de mars sur un site agricole en Bretagne (Figure 6). Les concentrations « agricoles » sont en général trois fois supérieures aux niveaux mesurés en forêt. Les pics de printemps sont deux à trois fois plus élevés que les concentrations en été, en raison des pratiques d'épandage sur les cultures.

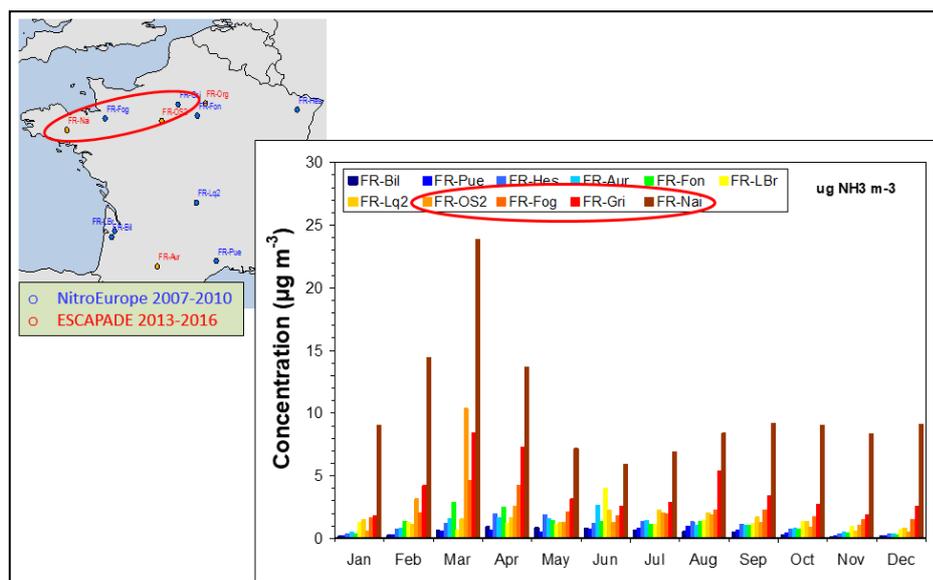


Figure 6 : Variabilité mensuelle des concentrations en NH_3 en différents points de mesures (Fauvel et al., 2019).

IV.3. Mesures au site rural breton du programme MERA

L'observatoire MERA est la composante française du dispositif européen EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) de suivi sur le long terme de la pollution atmosphérique. MERA permet d'évaluer l'évolution de la pollution de fond et de répondre au besoin du système de surveillance national s'agissant de la directive européenne 2008/50/CE (<https://www.lcsqa.org/fr/rapport/programme-mera-qualite-de-lair-dans-les-sites-ruraux-en-lien-avec-les-directives>, accès 18 novembre 2019).

Depuis 2008, le site MERA breton est situé à Guipry (1°50'26''O, 47°49'28''N) en Ile-et-Vilaine (<https://www.airbreizh.asso.fr/ville/guipry/>, accès 18 novembre 2019). Au début de l'année 2020, la station de mesures sera transférée au nouveau site de Kergoff (2°56'37''O, 48°15'43''N) dans la commune de Merléac dans les Côtes-d'Armor (*Figure 7*).

L'IMT Lille Douai et Air Breizh ont conjointement réalisé une campagne de mesures préliminaires à Kergoff lors du 1^{er} semestre de 2019, pour comparer l'influence des sources de pollution entre les deux stations.



Figure 7 : Situation géographique des sites de Guipry et Kergoff en Bretagne.

Afin d'étudier en particulier l'influence potentielle des zones agricoles localisées à proximité du site sélectionné, des mesures de NH₃ ont été effectuées en continu avec un analyseur PICARRO du 26 février au 14 mars (*Figure 8*).

Les concentrations de NH₃ sont plutôt élevées (> 10 ppb) pendant toute la période, en particulier en début de campagne le 27 février 2019. Les niveaux supérieurs à 40-50 ppb concordent avec un épisode de pollution particulaire observé localement. En effet, la spéciation des PM_{2.5} permet de mettre en évidence une variabilité temporelle similaire entre les concentrations en NH₄⁺ dans les PM_{2.5} et les concentrations en NH₃. De plus, les concentrations horaires en NO₂ et en PM_{2.5} ont des variabilités similaires, ce qui est cohérent avec l'hypothèse d'un épisode particulaire induit par la formation d'espèces inorganiques.

Du 27 février au 3 mars, la variabilité des concentrations en NH₃ est corrélée à celle de la température (*Figure 9*). Les conditions météorologiques ont donc probablement influencé les émissions de NH₃. Le profil est marqué par des maxima pendant la journée et peut s'expliquer par l'élévation de la température ambiante qui conduit à des émissions de NH₃ par des sources diffuses associées aux épandages. Cela indique un impact non négligeable du secteur agricole sur les concentrations en NH₃ observées à Kergoff pendant la période d'étude printanière.

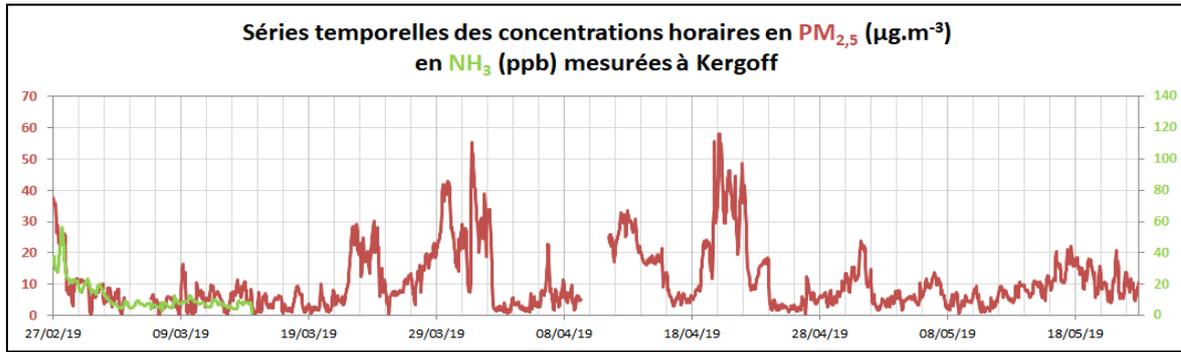


Figure 8 : Concentrations horaires en $PM_{2.5}$ et NH_3 à Kergoff (IMT Lille Douai, 2019).

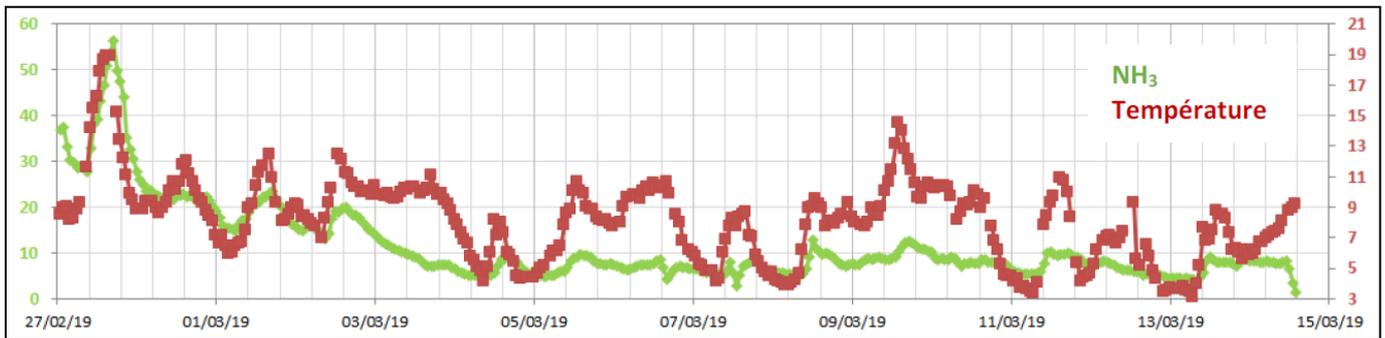


Figure 9 : Variation horaire des concentrations en NH_3 (ppb) et de la température ambiante à Kergoff (IMT Lille Douai, 2019).

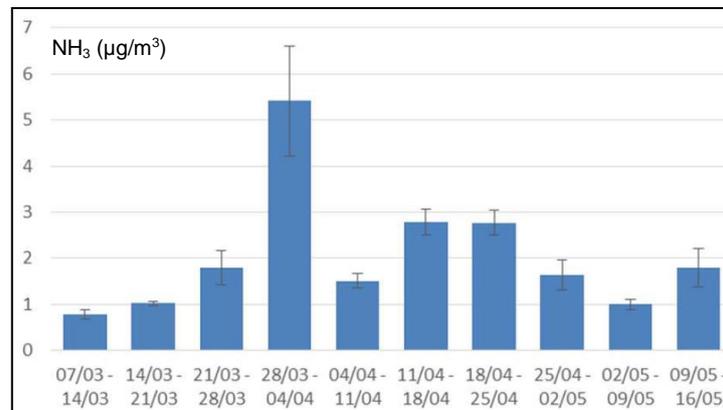


Figure 10 : Concentrations hebdomadaires en NH_3 mesurées par tubes passifs à Kergoff (IMT Lille Douai, 2019).

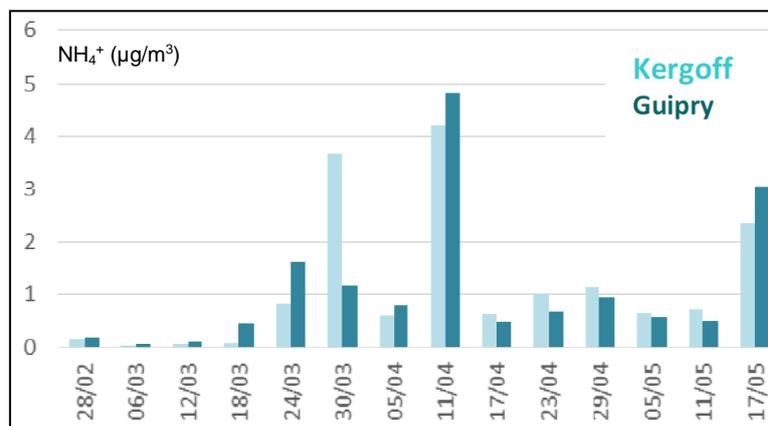


Figure 11 : Comparaison des concentrations journalières en NH_4^+ observées dans les particules $PM_{2.5}$ à Kergoff et Guipry (IMT Lille Douai, 2019).

Des mesures hebdomadaires de NH_3 par tubes passifs ont également été réalisées à Kergoff du 7 mars au 16 mai. La *Figure 10* montre que les concentrations en NH_3 ont été élevées pendant la semaine du 28 mars au 4 avril. Cela correspond à un épisode de pollution identifié le 31 mars avec des niveaux élevés en PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$. La *Figure 11* met en évidence une forte contribution locale des particules d'ammonium dans les $\text{PM}_{2.5}$ mesurés au site de Kergoff dès le 30 mars.

V. Emissions de NH₃ par le secteur agricole breton

V.1. Méthode d'inventaire

Pour les secteurs agricole et sylvicole, les sous-secteurs intégrés sont les cultures, l'élevage, les bâtiments et les engins. En ce qui concerne les émissions liées aux cultures et à l'élevage, elles sont séparées en choisissant de rapporter l'ensemble des émissions liées aux épandages et aux pâtures dans la partie culture (avec prairies) et l'ensemble des émissions des bâtiments et du stockage des déjections dans la partie élevage.

Pour les cultures, les émissions sont liées aux épandages d'engrais organiques ou minéraux, à la restitution d'azote des résidus de cultures, aux excréments des animaux en pâturage et aux passages des machines agricoles. Les émissions de ce sous-secteur sont déterminées à partir de facteurs d'émissions d'une part et d'autre part :

- Des surfaces agricoles communales, reconstituées à l'aide des statistiques agricoles annuelles départementalisées et des données communales du Recensement Général Agricole (RGA) ;
- Des quantités d'azote excrétées selon le système de gestion des déjections (épandage et pâturage) déterminées à partir des cheptels communaux ;
- Des quantités régionales de fertilisants minéraux réparties à la commune par type de culture ;
- Des statistiques de passages par culture en fonction du taux de limon.

Les émissions prises en compte dans le sous-secteur de l'élevage sont liées à la fermentation entérique et au stockage des déjections animales. Le cheptel est estimé à partir des statistiques agricoles annuelles départementalisées et des données communales du RGA. Dans le cas de présence de secret statistique, le cheptel est reconstitué à partir des Surfaces Agricoles Utiles des communes. Les quantités d'azote excrétées et les émissions sont ensuite calculées à partir de facteurs d'émissions détaillées par espèce (bovins, caprins, ...) et par système de gestion des déjections (épandage, ...).

Les consommations énergétiques des bâtiments (élevage et serres) sont issues d'une ventilation des données de consommation régionales par énergie (gaz naturel, fioul...) en fonction des surfaces des bâtiments géo-référencés. Plus spécifiquement, pour les serres chauffées au bois, les données locales de consommations sont intégrées à la commune lorsqu'elles sont connues. Ces consommations sont ensuite associées à des facteurs d'émissions par énergie pour déterminer les émissions.

Les parcs communaux de machines sont reconstitués à partir du recensement du RGA et des statistiques agricoles annuelles départementalisées. Les consommations énergétiques sont déterminées par type d'engins à partir du temps d'utilisation moyen, de consommations unitaires, de récolte de bois, de surfaces forestières et de consommations régionales. Ces consommations sont ensuite associées à des facteurs d'émissions pour déterminer les émissions.

V.2. Résultats

Un total de 679 kilotonnes de NH₃ a été émis en France en 2016 (<https://www.citepa.org>, accès 25 novembre 2019). Les émissions de NH₃ proviennent essentiellement des effluents d'élevage et des applications d'engrais, qui représentent à eux deux 98% du total annuel.

Bien que la Bretagne ne couvre que 4% de l'hexagone, le secteur agricole de la région contribue annuellement à 14% of des émissions nationales, c'est-à-dire près de 100 kilotonnes. De 2008 à 2016, les émissions bretonnes ont augmenté de 3% (*Figures 12 et 13*).

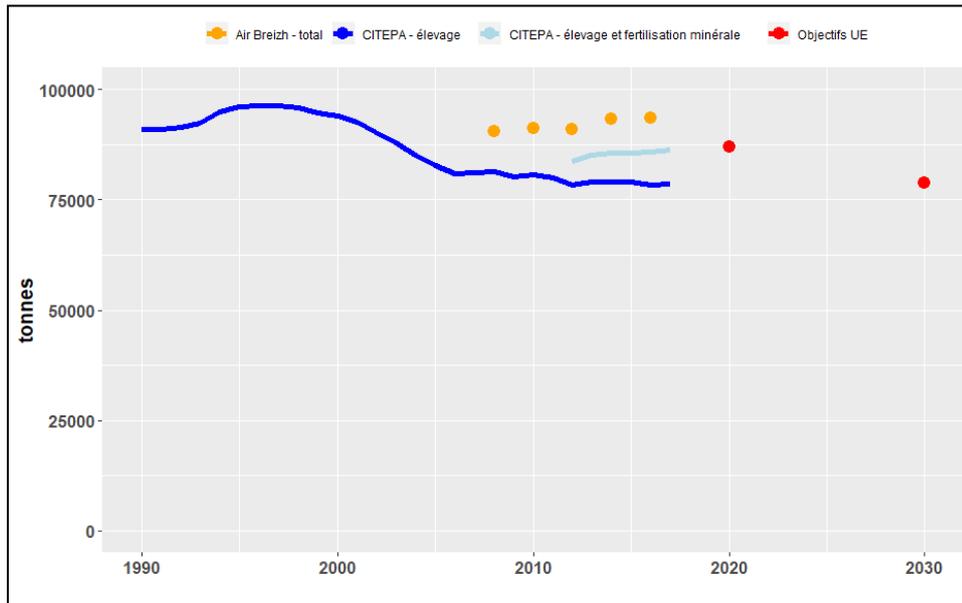


Figure 12 : Evolution pluriannuelle des émissions de NH₃ en Bretagne depuis 1990.

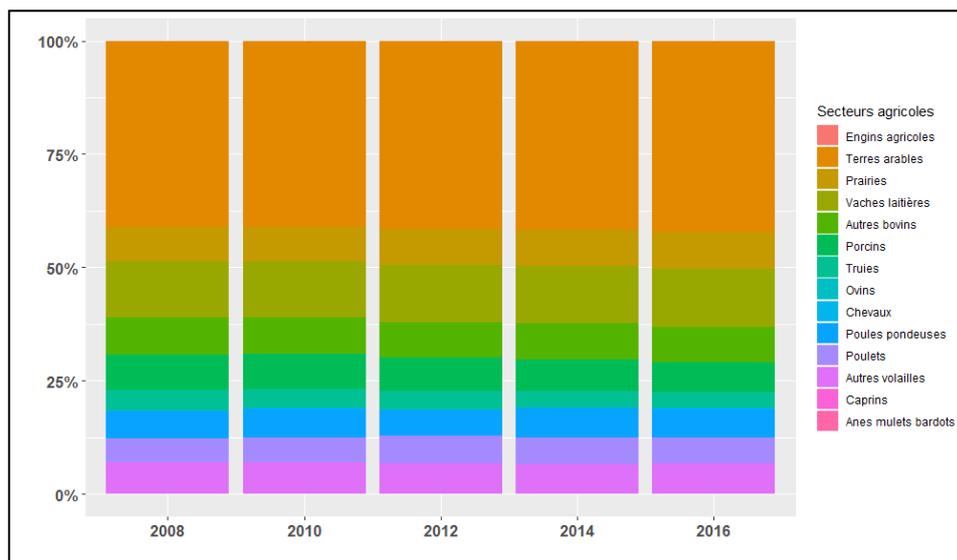


Figure 13 : Evolution sectorielle pluriannuelle des émissions de NH₃ par l'agriculture en Bretagne.

Depuis 2010, la France doit réduire ses émissions de NH₃ selon la Directive « National Emissions Ceilings (NEC) » 2001/81/EC (UE, 2001). En 2016, la Directive NEC 2016/2284/EU (UE, 2016) a remplacé la directive antérieure en établissant des engagements de réduction des émissions du NH₃ pour 2020 et 2030, basés sur la quantité totale rejetée en 2005 (i.e., 659 kilotonnes). La réduction des émissions pour la France a été fixée à 4% pour toutes les années entre 2020 et 2029, et à 13% à partir de 2030.

La Figure 14 présente la carte bretonne des flux d'émissions de NH₃ en tonnes par km² pour l'année 2016. Les aires urbaines, avec des zones agricoles moins étendues, sont caractérisées par des émissions de moins de 1 à 2 t/km².

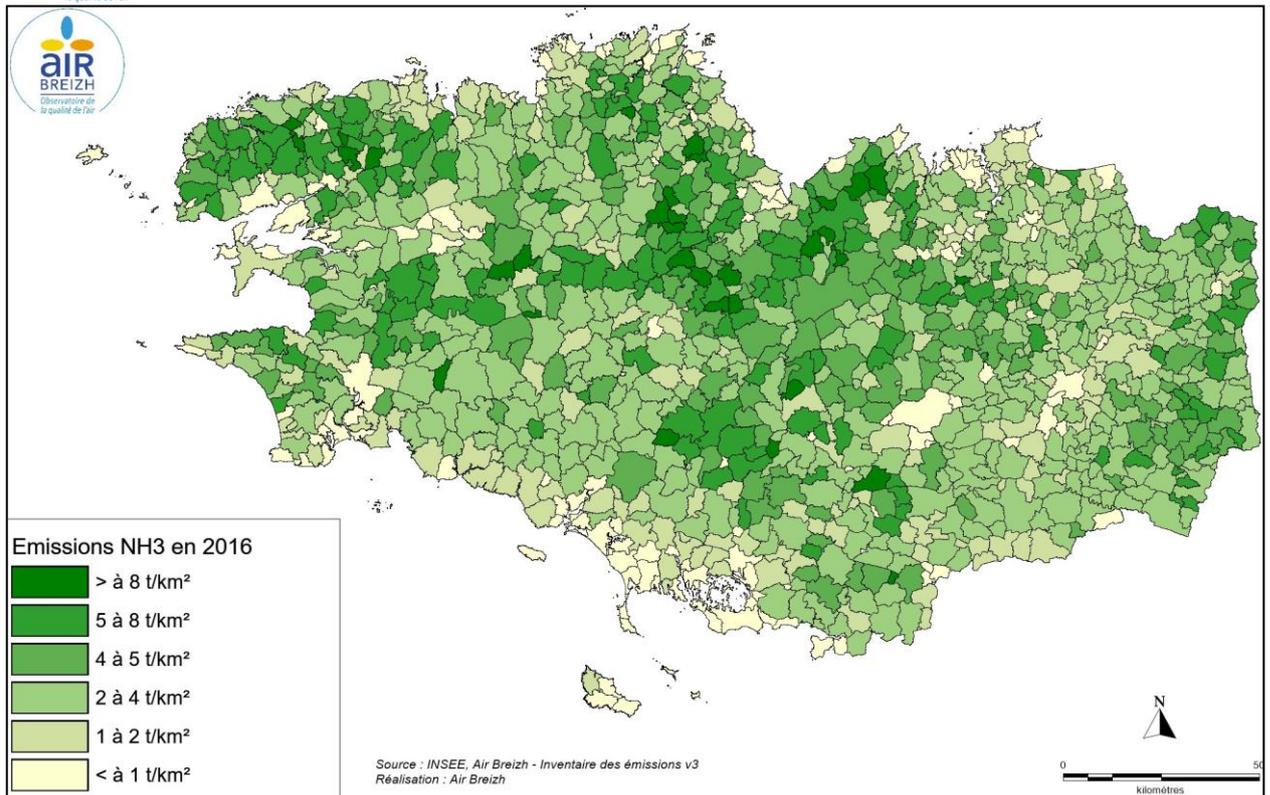


Figure 14 : Carte des flux d'émissions de NH₃ par communes bretonnes en 2016.

VI. Modèles de chimie-transport

Les modèles de chimie-transport, aussi connus sous leur nom anglais de « Chemical Transport Model » (CTM) dans la communauté scientifique, sont composés d'un ensemble de processus physiques et chimiques. A partir de données de météorologie et de cadastre d'émissions, un CTM permet de calculer des champs en 4 dimensions (x, y, z, t) de concentrations de polluants dans l'atmosphère. Les CTM sont mis en œuvre à des fins de prévisions plus ou moins lointaines de la qualité de l'air.

Le modèle de chimie-transport CHIMERE, co-développé par l'IPSL et l'INERIS (*LMD-INERIS-LISA*, 2017), prend en compte les processus d'émissions et de transport, les transformations chimiques, ainsi que le dépôt des espèces gazeuses et des aérosols, afin de calculer leurs champs de concentrations sur des domaines allant de l'échelle urbaine à l'échelle continentale.

Le modèle utilise des données d'entrée d'émissions, d'utilisation des sols et des champs météorologiques issus de modèles tels que MM5, WRF et ECMWF. La coordination de son développement est assurée au Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD, <http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>, accès 26 novembre 2019).

CHIMERE intègre le modèle ISORROPIA pour calculer la composition de l'aérosol inorganique potassium – sulfate – nitrate – chlorure – sodium – calcium – potassium - magnésium en équilibre thermodynamique avec les précurseurs en phase gazeuse, comme l'ammoniac (e.g., *Nenes et al.*, 1998) (<https://www.epfl.ch/labs/lapi/isorropia/>, accès 26 novembre 2019).

CHIMERE est utilisé pour la prévision opérationnelle de la qualité de l'air dans le cadre du système PREV'AIR à l'INERIS à l'échelle nationale et du système inter-régionale ESERALDA (EtudeS Multi RégionALES De l'Atmosphère) (<http://www.esmeralda-web.fr/>, accès 14 novembre 2019) mise en œuvre par Airparif et regroupant les AASQA du nord-ouest de la France.

ESERALDA intègre un module calculant les émissions du NH₃ d'origine agricole. Ce module distingue les engrais minéraux des engrais organiques pour lesquels le profil d'émission est lié à l'élevage (*Airparif*, 2019).

ESERALDA calcule les concentrations de NH₃ et NH₄⁺ sur le domaine de simulation du nord-ouest de l'hexagone. La *Figure 15* illustre l'épisode de pollution particulière qui a affecté cette partie du territoire français dont la Bretagne les 26 et 27 février 2019. Ces deux jours, Air Breizh avait déclenché pour les quatre départements bretons une procédure d'information allégée pour les PM₁₀.

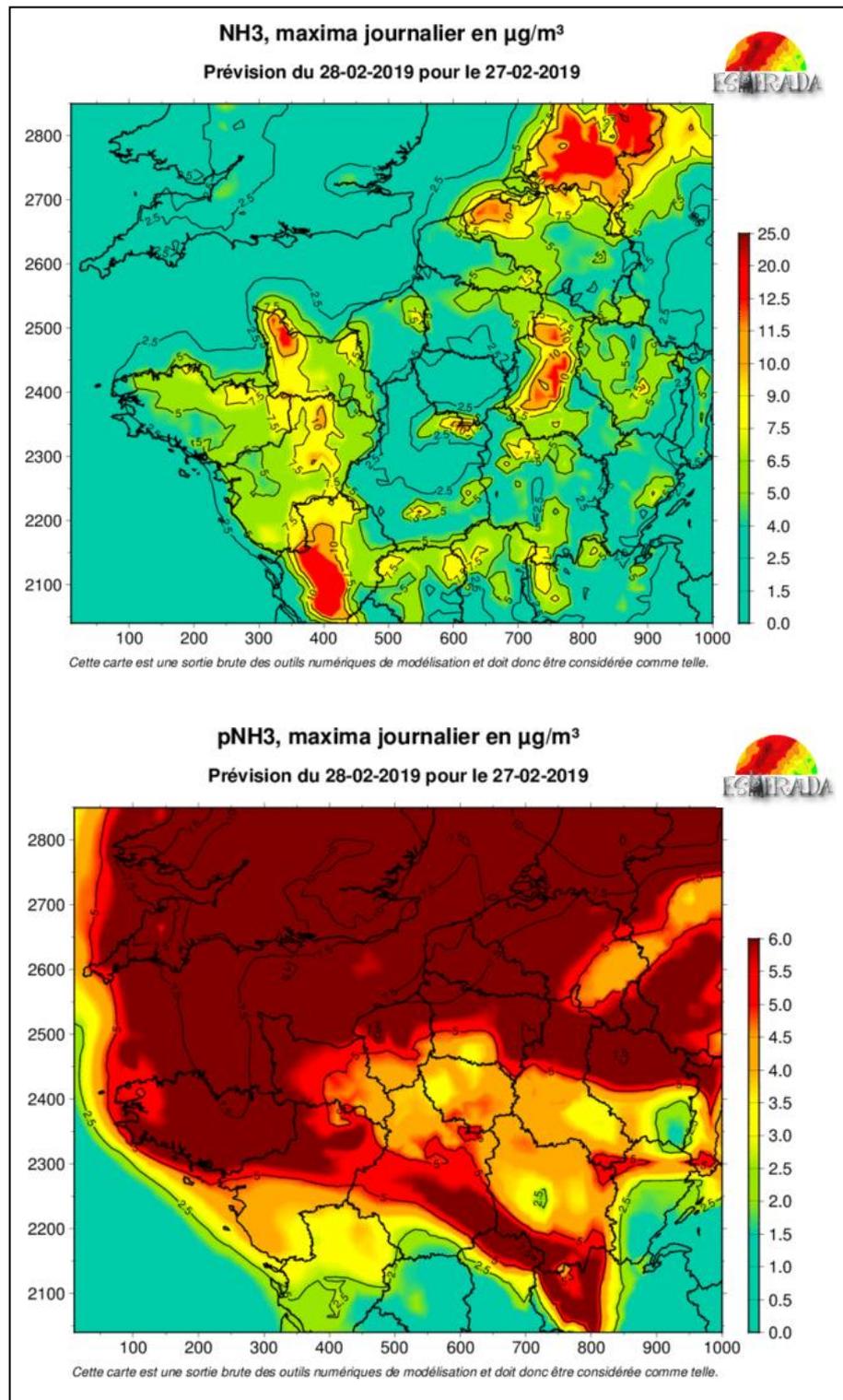


Figure 15 : Concentrations maximales de NH₃ (haut) et NH₄⁺ (bas) à la surface modélisées avec ESERALDA pour le 27 février 2019.

VII. Stratégie de surveillance du NH₃ en Bretagne

VII.1. Composante mesures

Nous avons l'intention de créer un réseau de mesures automatiques des concentrations horaires en NH₃ afin d'examiner sa variabilité journalière ainsi que sa tendance sur le long terme. Au cours des prochaines années, des analyseurs NH₃ seront déployés sur quatre sites fixes où sont déjà installés d'autres instruments de mesures en continu.

VII.1.1 Station Kergoff/MERA

Il est prévu d'installer un analyseur Picarro pour mesurer le NH₃ au site rural de fond Kergoff/MERA au cours du troisième trimestre 2020, sous réserve de l'obtention de subventions d'investissements du Ministère de la Transition écologique et solidaire, et du Conseil Régional.

Comme nous l'avons vu précédemment, les concentrations en NH₃ peuvent être élevées dans les zones rurales, et des points chauds ("hotspots") de très fortes concentrations liées aux pratiques agricoles peuvent y apparaître. Pour spatialiser les variations en concentrations et mettre en évidence ces points chauds, nous pourrions compléter la mesure en continu avec des mesures intégrées hebdomadaires par tubes passifs, et l'INRA pourrait réaliser des campagnes de mesures ponctuelles avec leur instrument installé dans leur camion-laboratoire.

La surveillance en continu des PM₁₀ et PM_{2.5} est actuellement assurée à l'aide d'un analyseur de type BAM (« Beta Attenuation Monitoring ») (<https://metone.com/products/bam-1020/>, accès 26 novembre 2019). Après l'été 2020, le BAM sera remplacé par un analyseur optique de particules Fidas (<https://www.palas.de/en/product/fidas200>, accès 22 novembre 2019) permettant de déterminer les concentrations massiques des PM de différentes tailles (Figure 16). Cet instrument est homologué pour la mesure réglementaire des PM₁₀ et PM_{2.5}. Il mesure également les niveaux en PM₁.



Figure 16 : Photo d'un analyseur Fidas.

Le site est également équipé d'un collecteur DIGITEL DA80 (<http://www.digitel-ag.com/de/en/products/high-volume-sampler-en/dha-80/>, accès 26 novembre 2019) qui permet de collecter automatiquement sur filtres les aérosols atmosphériques. Un prélèvement est effectué tous les six jours, suivi d'une analyse chimique des particules en laboratoire.

VII.1.2 Station Pays-Bas/CARA

La station de fond urbain Pays-Bas de Rennes appartient au dispositif de mesures national CARA (Caractérisation chimique des particules). L'objectif principal de CARA est de déterminer les principales sources de PM en situation normale et lors des épisodes de pollution. Pour cela, les sites CARA s'appuient sur de nombreux instruments de mesures complémentaires.

La station est actuellement munie d'un Fidas pour déterminer les concentrations massiques des PM total, PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ en temps réel (Figure 16).

Depuis janvier 2019, Pays-Bas est équipé d'un Aethalomètre multi-longueurs d'onde AE33 (<https://mageesci.com/our-products/ae33/>, accès 22 novembre 2019). Cet analyseur automatique mesure le carbone suie sous sa forme « Black Carbon » (BC) afin de servir d'indicateur des émissions primaires de combustion (Figure 17). La carbone suie figure parmi les polluants émergents prioritaires selon l'avis émis par l'ANSES en juin 2018.



Figure 17 : Photo de l'AE33 à la station Pays-Bas de Rennes.

Pour compléter la surveillance des PM à la station, Air Breizh installera dès la mi-janvier 2020 un « Aerosol Chemical Speciation Monitor » (ACSM). L'ACSM est basé sur la technologie de la spectrométrie de masse et quantifie les espèces non-réfractaires (volatiles à 600°C) des particules submicroniques (i.e., PM₁) (Figure 18).

Un outil de visualisation (en temps quasi-réel) de la composition chimique des particules fines observée sur les différents sites multi-instrumentés du programme CARA a été mis à la disposition des acteurs du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. Il permet notamment d'optimiser les échanges d'informations entre les différentes AASQA et le LCSQA pour la compréhension des épisodes de pollution.

Les espèces chimiques non-réfractaires mesurées avec l'ACSM sont les organiques, nitrates (NO₃⁻), sulfates (SO₄²⁻), ammonium (NH₄⁺) et chlorure non marin (Cl⁻). Leurs concentrations respectives renseignent sur les sources d'émissions. Nous l'avons vu précédemment, le nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) est émis par la combustion et les activités agricoles ; la combustion, dont le trafic et les industries en été, et le chauffage en hiver, émet du NO₂, et les émissions agricoles du NH₃ comme les élevages et les épandages. Ces deux gaz se combinent si les températures sont suffisamment froides pour former des particules de NH₄NO₃.

Enfin, il est envisagé d'équiper le site d'un Picarro en 2021 en accompagnement de l'ACSM. Nous serons alors capables d'observer comment le NH₃ réagit avec le NO_x pour produire des particules de nitrate d'ammonium NH₄NO₃.

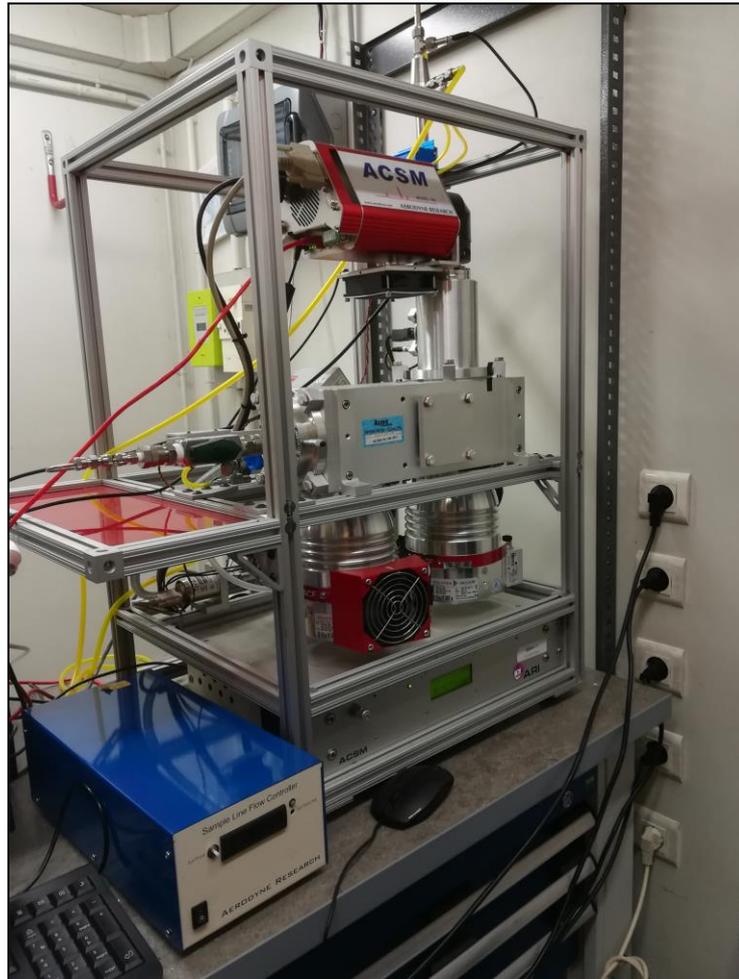


Figure 18 : ACSM du réseau de surveillance d'Atmo Hauts-de-France installé à Creil à une cinquantaine de kilomètres au nord de la région parisienne.

VII.1.3 Autres stations de surveillance

Les années suivantes, nous prévoyons de mettre en œuvre deux autres analyseurs de NH_3 . Nous commencerons par installer les deux analyseurs de NH_3 sur des sites urbains où nous mesurons déjà les PM dans le but de surveiller simultanément les deux polluants. Toutefois, si ces sites ne sont pas situés sous le vent des zones rurales, nous pourrions déplacer les instruments vers les autres sites opérationnels ou bien d'autres sur des emplacements plus appropriés. Au cours des années, l'association a développé une méthodologie rigoureuse pour sélectionner et établir un site de mesures en moins de trois mois. Les analyseurs pourraient également être installés dans le camion laboratoire pour faire des campagnes de mesures in situ.

VII.2. Mise en place d'un système d'alerte

La part du NH_4^+ dans les PM_{10} sera déterminée en exploitant les mesures de l'ACSM installé au site urbain de fond de Pays-Bas. Les données en temps réel des autres espèces mesurées telles que PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NH_3 et NO_3^{2-} permettront de caractériser la composition chimique d'un épisode de pollution et d'affirmer si le pic observé en particules provient des activités agricoles.

Nous souhaitons développer un système d'alerte à la pollution particulaire en partenariat avec la Chambre régionale d'Agriculture afin de limiter les risques de pollution. Ce type de système est déjà en place dans l'état du Colorado aux Etats-Unis (<http://rmwarningsystem.com/>, accès 21 novembre 2019). En effet, les activités agricoles dans cet état américain peuvent émettre de

grandes quantités d'ammoniac qui contribuent à la pollution particulaire en aval et affectent le parc national des Montagnes Rocheuses. Dans le cas d'épisodes particuliers, les agriculteurs sont encouragés à limiter l'application d'engrais et à couvrir les fosses à lisier.

Notre système d'alerte prendrait contact avec les agriculteurs en cas d'épisodes de pollution pour les encourager à modifier leurs pratiques pour réduire les émissions de NH_3 . Il peut être envisagé d'indiquer en temps réel des notifications sur le site internet d'Air Breizh et d'envoyer des emails à une liste de diffusion prédéfinie.

Notre dispositif de mesures en temps réel permettrait de détecter l'impact des changements des pratiques agricoles sur les concentrations dans l'air. Une réduction du NH_3 émis par le secteur agricole diminuera les niveaux des PM dans les aires urbaines situées sous le vent des zones agricoles dont les pratiques d'épandage ont été modifiées.

Le système d'alerte pourrait être initié avec quelques communes et/ou quelques centaines d'agriculteurs, et pourrait être étendu à quelques EPCI par la suite, l'objectif étant d'améliorer la qualité de l'air en réduisant la concentration moyenne annuelle et de diminuer le nombre d'épisodes particuliers de quelques jours par année.

VII.3. Amélioration des modèles de prévision de la qualité de l'air

En complément du système d'alerte, les concentrations mesurées en NH_3 avec les Picarro et celles en ammonium NH_4^+ observées avec l'ACSM seront intégrées dans un modèle de prévision de la qualité de l'air, comme la plateforme ESERALDA mise en œuvre par Airparif. L'assimilation de la variabilité spatiale et temporelle des concentrations en NH_3 dans le modèle permettra d'améliorer les prévisions quotidiennes pour la région Bretagne.

L'approche par la modélisation aidera également à déterminer les régimes météorologiques qui sont favorables au transport du NH_3 des sources agricoles vers les zones de population, et aidera par conséquent à analyser comment les variations des flux de NH_3 dans les zones sources et le transport atmosphérique affectent les concentrations en PM dans les zones impactées.

VII.4. Cadres réglementaires européen et français en matière environnementale

Nous avons vu précédemment que la réduction des émissions de NH_3 par les activités agricoles est une problématique environnementale à long terme et qu'il est essentiel d'intégrer de façon permanente les mesures du $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ au réseau opérationnel de surveillance breton.

Des études sur la qualité de l'air publiées dans la littérature scientifique montrent que des pays européens, comme les Pays-Bas, la Suisse ou encore l'Allemagne, connaissent eux aussi des épisodes de pollution atmosphérique particulière liés au NH_3 d'origine agricole (e.g., *Amann et al.*, 2017).

Un cadre réglementaire en matière environnementale a été mis en place par l'Union Européenne, avec pour objectif la réduction des émissions de NH_3 et des PM d'origine agricole à l'échelle du continent. La réglementation européenne se décline en trois volets : la réduction des émissions à la source, les plafonds d'émission et la qualité de l'air. Les dispositions dans la législation française sur la pollution de l'air transposent ou renforcent ces directives européennes sur l'environnement (*Tableau 3*).

Tableau 3 : Cadre réglementaire aux niveaux européens et français (adapté de ADEME, 2012).

	Réduction des émissions à la source	Plafonds d'émission	Qualité de l'air
Union Européenne	- Directive sur les émissions industrielles (« Industrial Emissions Directive ») 2010/75/EU : impose de déclarer les émissions, dont NH ₃ , des grandes installations d'élevage et d'appliquer les meilleures techniques disponibles ; basé sur l'ancienne directive IPPC de 2008 (« Integrated Pollution Prevention and Control »).	- Directive NEC (« National Emission Ceilings ») 2001/81/CE : définit les plafonds d'émissions nationaux pour 4 polluants dont NH ₃ . - Directive 2016/2284/EU : fixe des objectifs de réduction d'émissions pour NH ₃ et PM _{2,5} en 2020 et 2030 par rapport au niveau de 2005.	- Directive 2008/50/CE concernant la qualité de l'air et un air pur pour l'Europe : fixe des seuils de concentrations pour PM ₁₀ et PM _{2,5} , et un objectif de réduction aux PM _{2,5} entre 2010 et 2020.
France	- Arrêté du 26 décembre 2012 modifiant l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets : les exploitations doivent déclarer leurs émissions d'ammoniac, lorsqu'elles sont supérieures à 10 t/an.	- Programme national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA, arrêté du 8 juillet 2003) : transcription de la directive NEC dans le droit français, plafonds d'émissions nationaux et moyens à mettre en œuvre.	- Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 : transpose la directive 2008/50/CE.

D'autres instruments réglementaires européens ont contribué à une réduction générale des émissions de NH₃. La Politique Agricole Commune (PAC), la Directive nitrates (91/676/EEC) et la Directive-cadre sur l'eau (2000/60/EC) ont changé les pratiques agricoles en Europe et ont permis de diminuer l'utilisation des engrais azotés et la réduction du cheptel.

En particulier, la Directive nitrates impose depuis 1991 aux états membres de prendre des mesures de lutte contre la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole (https://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/index_en.html, accès 3 décembre 2019). La directive européenne s'est traduite dans le droit française par :

- Un code des bonnes pratiques agricoles ;
- L'identification sur le territoire français des zones vulnérables ;
- L'élaboration d'un programme d'action national définissant des règles communes a tout le territoire ;
- Et la mise en place de programmes d'actions régionaux (PAR) adaptés aux problématiques de chaque région.

En 1994, l'ensemble de la région Bretagne a été classé en zone vulnérable. Depuis 1996, le programme d'action national s'est décliné en six PAR successifs, le dernier étant entré en vigueur en septembre 2018 (<http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/sixieme-programme-d-actions-regional-directive-a3709.html>, accès 3 décembre 2019). Il a fait récemment l'objet d'un arrêté modificatif signé le 18 novembre 2019, qui prévoit notamment l'entrée d'Air Breizh au comité de concertation.

Le PAR comporte la mise en place d'un dispositif de surveillance annuelle de l'azote épandu a l'échelle de chaque département. Le dispositif impose à tout utilisateur de fertilisant azoté d'adopter des pratiques agricoles particulières afin de limiter les risques de pollution. Toutefois le PAR n'intègre pas de mesure spécifique pour réduire les émissions atmosphériques de NH₃.

Pour finir, notons que le plan inclut un calendrier mensuel d'épandage par grands types de culture et types d'effluent. Ce calendrier s'avérera utile pour interpréter l'origine des épisodes particulières régulièrement observés aux mois de mars et avril chaque année.

VIII. Conclusions

Les émissions d'ammoniac NH_3 en Bretagne sont majoritairement issues de l'agriculture. Le NH_3 gazeux est un précurseur important des particules très fines $\text{PM}_{2.5}$.

L'objet de cette étude est d'établir les fondations d'une stratégie de surveillance du NH_3 en Bretagne afin d'y réduire la pollution particulaire ambiante. Cette stratégie repose sur :

- Le suivi en continu des concentrations en NH_3 , particules fines et de leurs compositions sur au moins quatre sites ;
- L'application d'outils numériques de prévision de la qualité de l'air à l'échelle régionale ;
- Et l'adoption d'un système d'alerte des agriculteurs pour prévenir l'apparition d'épisodes de pollution en les incitant à adapter leurs pratiques d'épandage, entre autres.

Les objectifs scientifiques et techniques se déclinent en plusieurs points :

- Faire une étude des pratiques agricoles et des émissions de NH_3 sur le territoire breton, avec une prise en compte des nouvelles activités (e.g., méthanisation), afin d'améliorer les inventaires d'émissions ; il conviendra également de prendre en compte des nouvelles sources d'émission d'ammoniac comme celles issues du trafic automobile (Ad Blue utilisé pour abattement des Oxydes d'Azote).
- Développer un réseau de mesures breton du NH_3 dans l'air ambiant ;
- Utiliser des analyseurs en continu de NH_3 et de PM , et faire de la spéciation particulaire par filtres et à l'aide d'un spectromètre de masse ;
- Prévoir les épisodes de pollution en assimilant dans les modèles numériques les mesures de NH_3 et PM ;
- Mettre en place un système d'alerte intégrant un outil de diffusion de l'information avec liste d'abonnés.

En première approche, la réalisation de toutes ces activités nécessite un investissement financier estimé à 1,7 millions d'euros dont 700 000 € d'investissements en équipements. Cet investissement pourrait être pluriannuel et concerner plusieurs partenaires financiers (administrations, collectivités ...).

IX. Références bibliographiques

ADEME (2012), Émissions agricoles de particules dans l'air. État des lieux et leviers d'action. Plan particule, rapport, <https://www.ademe.fr/emissions-agricoles-particules-lair-etat-lieux-leviers-daction-plan-particule> (accès 2 décembre 2019), mars 2012, 35 p.

ADEME (2019a), Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air, rapport, <http://www.ademe.fr/mediatheque> (accès 20 novembre 2019), juin 2019, 116 p.

ADEME (2019b), Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air, Synthèse de l'étude, <http://www.ademe.fr/mediatheque> (accès 20 novembre 2019), mai 2019, 7 p.

Air Breizh (2019), Description du site Kergoff, Rapport interne, juillet 2019, 25 p.

Airparif (2019), Documentation technique – MAJ 2018 - ESERALDA, Octobre 2018 - mise à jour 2019, 32 p.

Air Rhône-Alpes (2016), Mesures de l'ammoniac dans l'atmosphère, rapport d'étude, mars 2016, 16 p.

Amann, M., A. Gomez-Sanabria, Z. Klimont, R. Maas et W. Winiwarter (2017), Measures to address air pollution from agricultural sources, rapport IIASA, 40 p.

Anderson, N., R. Strader, and C. Davidson (2003), Airborne reduced nitrogen: ammonia emissions from agriculture and other sources, Environment International, 29(2-3), 277-286, [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00186-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00186-1).

ANSES (2019), Particules de l'air ambiant extérieur. Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie. Impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France, <https://www.anses.fr/fr/content/pollution-de-l%E2%80%99air-nouvelles-connaissances-sur-les-particules-de-l%E2%80%99air-ambiant-et-l%E2%80%99impact> (accès 6 août 2019).

Atia A., K. Haugen-Kozyra et M. Amrani (2004), Ammonia and Hydrogen Sulfide Emissions from Livestock Production, Alberta Agriculture, Food and Rural Development, <https://pdfs.semanticscholar.org/d3fa/0a0de26eb6800c6801a01f955e3299258b7a.pdf> (accès 20 novembre 2019), 47 p.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2018), Amélioration des connaissances sur les concentrations d'ammoniac en Auvergne-Rhône-Alpes, 39 pages.

Bauer, S.E., K. Tsigaridis, et R. Miller (2016). Significant atmospheric aerosol pollution caused by world food cultivation. Geophysical Research Letters, 43(10), 5394–5400. <https://doi.org/10.1002/2016GL068354>.

Bittman, S. et R. Mikkelsen (2009). Ammonia Emissions from Agricultural Operations: Livestock. Better Crops (Vol. 93).

Giannadaki, D., E. Giannakis, A. Pozzer et J. Lelieveld (2018), Estimating health and economic benefits of reductions in air pollution from agriculture, Science of The Total Environment, 622–623, 1304–1316, <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.12.064>.

EU (2001), Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants.

EU (2007), Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the council of 14 March 2007 establishing on Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).

EU (2016), Directive 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC.

Fauvel, Y., C. Fléchar, Y. Hamon et S. Busnot (2019), 10 ans de mesures des concentrations atmosphériques NH_3 (gaz), NH_4^+ (aérosol) et espèces chimiques associées sur sites agricoles et forestiers en France, poster, colloque agriculture et qualité de l'air, INRA Paris, 21-22 Mars 2019.

IMT Lille Douai (2019), Rapport d'évaluation du site potentiel de Kergoff, Septembre 2019, 25 p.

INERIS (2019), colloque agriculture et qualité de l'air, INRA Paris, 21-22 Mars 2019.

Lelieveld, J., J.S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki et A. Pozzer (2015), The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525, 367-371, <https://doi.org/10.1038/nature15371>.

Lelieveld, J., K. Klingmüller, A. Pozzer, U. Pöschl, M. Fnais, A. Daiber, et T. Münzel (2019), Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions, *European Heart Journal*, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135>.

LMD-INERIS-LISA (2017), Documentation of the chemistry-transport model CHIMERE, 260 p.

Nenes, A, S.N. Pandis et C. Pilinis (1998), ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium model for multiphase multicomponent inorganic aerosols, *Aquat. Geoch.*, 4, 123-152.

Seinfeld, J.H. et S.N. Pandis (2006) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.

Sportisse (2008), *Pollution atmosphérique – des processus à la modélisation*, 349 p.

Thakrar, S.K., A.L. Goodkind, C.W. Tessum, J.D. Marshall et J.D. Hill (2018), Life cycle air quality impacts on human health from potential switchgrass production in the United States, *Biomass and Bioenergy*, 114, 73–82, <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2017.10.031>.

Van Damme, M., L. Clarisse, S. Whitburn, J. Hadji-Lazaro, D. Hurtmans, C. Clerbaux et P.-F. Coheur (2018). Industrial and agricultural ammonia point sources exposed. *Nature*, 564(7734), 99–103, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0747-1>.

WBK & Associates (2004), *Assessment Report on Ammonia for Developing Ambient Air Quality Objectives*, Volume I, Alberta Environment, 132 p.