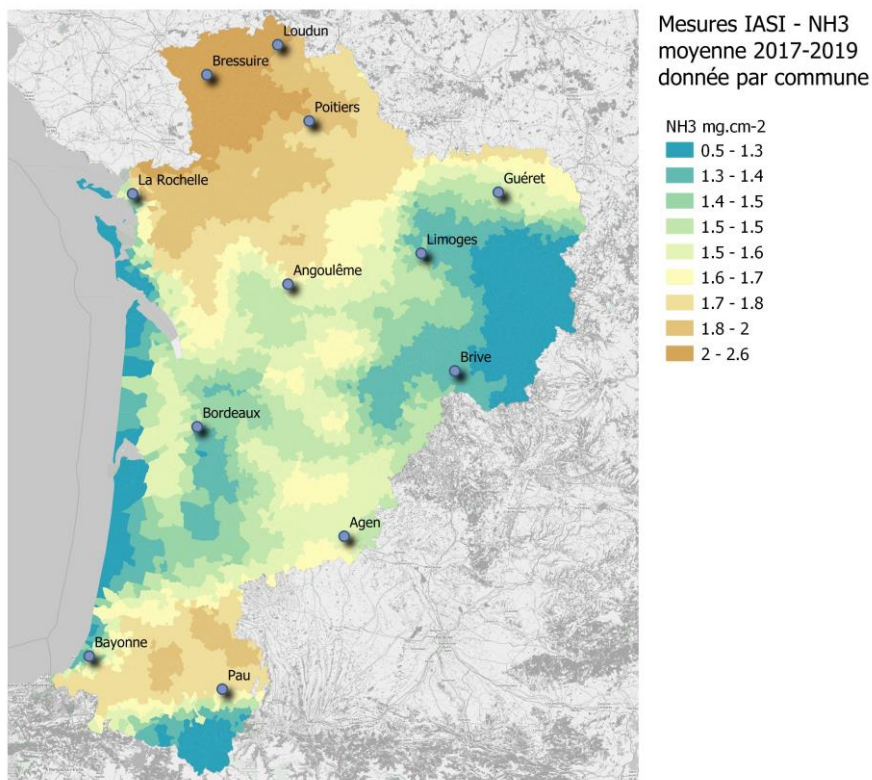


# Ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) en Nouvelle-Aquitaine

-

## Bilan des mesures par satellite



Référence : R&D\_INT\_20\_051

Version finale du : 13/07/2021



Auteur(s) : Agnès Hulin  
Contact Atmo Nouvelle-Aquitaine :  
E-mail : [contact@atmo-na.org](mailto:contact@atmo-na.org)  
Tél. : 09 84 200 100

**Titre** : Bilan des mesures d'ammoniac dans l'air par satellite sur le territoire régional

**Reference** : R&D\_INT\_20\_051

**Version** : finale du 13/07/2021

**Nombre de pages** : (couverture comprise) 31

	Rédaction	Approbation
<b>Nom</b>	Agnès Hulin	Patrick Bourquin
<b>Qualité</b>	Responsable du service Partenariat/Innovation	Directeur délégué Partenariat/Innovation /Communication
<b>Visa</b>		 Le 3 août 2021

## Conditions d'utilisation

**Atmo Nouvelle-Aquitaine fait partie du dispositif français de surveillance et d'information sur la qualité de l'air. Sa mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application.**

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Atmo Nouvelle-Aquitaine est garant de la transparence de l'information sur les résultats de ces travaux selon les règles suivantes :

- Atmo Nouvelle-Aquitaine est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet ([www.atmo-nouvelleaquitaine.org](http://www.atmo-nouvelleaquitaine.org))
- les données contenues dans ce rapport restent la propriété d'Atmo Nouvelle-Aquitaine. En cas de modification de ce rapport, seul le client sera informé d'une nouvelle version. Tout autre destinataire de ce rapport devra s'assurer de la version à jour sur le site Internet de l'association.
- en cas d'évolution de normes utilisées pour la mesure des paramètres entrant dans le champ d'accréditation d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, nous nous engageons à être conforme à ces normes dans un délai de 6 mois à partir de leur date de parution
- toute utilisation totale ou partielle de ce document doit faire référence à Atmo Nouvelle-Aquitaine et au titre complet du rapport.

Atmo Nouvelle-Aquitaine ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations, travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux pour lesquels l'association n'aura pas donnée d'accord préalable. Dans ce rapport, les incertitudes de mesures ne sont pas utilisées pour la validation des résultats des mesures obtenues.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Nouvelle-Aquitaine :

- depuis le [formulaire de contact](#) de notre site Web
- par mail : [contact@atmo-na.org](mailto:contact@atmo-na.org)
- par téléphone : 09 84 200 100

# Sommaire

<b>1. Données générales sur l'ammoniac</b> .....	<b>6</b>
1.1. Ammoniac : définition.....	6
1.2. La réglementation.....	6
1.3. Les émissions d'ammoniac.....	7
1.3.1. En France.....	7
1.3.2. En Nouvelle-Aquitaine.....	9
<b>2. Données agricoles en Nouvelle-Aquitaine</b> .....	<b>10</b>
<b>3. Mesure de l'ammoniac par satellite</b> .....	<b>12</b>
3.1. Le principe de la mesure par satellite .....	12
3.2. Les unités de mesures .....	13
3.3. Satellites METOP A, B et C.....	13
3.3.1. Les mesures d'ammoniac par satellite.....	15
<b>4. Bilan des concentrations d'ammoniac sur la région Nouvelle-Aquitaine</b> .....	<b>16</b>
4.1. Bilan annuel des concentration d'ammoniac.....	16
4.2. Evolution saisonnière des concentrations d'ammoniac.....	18
4.3. Historique de l'évolution des concentrations annuelles d'ammoniac de 2014 à 2019.....	20
<b>5. Episode de pollution</b> .....	<b>22</b>
5.1. Mesures de NH3 par IASI au printemps 2020 .....	22
<b>6. Conclusions</b> .....	<b>26</b>

# Annexes

<b>ANNEXE 1 Moyennes annuelles des concentrations d'ammoniac à l'échelle communale (mesures IASI). 2017 à 2019</b> .....	<b>29</b>
--	-----------

ACSM	: Aerosol Chemical Speciation Monitor
CITEPA	: Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
EUMETSAT	: organisation Européenne pour l'exploitation des SATellites METéorologiques
ESA	: Agence spatiale Européenne
IASI	: Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge
IR	: infrarouge
LEO	: orbite terrestre basse
GEO	: orbite géostationnaire
MetOp	: Satellite Météorologique Polaire Opérationnel
MSG	: Meteosat Second Generation
MTG	: Meteosat Third Generation)
MTG-S	: Sounding mission satellite
MTG-I	: Imaging mission satellite
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NEC	: National Emission Ceiling (Plafond national d'émission)
NH <sub>3</sub>	: ammoniac
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	: ion ammonium
Ni	: Nickel
NIR	: proche infrarouge ; SWIR : infrarouge courte longueur d'onde ;
NO <sub>2</sub>	: Dioxyde d'azote
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: ion nitrate
NO <sub>x</sub>	: oxydes d'azote
OM	: matière organique
OMI	: Ozone Monitoring Instrument)
PM <sub>10</sub>	: particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
PM <sub>2,5</sub>	: particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
PREPA	: Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
ppbv	: parties par billion en volume
SAU	: Surface Agricole Utile
SO <sub>2</sub>	: dioxyde de soufre
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	: ion sulfate
TIR	: Infrarouge thermique
UV	: ultraviolet
VCD	: Vertical Column Density
VIS	: visible (longueur d'onde comprise entre 400 et 500 nm)
VMR	: Volume mixing ratio

L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) joue un rôle majeur dans la formation des particules fines ; la compréhension des phénomènes de formation de ces particules secondaires et la participation de l'ammoniac à ces réactions chimiques est un enjeu majeur pour mettre en place des actions visant à limiter les concentrations de particules  $\text{PM}_{2.5}$  et  $\text{PM}_{10}$  dans l'air. L'excès d'ammoniac dans l'environnement contribue également à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux.

Jusqu'à aujourd'hui, la mesure de l'ammoniac par Atmo sur la région Nouvelle-Aquitaine n'a concerné que des études ponctuelles réalisées autour d'activités industrielles ou de traitements des déchets. Or les principales sources d'ammoniac sur le territoire sont les activités agricoles, qui représentent 95 % des émissions de la région.

Cette étude présente pour la première fois un bilan de la présence de l'ammoniac dans l'air sur l'ensemble du territoire régional. Elle a été réalisée à partir des mesures de l'instrument IASI (Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge), embarqué sur les satellites MetOp (Météosat de la première génération).

Les mesures satellitaires ont été exploitées pour produire des cartes de concentrations d'ammoniac, et des profils temporels d'évolution des valeurs au cours de l'année.

## Acknowledgement / Remerciements

Les données de mesures IASI de  $\text{NH}_3$  produites dans ce rapport ont été obtenues auprès de la plateforme AERIS.

*« The database is maintained by the French national center for Atmospheric data and services AERIS »*

La base de données est maintenue par AERIS, le centre national français pour les services et la donnée atmosphérique

*« IASI is a joint mission of EUMETSAT and the Centre National d'Etudes Spatiales (CNES, France). The authors acknowledge the AERIS data infrastructure for providing access to the IASI data in this study and ULB-LATMOS for the development of the retrieval algorithms. »*

IASI est une mission conjointe d'EUMETSAT et du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES, France). Les auteurs remercient l'infrastructure de données AERIS pour avoir fourni l'accès aux données IASI dans cette étude et ULB-LATMOS pour le développement des algorithmes de récupération.

# 1. Données générales sur l'ammoniac

## 1.1. Ammoniac : définition

L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est un composé hautement réactif et soluble. Gaz incolore, il est reconnaissable à sa forte odeur ; il est très irritant pour le système respiratoire, la peau et les yeux. émis par des sources anthropiques et naturelles, les principales étant de très loin les émissions issues des déjections des animaux et des engrais azotés utilisés pour la fertilisation des cultures.

La volatilisation de l'ammoniac en agriculture est un processus de surface. Elle correspond à l'émission dans l'air d'ammoniac gazeux ( $\text{NH}_3$ ) issu de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), contenu dans le produit émetteur, ou dans la solution du sol.

Cette volatilisation a lieu généralement suite aux apports d'engrais azotés organiques (déjections animales, boues, composts...), et minéraux, contenant de l'azote uréique (précurseur de l'ammonium) ou ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ). Les principaux facteurs influençant la volatilisation de l'ammoniac sont la quantité d'azote ammoniacal contenue dans le produit, la surface de contact entre le produit et l'air, le pH du produit, les conditions pédoclimatiques et météorologiques (température, vent, précipitation, pH du sol) au moment de l'apport ou encore la capacité d'absorption par la culture (source : CITEPA, rapport SECTEN 2020).

Si l'ammoniac est très majoritairement issu des sources agricoles, il est également émis par les voitures équipées d'un catalyseur et dans quelques procédés industriels.

Les émissions naturelles proviennent de la décomposition de matières organiques par des microorganismes dans le sol.

Son dépôt excessif en milieu naturel peut conduire à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux. Par temps froid, il peut se recombinaison dans l'atmosphère avec des oxydes d'azote et de soufre pour former des particules fines de nitrate et sulfate d'ammonium.

On observe ainsi presque chaque année au printemps une contribution importante de l'ammoniac aux pics de particules fines, période d'épandage de fertilisants.

## 1.2. La réglementation

L'ammoniac ne fait pas aujourd'hui l'objet d'une réglementation concernant ses concentrations en air ambiant. En revanche, plusieurs instruments législatifs et politiques aux niveaux international, européen et national ont fixé les objectifs de réduction des émissions de  $\text{NH}_3$  de la France :

– le Protocole de Göteborg (1999, amendé en 2012 mais non encore ratifié par la France) : **objectif de -4% en 2020** par rapport à 2005 (soit un **plafond calculé de 596 kt**) ;

– la directive dite NEC 2 (directive 2016/2284 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques et révisant la directive NEC 1) : **objectif de -4% en 2020** par rapport à 2005 et objectif de **-13% en 2030** par rapport à 2005 ;

– le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA, 2017) qui reprend les objectifs fixés par la directive NEC 2 pour la France en 2020 et 2030 et ajoute un **objectif intermédiaire pour la période 2025-2029 de -8%** (base 2005) ;

– le décret n°2017-949 du 10 mai 2017 fixant les objectifs de réduction à horizon 2020, 2025 et 2030 pour les cinq polluants (dont le NH<sub>3</sub>) visés par le PREPA ;

– l'arrêté du 10 mai 2017 établissant le PREPA.

Le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA, adopté le 10 mai 2017 et couvrant la période 2017-2021) définit par secteur des actions à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs qu'il fixe pour les cinq polluants visés (dont le NH<sub>3</sub>). C'est l'un des outils de déclinaison de la politique climat-air-énergie. Il combine les différents outils de politique publique : réglementations sectorielles, mesures fiscales incitatives, actions de sensibilisation et de mobilisation des acteurs, action d'amélioration des connaissances.

<b>Objectifs de réduction des émissions d'ammoniac prévus par le décret n°2017-949</b>			
<b>Objectifs basés sur l'année de référence 2005</b>			
	A partir de 2020	A partir de 2025	A partir de 2030
NH <sub>3</sub>	-4%	-8%	-13%

Tableau 1 : Objectifs de réduction des émissions d'ammoniac prévus par le décret n°2017-949

## 1.3. Les émissions d'ammoniac

### 1.3.1. En France

L'ammoniac est produit à hauteur de 94 % par l'agriculture, faisant de ce secteur le levier principal pour la réduction des émissions de NH<sub>3</sub> en France. La France est en 2018 le premier pays de l'union européenne pour les émissions d'ammoniac liées à l'agriculture (552 kt, source Eurostat).

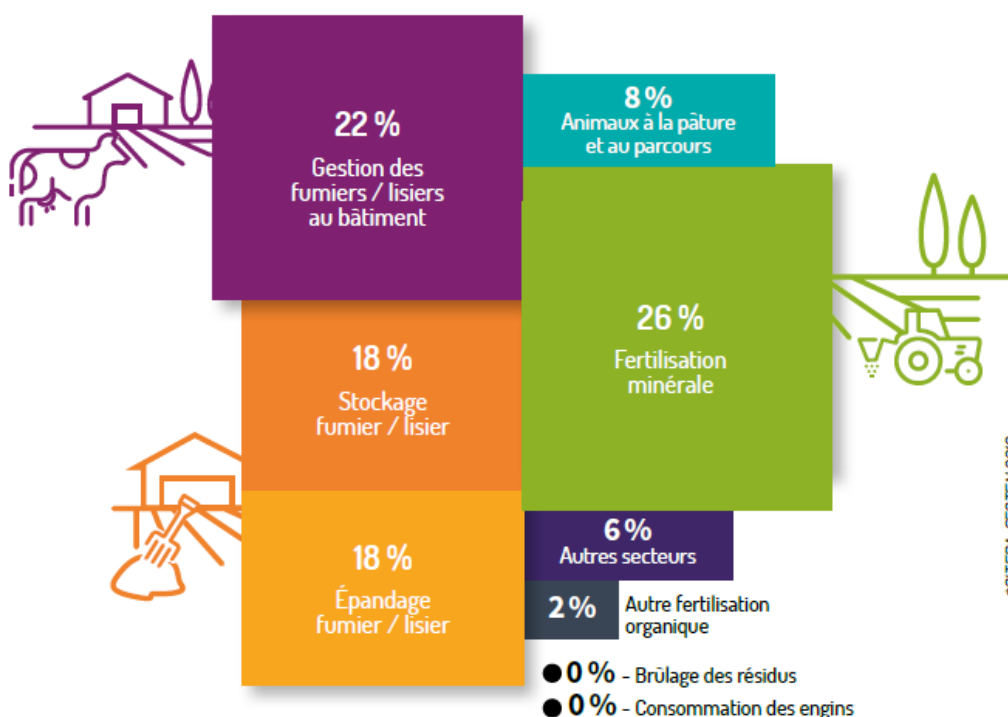


Figure 1 : Répartition des émissions nationales d'ammoniac (source CITEPA SECTEN 2018)

(<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/102944?token=28d90ca8769ca8eb78cdc988560e6f99025e90edf3165f7b62ead52cc8453206>)

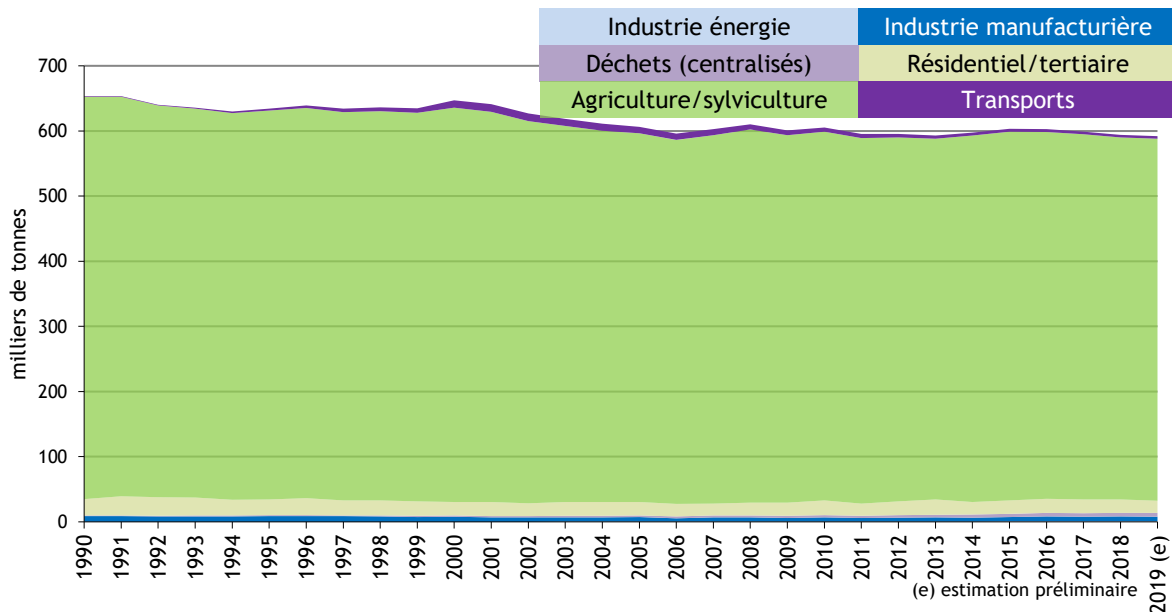


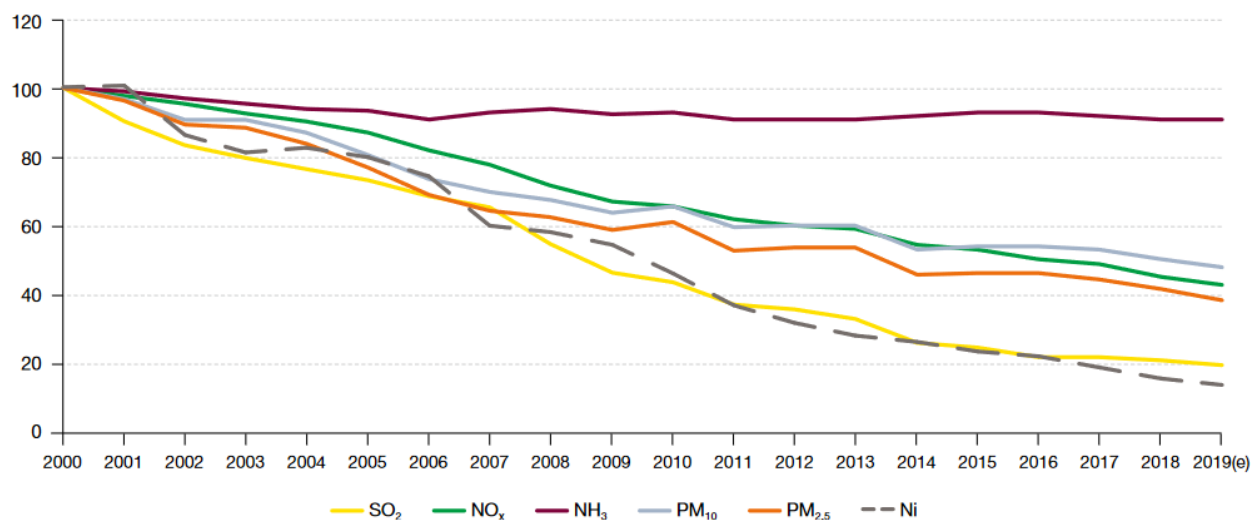
Figure 2 : Evolution annuelle des émissions d'ammoniac en France (Format Secten, source : CITEPA)

Les émissions de NH<sub>3</sub>, stables depuis 2006, sont principalement liées à la gestion des déjections de l'élevage. La tendance à la hausse constatée entre 2013 et 2016 semble ralentir à partir de 2017, jusqu'à atteindre, en 2019, le plus bas niveau inventorié depuis 1980: 592 kt. Ce niveau reste cependant encore au-dessus de l'objectif 2020 (Protocole de Göteborg et Directive NEC (plafonds d'émissions nationaux)).

Le graphique suivant est issu du bilan national de la qualité de l'air 2019 publié par le Ministère de la Transition Ecologique. Si les efforts engagés sur les émissions des transports, industries et logements ont permis de réduire fortement depuis les années 2000 les émissions de polluants tels que les NO<sub>x</sub> et les particules, le constat est moins positif concernant l'ammoniac dont les émissions n'ont pas connu les mêmes baisses que les autres polluants faisant l'objet d'objectif de réduction des émissions.

**Graphique 1 : évolution des émissions de quelques polluants**

En indice base 100 des émissions en 2000



Note : (e) : estimation préliminaire.  
 Champ : France métropolitaine.  
 Source : Citepa, avril 2020, format Secten

Figure 3 : Evolution des émissions de quelques polluants en indice base 100 des émissions en 2000



### 1.3.2. En Nouvelle-Aquitaine

Les données de ce paragraphe sont issues de l'inventaire des émissions d'Atmo Nouvelle-Aquitaine. Au niveau de la région, la part des émissions d'ammoniac liée à l'agriculture est du même ordre de grandeur de celle du niveau national (95 %).

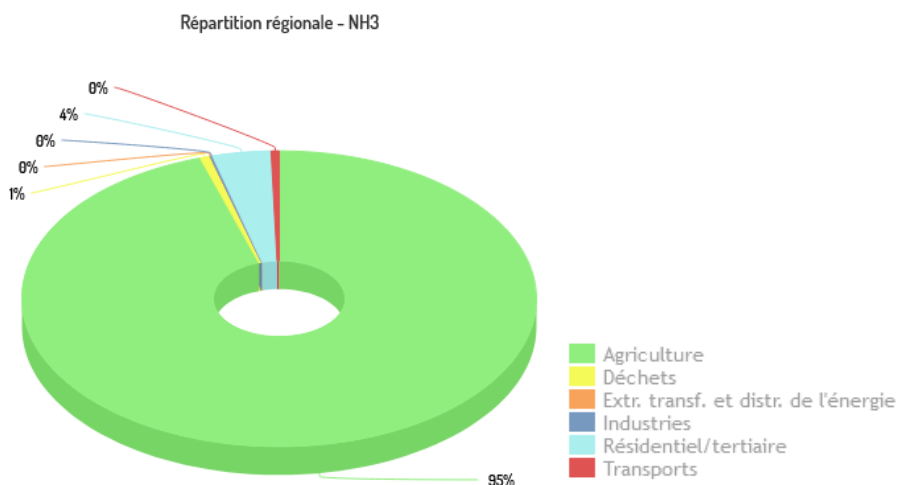


Figure 4 : Source régionale d'émissions de NH3 en Nouvelle-aquitaine. (Source : Inventaire des émissions 2016 Atmo-Na 3.2.2, Mise à jour du 16/10/2019)

La répartition des émissions d'ammoniac sur le territoire régional montre que les valeurs les plus élevées sont localisées sur le département des Deux Sèvres, puis sur la Vienne, le Lot et Garonne et les Pyrénées Atlantiques.

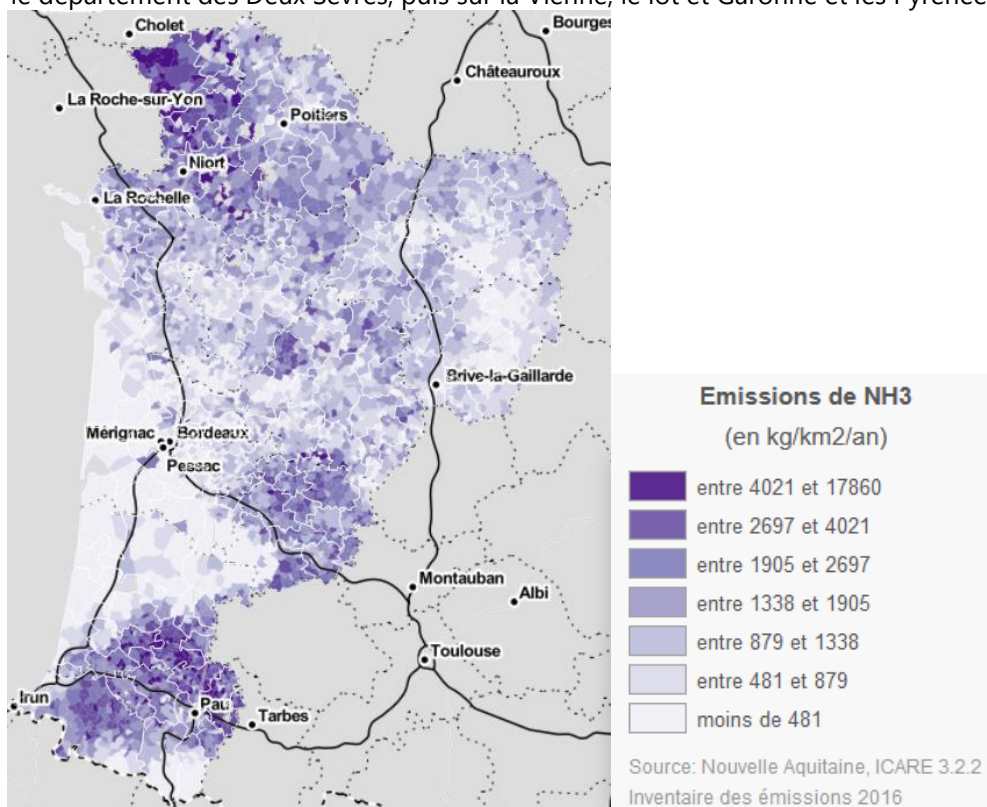


Figure 5 : Emissions de NH3. (Source : Inventaire des émissions 2016 Atmo-NA 3.2.2, Mise à jour du 16/10/2019)

## 2. Données agricoles en Nouvelle-Aquitaine

Les données de ce paragraphe sont issues du RGA 2010 (Recensement Général Agricole), AGRESTE, et de la chambre régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine.

La Surface Agricole Utile de Nouvelle Aquitaine représente 4,2 millions d'hectares (1er rang français avec 15 % de la SAU nationale). Les productions végétales représentent 69 % de l'agriculture contre 31 % pour les productions animales. Si l'Aquitaine et le Poitou-Charentes affichent respectivement 75 % et 71 % de productions végétales, le Limousin est, quant à lui, plutôt axé sur les productions animales (63 %).

La Figure 6 illustre la diversité des activités agricoles de la région Nouvelle Aquitaine.

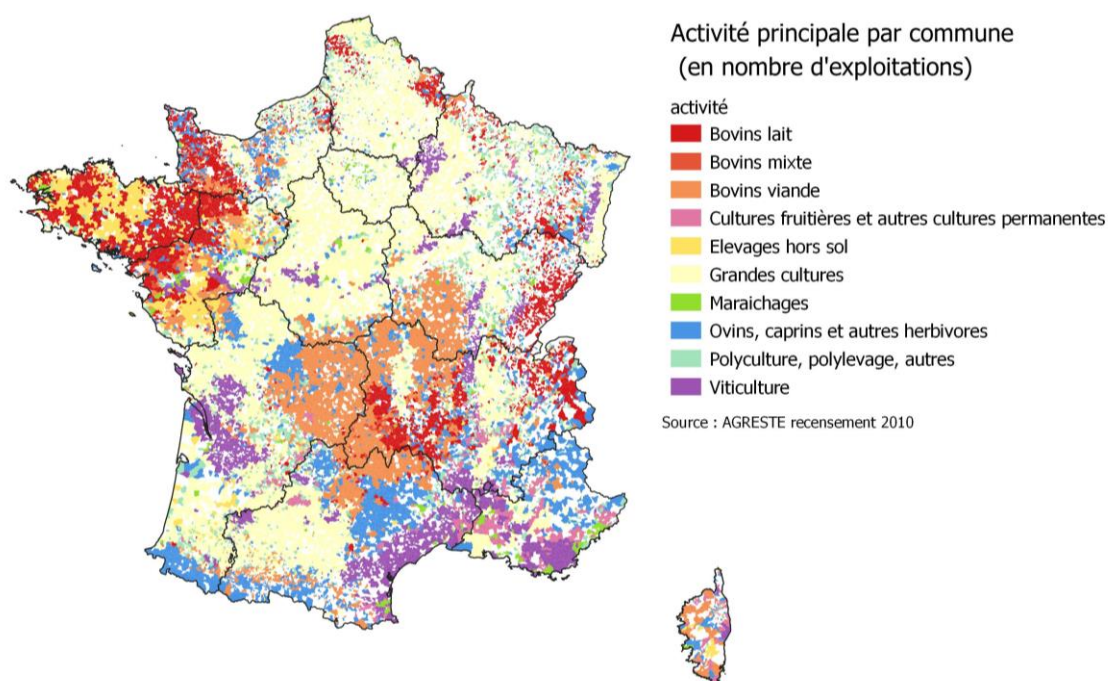


Figure 6 : activité dominante des exploitation agricoles par commune en France en 2010 (en nombre d'exploitation)

Les exploitations viticoles dominent sur les zones du Cognaçais et du Bordelais.

A l'échelle régionale, avec 16 % des exploitations ayant une orientation viticole, les produits issus de la vigne représentent  $\frac{1}{4}$  de la production agricole de Nouvelle-Aquitaine. Les vignobles s'étendent sur plus de 228 000 ha.

54 % des exploitations de Nouvelle-Aquitaine sont concernées par l'élevage. Pour les  $\frac{3}{4}$  d'entre-elles, il s'agit d'une activité principale, les autres étant dans des systèmes polyculture-polyélevage.

Les élevages ovins dominent sur les Pyrénées, une partie des deux Sèvres, de la Vienne et de la Haute-Vienne.

Pratiqué par des exploitations spécialisées, l'élevage porcin représente 2 % en valeur de la production régionale. Les volailles, quant à elles, occupent une place importante (7%) avec notamment les poulets de chair et les canards gras. L'ouest des deux Sèvres est fortement concerné par les élevages hors sol.

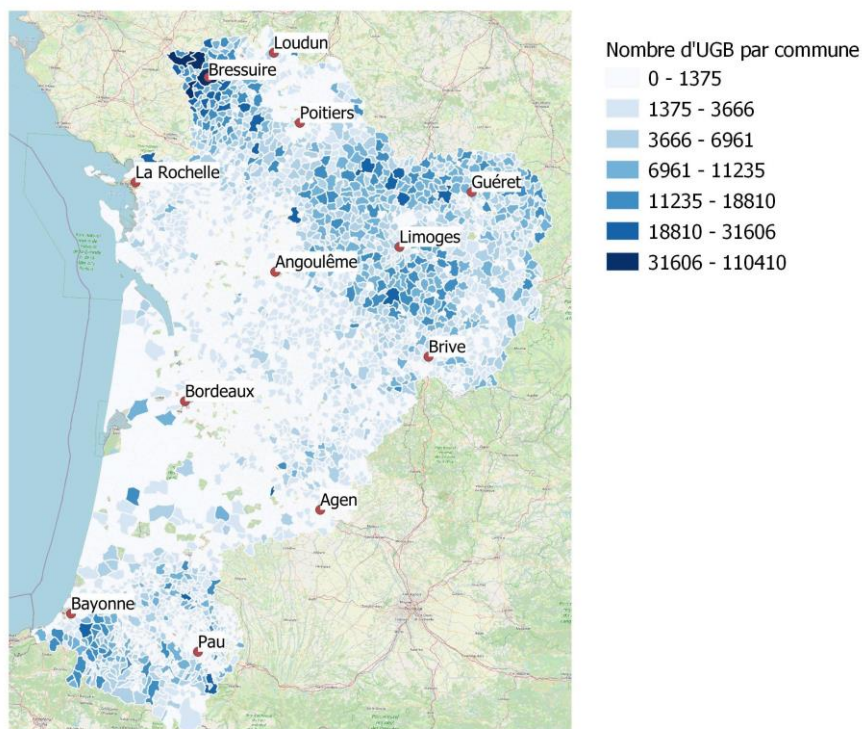


Figure 7 : Nombre d'UGB (unité Gros Bovins) par commune sur la région en 2010

La majeure partie de la région est dominée par l'exploitation des grandes cultures. 9 millions de tonnes de céréales sont produites annuellement. Maïs et blés sont les deux productions leaders avec 500 000 ha chacune. Le maïs étant plus présent en Aquitaine et le blé en Poitou-Charentes. Les oléagineux, tournesol et colza, représentent une production totale de 700 000 t sur une surface de 350 000 ha.

Les cartes Figure 8 et Figure 9 montrent la répartition des surfaces en blé/orge/colza et maïs par commune. Le Poitou-Charentes et le Lot et Garonne sont dominés par les cultures de type blé/orge/colza. Le maïs est également présent en rotation dans ces mêmes territoires, mais c'est surtout au nord de Pau qu'il est nettement dominant.

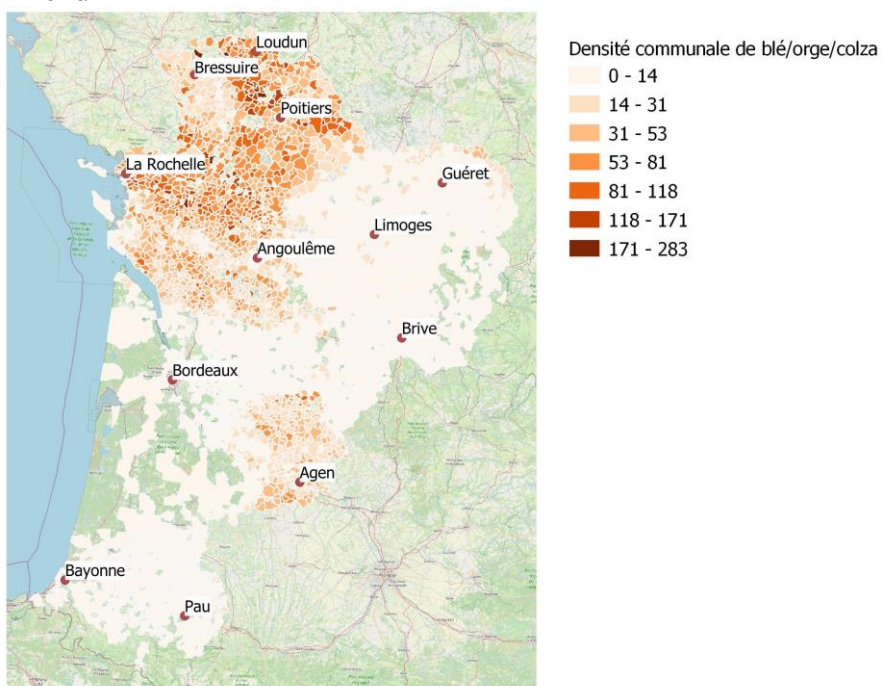


Figure 8 : densité communale de surface cultivée en blé/orge/colza ( $m^2/km^2$ )

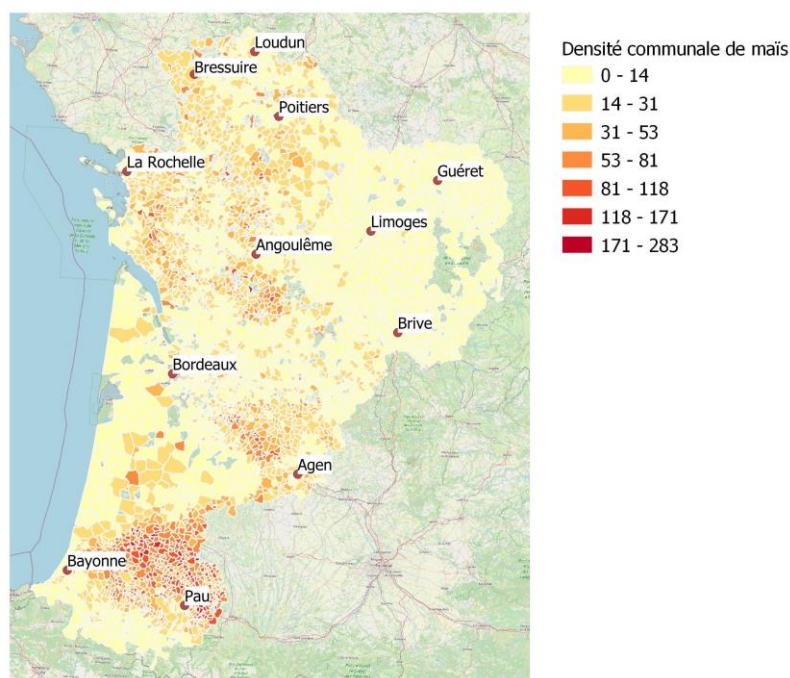


Figure 9 : densité communale de surface cultivée en maïs ( $m^2/km^2$ )

## 3. Mesure de l'ammoniac par satellite

### 3.1. Le principe de la mesure par satellite

Les capteurs optiques embarqués sur les satellites produisent des images acquises sur différentes longueurs d'onde. Ils mesurent l'énergie solaire réfléchi (UV, visible, proche infrarouge) ou encore l'énergie émise par la surface terrestre (infrarouge thermique).

Le rayonnement qui traverse l'atmosphère est influencé par la présence des gaz et particules. Cette influence va dépendre de la longueur d'onde, du type et du diamètre des polluants mais également de l'angle d'incidence solaire et de l'angle de visée du satellite.

La donnée de mesure par satellite est exploitée sous les formes de:

- Cartographies : pour la représentation spatiale de la présence des polluants, avec des résolutions très variables selon l'origine de la donnée (de 50 km à 1 km)
- Séries temporelles : à l'échelle journalière, mensuelle ou annuelle, puisqu'on ne dispose que d'une mesure par jour pour les satellites en orbite héliosynchrone. Ce type d'exploitation va prendre une toute autre ampleur lorsque la mission Sentinel 4, embarquée sur un satellite à orbite géostationnaire, sera opérationnelle, puisque la mesure sera réalisée pour toutes les heures du jour.
- Profils verticaux : pour la compréhension de déplacement de panaches sur de grande échelle géographique
- Prévisions : certaines sources de données satellites sont exploitées dans des modèles statistiques pour produire une donnée de prévision à court terme.

## 3.2. Les unités de mesures

La télédétection est l'ensemble des techniques qui sont utilisées pour la détermination à distance des propriétés des surfaces et de l'atmosphère terrestres à partir des rayonnements qu'elles réfléchissent ou émettent dans différents domaines de longueurs d'ondes.

On parle de télédétection passive lorsque le satellite reçoit :

- le rayonnement solaire incident réfléchi par la surface terrestre et l'atmosphère dans le domaine du visible et de l'infrarouge proche,
- le rayonnement propre de la Terre dans l'infrarouge lointain.

Contrairement aux appareils de mesure au sol couramment utilisés dans les réseaux de mesures, les données produites par les satellites ne sont pas accessibles en concentration de type  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (à moins d'avoir fait l'objet de retraitement ou modélisation). Selon la source de données et le polluant étudié, les données vont être accessibles sous différents formats unités et altitudes.

- **VMR** : (Volume mixing ratio)

Le ratio de mélange d'un gaz (aussi appelée fraction molaire) est le nombre de mole d'un gaz par mole d'air. Il est donné en mole/mole, ou, lorsqu'on parle de VMR (volume mixing ratio) en v/v (Volume du gaz/volume d'air), puisque le volume occupé par un gaz parfait est proportionnel au nombre de molécule.

La fraction molaire d'un gaz a l'avantage de rester constante lorsque la densité de l'air change.

- **AOD** : aerosol optical depth (ou AOT pour Aerosol Optical Thickness)

Le degré auquel l'aérosol empêche la transmission de la lumière par absorption ou diffusion de la lumière à travers la totalité de la colonne verticale de l'atmosphère située entre le satellite et la surface terrestre.

- **VCD** : Vertical Column Densité

Nombre de molécule d'un gaz atmosphérique contenu dans la colonne d'air située entre le satellite et la surface terrestre (par unité de surface terrestre).

Les données pour le  $\text{NH}_3$  utilisées ici sont fournies ne nombre de molécules par unité de surface (VCD). Pour plus de lisibilité, elle sont converties et présentées dans ce rapport en  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .

## 3.3. Satellites METOP A, B et C

Source : EUMETSAT (<https://www.eumetsat.int/metop>)



Figure 10 : METOP – A (source ESA)

MetOp (Météosat de la première génération) est une famille de trois satellites placés en orbite héliosynchrone et développés conjointement par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et EUMETSAT. Ils sont destinés aux études de la météorologie et du climat.

Ils embarquent onze instruments de mesure dont le capteur IASI élaboré par le CNES et réalisé par Alcatel Space. Metop-A a été placé en orbite en 2006, Metop-B en 2012, le lancement du troisième satellite a été effectué le mercredi 7 novembre 2018.

Il s'agit de la première génération de satellite MetOp, à ne pas confondre avec les satellites MetOp-SG (seconde génération) qui n'ont pas encore été lancés et qui porteront entre autres la mission Sentinel 5 et IASI-NG (nouvelle génération).

La combinaison des instruments à bord des satellites MetOp a une sensibilité qui permet d'observer la terre de jour comme de nuit, et sous la couverture nuageuse.

Les mesures IASI sur la métropole sont réalisées 2 fois par jour : à 9h30 et 21h30 heure locale.

- ➔ Instruments de mesures embarqués sur MeTop : IASI<sup>1</sup>, MHS, GOME 2<sup>2</sup>, ASCAT, GRAS, AVHRR 3, AMSU/A, HIRS, SEM 2
- ➔ Polluants mesurés : NH<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O,...
- ➔ IASI : Résolution au sol 12 km
- ➔ IASI : Résolution spectrale : 0,25 cm<sup>-1</sup>.
- ➔ Lancement : A : 2006 B : 2012 C : 2018
- ➔ Altitude : 819 km

#### ❖ IASI

Développé par le CNES en coopération avec l'organisation Européenne pour l'exploitation des SATellites METéorologiques (Eumetsat), l'instrument Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge (IASI) a été conçu pour la météorologie opérationnelle et la surveillance de la chimie atmosphérique et du climat. IASI est un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier et volant à bord des satellites Metop-A (2006), Metop-B (2012) et Metop-C (2018). Il mesure le spectre infra-rouge émis par le système terre/atmosphère sur une bande spectrale continue de 645 cm<sup>-1</sup> à 2760 cm<sup>-1</sup> (i.e., de 3,62 µm à 15,5 µm), avec un échantillonnage spectral de 0,25 cm<sup>-1</sup>.

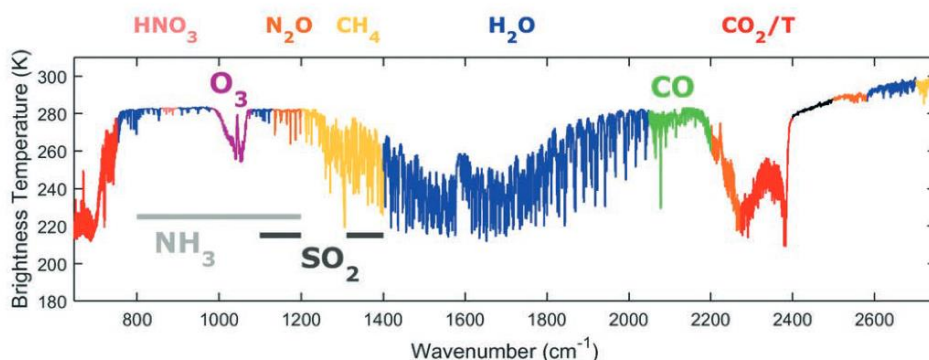


Figure 11 : Exemple de spectre IASI, avec les principaux contributeurs aux signaux spectrales [DENIEL, 2019]

<sup>1</sup> Interféromètre atmosphérique de sondage dans l'infrarouge

<sup>2</sup> surveillance de l'ozone à l'échelle du globe

La série d'instruments IASI fournit des jeux de données homogènes à long terme de spectres de luminances et de variables atmosphériques dérivées pour alimenter les centres de prévisions météorologiques opérationnels, les services Copernicus et la communauté scientifique. La majorité des centres de prévision météorologique du monde (dont Météo France, UK MetOffice ou le centre européen ECMWF) utilisent les données IASI tant dans les modèles globaux que dans les modèles d'échelle fine [JACQUETTE , 2014].

La continuité du programme IASI sera assurée avec l'instrument IASI-Nouvelle Génération (IASI-NG) qui sera lancé à bord des satellites Metop-Deuxième Génération (Metop-SG).

### 3.3.1. Les mesures d'ammoniac par satellite

Caractéristique mesurée	Matériel	Référence et / ou principe de la méthode	Accréditation
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge	Téledétection	Pas d'accréditation



## 4. Bilan des concentrations d'ammoniac sur la région Nouvelle-Aquitaine

### 4.1. Bilan annuel des concentrations d'ammoniac

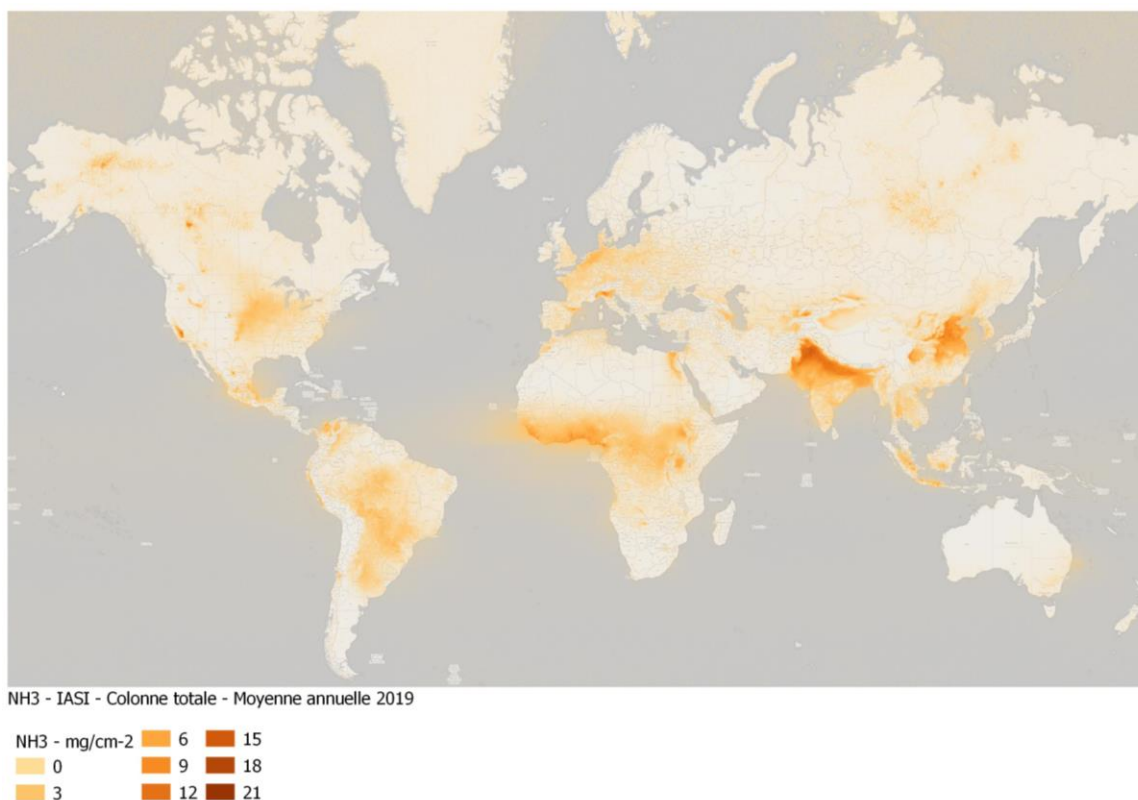


Figure 12 : concentrations moyennes annuelles (colonne totale) d'ammoniac mesurées par IASI en 2019 – échelle mondiale

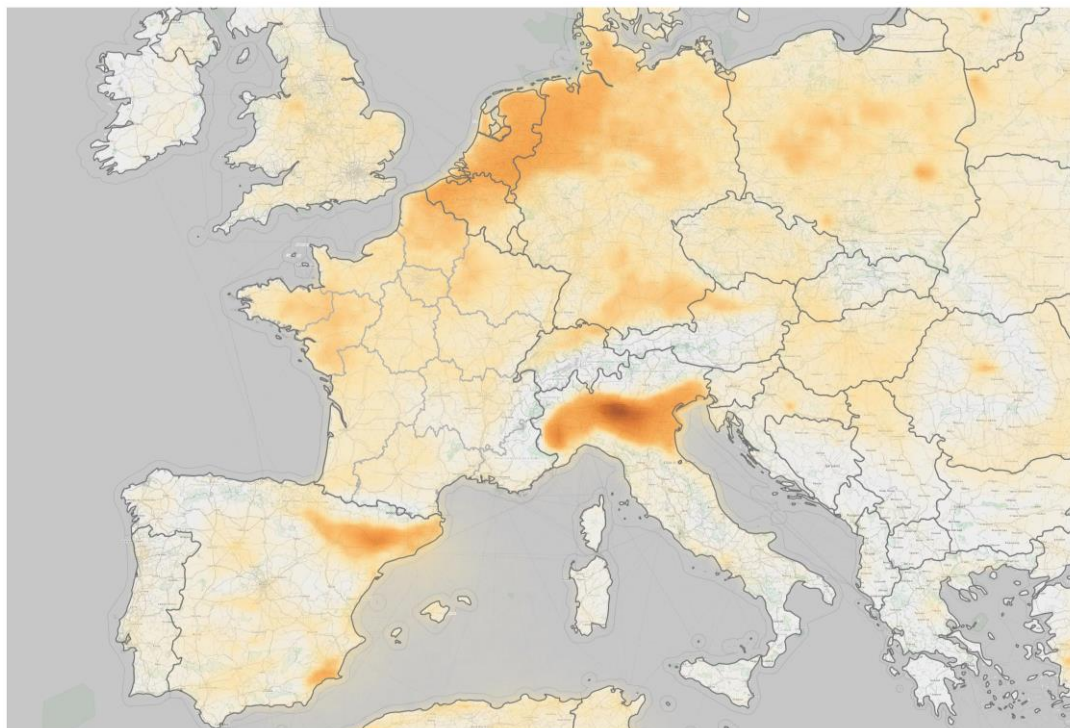
La Figure 12 représente la mesure moyenne de NH<sub>3</sub> réalisée par IASI en 2019 à l'échelle du globe. Les zones où les concentrations sont les plus fortes sont d'abord le nord de l'Inde et le Pakistan, qui combinent élevage et agriculture intensive, feux domestiques et feux de résidus agricoles, ainsi que de nombreuses usines de production d'engrais [Van Damme,2018]. Vient ensuite le nord de la Chine qui correspond à des régions de cultures céréalières puis l'Afrique de l'ouest en raison des feux de végétation et de l'agriculture sur brûlis.

De nombreux parcs d'engraissements de bovins et de porcs, dotés d'énormes fosses de stockage des déjections, peuvent être identifiés en Amérique Centrale et du Nord. En Amérique du Sud, ce sont des fermes d'élevage intensif de volailles qui sont répertoriées comme sources importantes d'ammoniac.

Les émissions naturelles (océans, sols, plantes, volcans, colonies d'oiseaux de mer, etc.) contribuent au bilan total des flux atmosphériques de l'ammoniac mais, sauf exception, sont trop diffuses pour former des zones de sur-concentration.

La Figure 13 représente les concentrations moyennées sur les années 2017 à 2019 à l'échelle de la France et de ses voisins Européens. De même que pour le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), c'est au nord de l'Italie que les concentrations sont les plus élevées. Viennent ensuite le nord de l'Espagne et un secteur transfrontalier qui comprend le nord-ouest de l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique et le Nord-est de la France.





NH3 - IASI - Colonne totale - Moyenne 2017 à 2019



Figure 13 : concentrations moyennes annuelles (colonne totale) d'ammoniac mesurées par IASI en 2019 – échelle Européenne

La carte des concentrations sur la métropole divise le territoire en deux secteurs délimités par une droite allant de Metz à Poitiers. Les concentrations les plus élevées sont ainsi localisées au Nord et Nord-Ouest de la France, en particulier sur les régions Haut de France, sur la Champagne, sur les Pays de la Loire et sur la Bretagne. Le département des Deux Sèvres, qui jouxte la région Pays de la Loire, est également concerné.

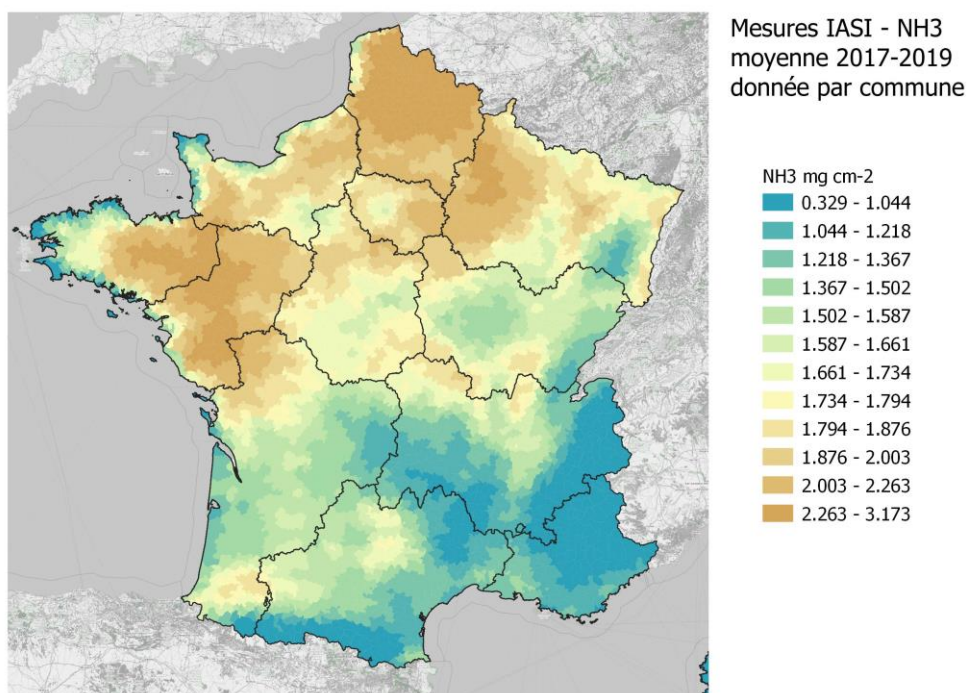


Figure 14 : concentrations moyennes annuelles (colonne totale) d'ammoniac mesurées par IASI en 2017-2019 – échelle de la métropole Française, concentrations moyennes par commune.

A l'échelle de la Nouvelle Aquitaine (Figure 15) les concentrations les plus élevées sont mesurées sur les zones d'élevage des Deux Sèvres, mais également sur les départements de la Charente-Maritime et de la Vienne, dominés par les exploitations de productions végétales de type grandes cultures. Les zones de production de maïs situées au sud de la région, ont les concentrations d'ammoniac les plus élevées de l'ex-Aquitaine. Les valeurs sont en revanche plus faibles sur le Limousin, dans les zones de production de bovins viande.

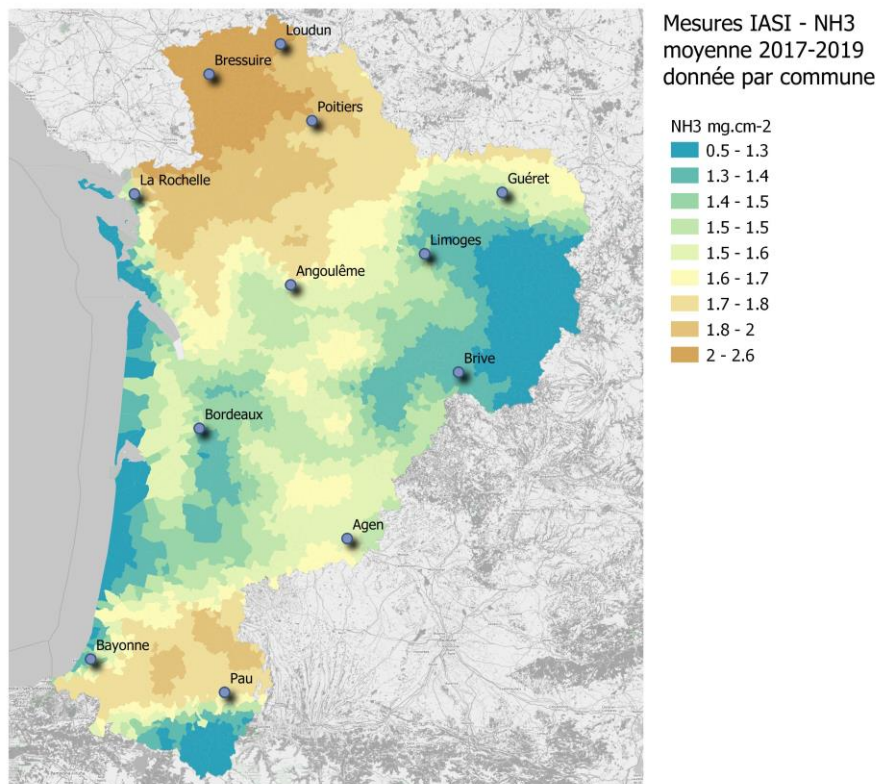


Figure 15 : concentrations moyennes annuelles d'ammoniac (colonne totale) mesurées par IASI en 2017-2019 – échelle de la Nouvelle-Aquitaine, concentrations moyennes par commune. Le détail des concentrations par année est présenté en annexe 1.

## 4.2. Evolution saisonnière des concentrations d'ammoniac

La Figure 16 représente sur le territoire régional la variabilité mensuelle des concentrations d'ammoniac. Les niveaux augmentent au printemps, en particulier sur le nord de la région (Deux Sèvres, Vienne). A cette époque de l'année, les températures nocturnes sont encore fraîches, et la présence d'ammoniac combinée à celle des oxydes d'azote conduit généralement à la formation de particules secondaires semi-volatiles de nitrate d'ammonium. Elles sont souvent à l'origine des pics de pollution par les PM10 qui apparaissent à la fin de l'hiver et au début du printemps.

Les concentrations d'ammoniac baissent ensuite en avril/mai, pour augmenter à nouveau durant l'été. A cette période de l'année, les températures sont trop élevées pour permettre la formation de particules de nitrate d'ammonium, il n'y a donc plus d'épisode de pollution PM10 en lien avec des particules semi-volatiles malgré la présence de l'ammoniac. Les concentrations baissent à nouveau à partir de l'automne jusqu'au mois de février suivant.

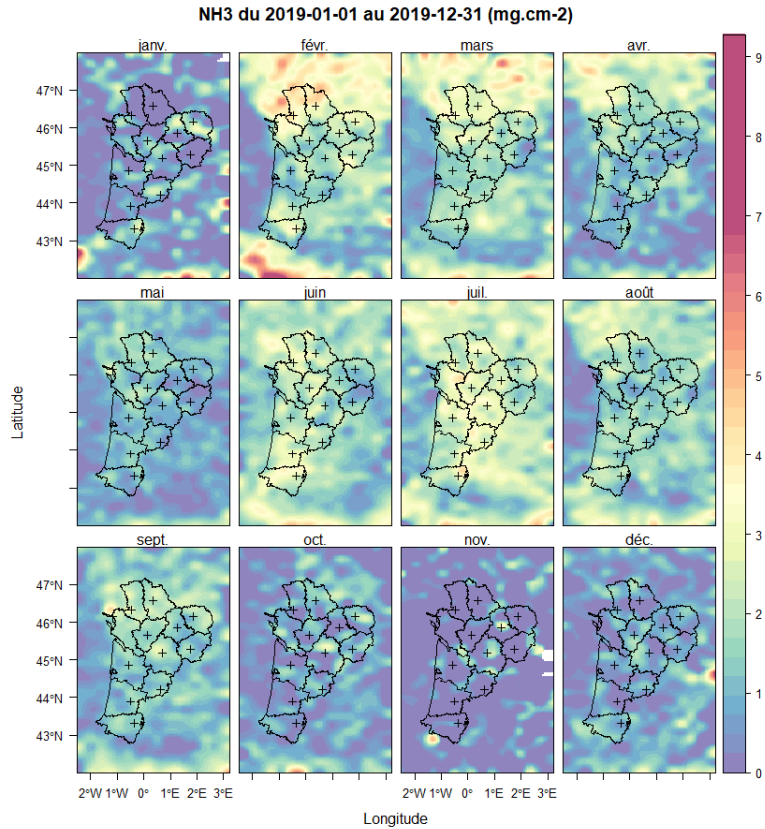


Figure 16 : Concentrations moyennes mensuelles d'ammoniac mesurées par IASI en 2019 sur la région Nouvelle-Aquitaine.

Sur la Figure 17, les concentrations moyennes mensuelles calculées sur la période 2014-2019 ont été extraites sur 12 communes de la région. L'ordre de présentation des sites est fonction de leur latitude, du plus au nord au plus au sud.

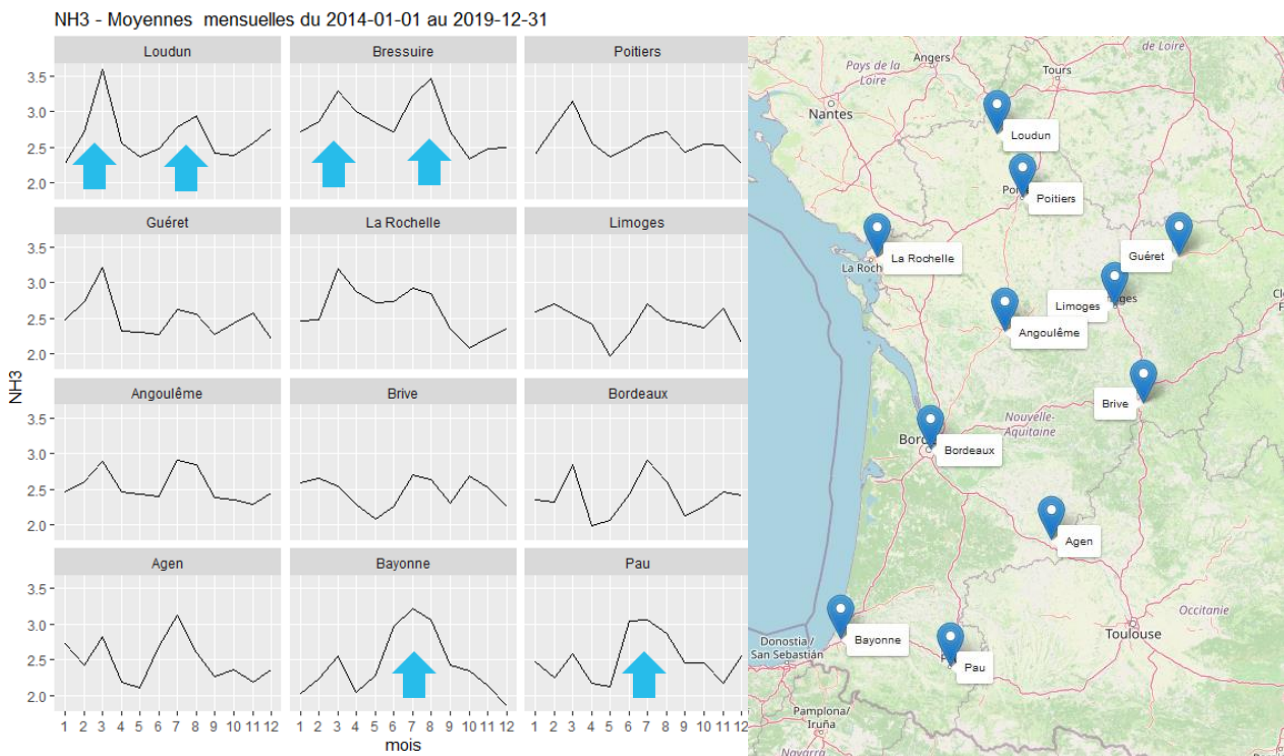


Figure 17 : profils mensuels moyens (2014-2019) sur 12 sites de la région Nouvelle Aquitaine

Le profil des moyennes mensuelles varie selon les sites en fonction des activités agricoles dominantes dans l'environnement de chacune des villes ou agglomérations.

- Bressuire, au nord de la région en zone d'élevages, a deux pics marqués, l'un autour du mois de mars, l'autre en juillet/aout.
- Sur Poitiers, Guéret ou La Rochelle (Grandes cultures), le pic du mois de mars est plus marqué que sur le reste de l'année.
- Sur Bayonne et Pau, en zone dominée par la maïsiculture, les valeurs les plus élevées sont celles de l'été.

La diversité des cultures sur la région Nouvelle-Aquitaine est ainsi associée à une évolution des concentrations d'ammoniac qui diffèrent d'un site à l'autre au cours de l'année en fonction des activités agricoles.

L'évolution mensuelle de la présence de l'ammoniac aura des conséquences sur la formation de particules secondaires : le pic du mois de mars sera plus susceptible de se produire par des températures froides qui engendreront la formation de particules de nitrate et sulfate d'ammonium.

### 4.3. Historique de l'évolution des concentrations annuelles d'ammoniac de 2014 à 2019

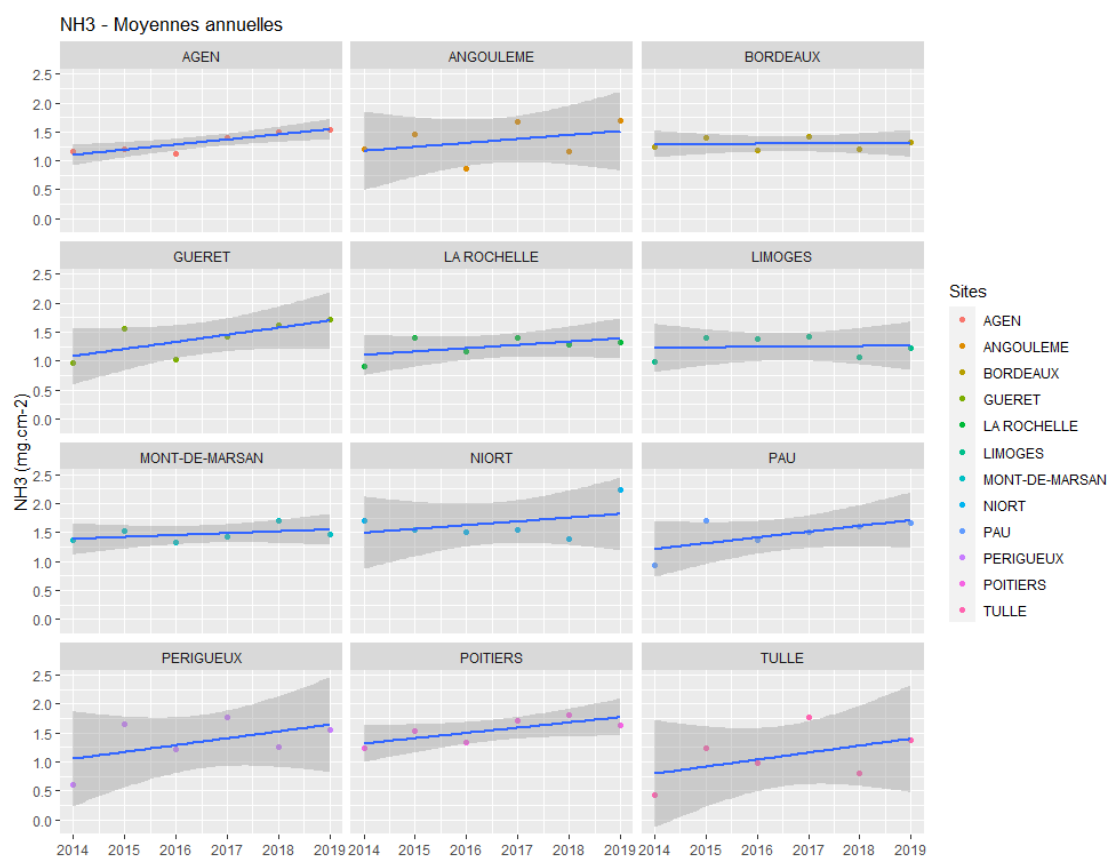


Figure 18 : moyenne annuelle et tendance des concentrations d'ammoniac mesurées par IASI de 2014 à 2019

Dans les Figure 18 et Figure 19, une tendance a été calculée à partir des moyennes annuelles mesurées par IASI sur chacun des sites. Les résultats montrent que, malgré une variabilité interannuelle parfois importante, la tendance est à la hausse des concentrations d'ammoniac sur la quasi-totalité des sites.

Sur les sites sélectionnés, seuls Limoges et Bordeaux, sur lesquels les concentrations sont parmi les plus faibles de la région, présentent une tendance stable.

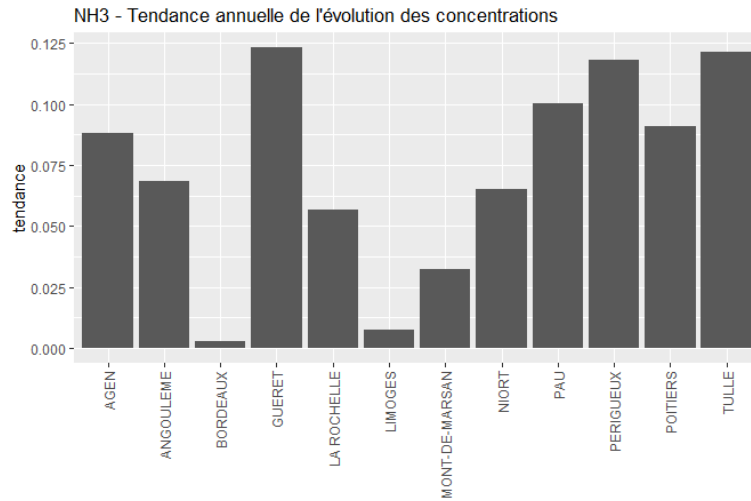


Figure 19 : tendance de l'évolution des concentrations moyennes annuelles d'ammoniac mesurées par IASI de 2014 à 2019

Ces résultats sont en contradiction avec les inventaires d'émissions nationaux (cf Figure 2), qui montrent une tendance stable voir légèrement à la baisse sur la période.

## 5. Episode de pollution

Ce paragraphe décrit, à l'aide de la mesure de l'ammoniac par IASI, un épisode de hausse des concentrations de particules typique des épisodes de pollution printaniers.

Chaque année, au printemps, les stations du réseau ATMO mesurent des hausses des niveaux de particules PM10 et PM2.5, principalement durant les mois de février et mars. La mesure de la composition des particules permise par les spectromètres de masse ACSM de Poitiers et de Bordeaux montre que ces hausses sont fréquemment associées à des niveaux de particules de nitrate d'ammonium élevés. En situation d'épisode, le nitrate d'ammonium peut représenter plus de 50 % de la masse de PM10 [Bessagnet,2016].

L'ammoniac est un polluant précurseur dans la formation des particules de nitrate et sulfate d'ammonium. Sa présence n'est pas une condition suffisante à la formation de particules, mais sa mesure aide à comprendre et anticiper les hausses de particules fines PM10 et PM2.5.

### 5.1. Mesures de NH<sub>3</sub> par IASI au printemps 2020

Comme souvent à cette période, les concentrations de particules PM10 et PM2.5 ont connu des hausses sur plusieurs jours durant le mois de mars 2020. Si le seuil d'information/recommandation de 50 µg/m<sup>3</sup> n'a pas été dépassé, les moyennes journalières ont atteint ou dépassé les 40µg/m<sup>3</sup> autour du 20 mars (épisode 1) sur Poitiers, puis autour du 28 mars (épisode 2) sur Poitiers et Bordeaux-Talence.

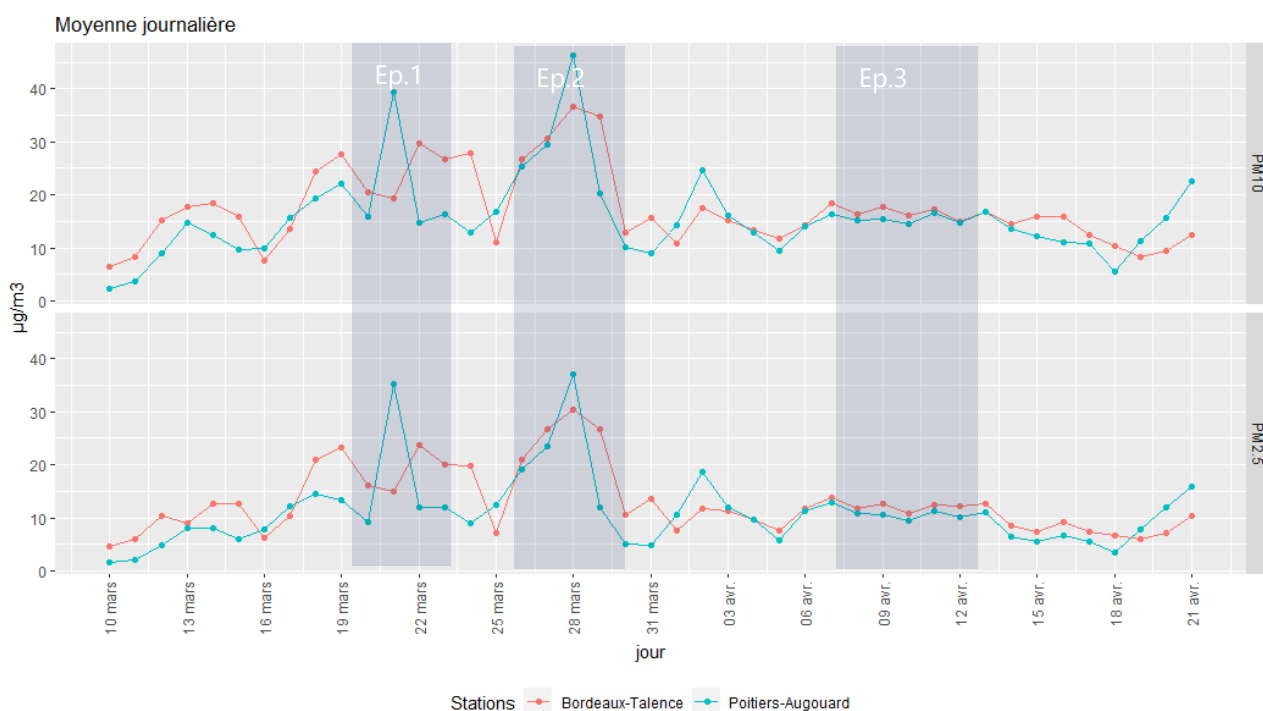


Figure 20 : concentrations moyennes journalières de PM10 et PM2.5 sur les stations de Poitiers-Augouard et Bordeaux-Talence.

La Figure 21 montre la composition des particules mesurées par le spectromètre de masse ACSM sur le site de Poitiers-Augouard durant cette même période<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Nb : les mesures de l'ACSM de Bordeaux-Talence ne sont pas disponibles sur le printemps 2020 pour cause de maintenance technique. Observatoire régional de l'air 22 / 31

Lors des épisodes 1 et 2, la contribution du nitrate d'ammonium (formé à partir du  $\text{NO}_3^-$  et du  $\text{NH}_4^+$ ) est une composante majeure des particules mesurées. Le nitrate se forme à partir des émissions de dioxyde d'azote issu des sources de combustion, dont le trafic routier. Les particules de nitrates d'ammonium se forment en présence des polluants précurseurs que sont le  $\text{NO}_2$  et l'ammoniac, si les conditions météorologiques favorables.

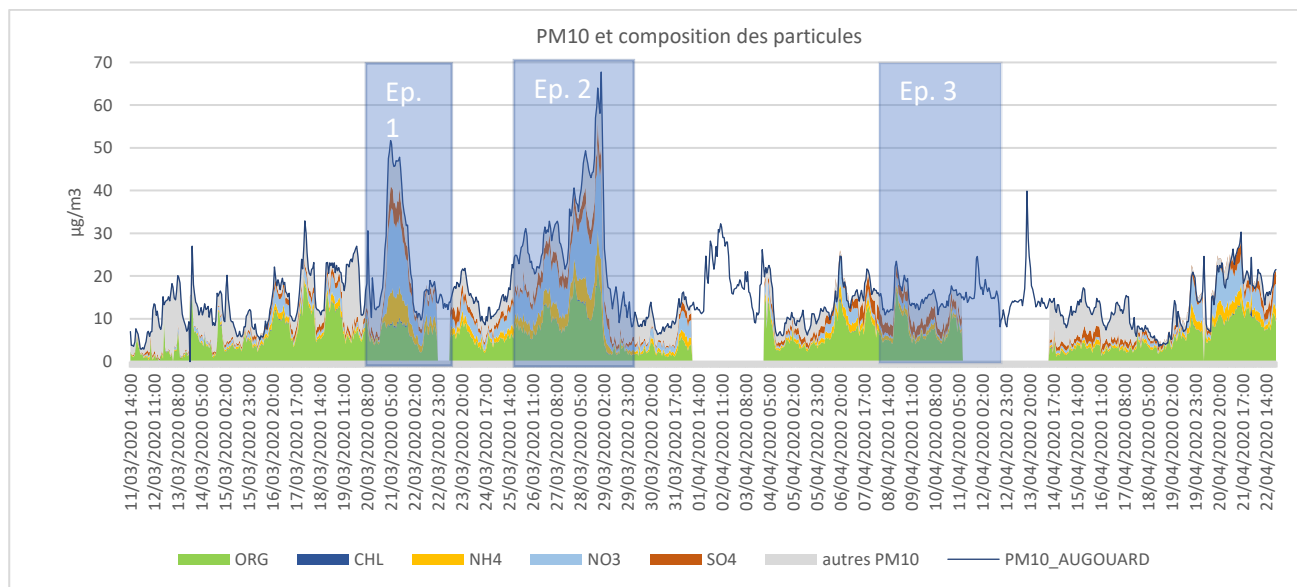


Figure 21 : Composition des particules mesurées sur l'ACSM de Poitiers-Augouard en mars et avril 2020.

La Figure 22 représente les cartes des moyennes d'ammoniac sur 3 jours à l'échelle métropolitaine et de la région Nouvelle-Aquitaine. Elles montrent que durant les mois de mars et avril 2020, le territoire métropolitain, en particulier la moitié nord, a connu plusieurs jours de hausse des concentrations d'ammoniac. Une première hausse des concentrations a eu lieu les journées du 20 au 22 (carte 2020-03-21) sur le nord du pays et de la région (épisode 1). Durant cet épisode, la hausse des concentrations d'ammoniac a conduit à la hausse des concentrations de particules fines de nitrate d'ammonium sur Poitiers, mais pas sur Bordeaux.

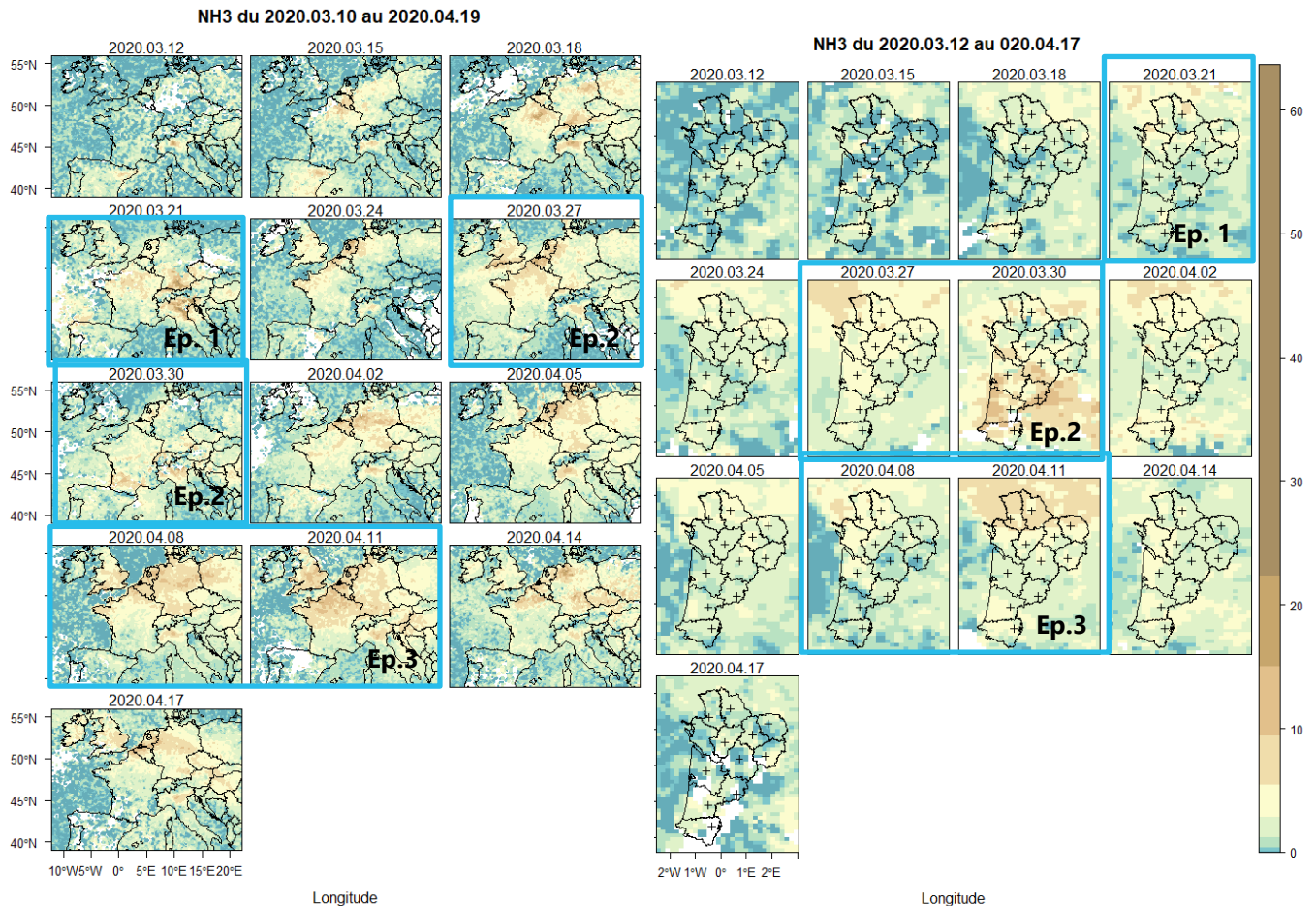


Figure 22 : concentrations moyennes sur 3 jours d'ammoniac mesurées par IASI en  $\text{mg.cm}^{-2}$ - échelle de la France et de la Nouvelle-Aquitaine

Lors de l'épisode 2 (26 au 31 mars), la hausse des concentrations d'ammoniac concerne également le sud de la région : les concentrations de particules fines augmentent sur Poitiers et sur Bordeaux. L'ACSM de Poitiers montre qu'une part importante de ces particules est constituée de nitrate d'ammonium.

Les concentrations d'ammoniac augmentent à nouveau du 7 au 12 avril (épisode 3), mais cette fois, on n'observe pas d'augmentation des concentrations de particules sur Poitiers ou Bordeaux. La différence entre les épisodes 1 et 2 et l'épisode trois réside dans les températures ambiantes.

Les particules de nitrate d'ammonium sont en effet des particules semi-volatiles qui ne se forment que lorsque les températures sont suffisamment froides, ce qui a été le cas des deux premiers épisodes, où les températures oscillent entre 0 et 15 °C sur Poitiers (cf Figure 23).

Lors du troisième épisode, en avril, les températures extérieures sont beaucoup plus clémentes, les valeurs oscillent entre 7 et 25 °C au cours de la journée sur Poitiers. Si les composés précurseurs du nitrate d'ammonium sont présents, les concentrations de particules restent faibles car les conditions météorologiques ne permettent pas la formation des particules semi-volatiles.



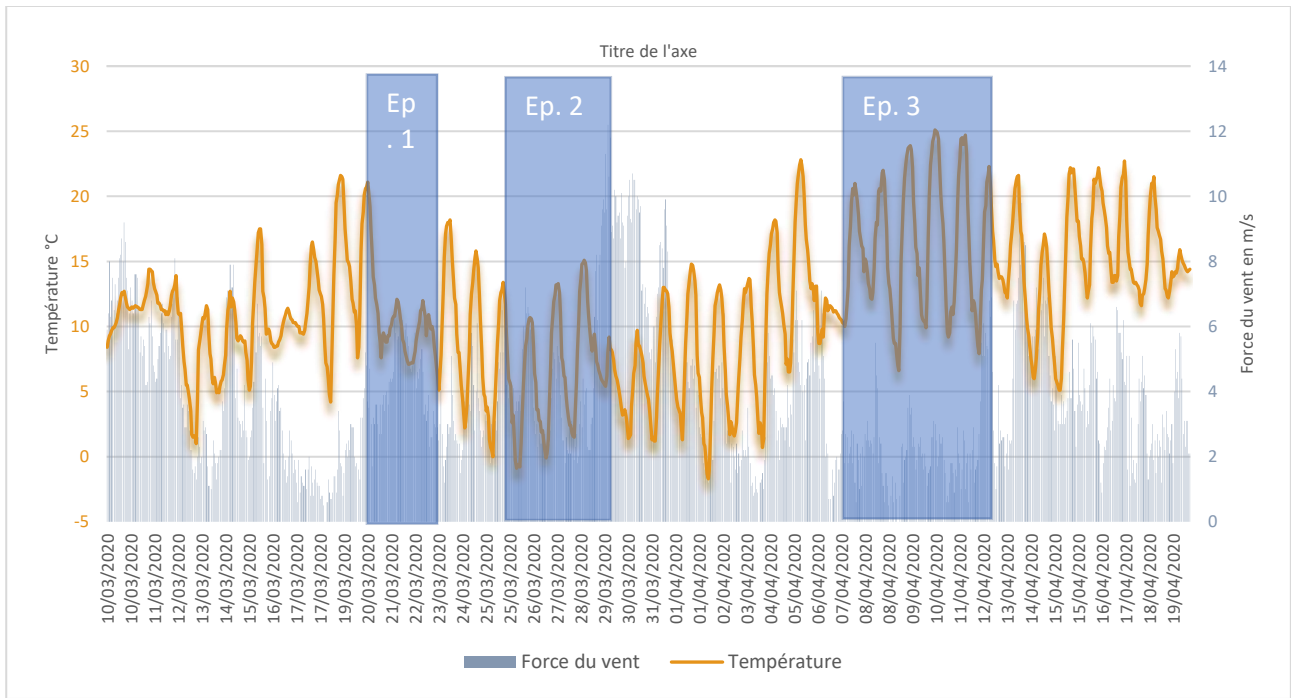


Figure 23 : Evolution de la température et de la force du vent moyennes horaires sur la station Météo-France de Poitiers-Biard.

## 6. Conclusions

Cette première exploitation sur la région Nouvelle aquitaine des données de mesures d'Ammoniac issues du spectromètre IASI permet de tirer plusieurs enseignements :

1. Il existe une forte variabilité des niveaux de concentrations sur le territoire, fortement influencés par le type d'activité agricole environnante. Les valeurs les plus élevées sont mesurées sur le département des Deux-Sèvres, à proximité de la région Pays de la Loire, dans des zones d'élevages hors-sol et bovin. Les valeurs sont ici parmi les plus élevées du territoire métropolitain. Viennent ensuite les départements de la Charente-Maritime et de la Vienne, dominés par les exploitations de production végétale de type grandes cultures. Les zones de production de maïs situées au sud de la région, ont les concentrations d'ammoniac les plus élevées de l'ex-Aquitaine.
2. Les concentrations ont une forte variabilité mensuelle fonction, là encore, des activités agricoles. Les profils annuels de concentration varient d'un site à l'autre de la région, avec souvent un premier pic autour du mois de mars, puis un second pic à l'été. Au sud de la région, le pic estival va être beaucoup plus présent que celui du printemps, alors que sur Loudun ou Poitiers, au nord, ce seront en mars que les concentrations seront les plus élevées.
3. La tendance pour l'évolution des concentrations est à la hausse sur la majeure partie de la région, ce qui est en contradiction avec les tendances à l'échelle nationale décrites par les inventaires d'émission.

Cette étude montre l'utilité des mesures IASI à l'échelle du territoire pour suivre l'évolution annuelle des concentrations d'ammoniac, et servir d'aide à l'interprétation des épisodes de pollution par les particules semi-volatiles.

Le nord de la région Nouvelle Aquitaine, sur l'emprise de l'ancienne région Poitou-Charentes, fait partie des territoires de la France métropolitaine où les concentrations sont les plus élevées. Elles conduisent régulièrement la région à connaître des épisodes printaniers de hausse des niveaux de particules. Il semble donc nécessaire de développer le suivi de l'ammoniac sur la région, en combinant les données de mesures IASI, qui couvrent l'ensemble du territoire régional, avec des données de mesures au sol, plus précises.

L'étape suivante consiste à consolider les mesures satellitaires avec des campagnes de mesures au sol, par échantillonneurs passifs pour étudier la répartition spatiale des valeurs et par analyseurs automatiques pour étudier leur évolution temporelle.





# Table des figures

Figure 1 : Répartition des émissions nationales d'ammoniac (source CITEPA SECTEN 2018) ( <a href="https://agriculture.gouv.fr/telecharger/102944?token=28d90ca8769ca8eb78cdc988560e6f99025e90edf3165f7b62ead52cc8453206">https://agriculture.gouv.fr/telecharger/102944?token=28d90ca8769ca8eb78cdc988560e6f99025e90edf3165f7b62ead52cc8453206</a> ) .....	7
Figure 2 : Evolution annuelle des émissions d'ammoniac en France (Format Secten, source : CITEPA).....	8
Figure 3 : Evolution des émissions de quelques polluants en indice base 100 des émissions en 2000 .....	8
Figure 4 : Source régionale d'émissions de NH3 en Nouvelle-aquitaine. (Source : Inventaire des émissions 2016 Atmo-Na 3.2.2, Mise à jour du 16/10/2019).....	9
Figure 5 : Emissions de NH3. (Source : Inventaire des émissions 2016 Atmo-NA 3.2.2, Mise à jour du 16/10/2019) .....	9
Figure 6 : activité dominante des exploitation agricoles par commune en France en 2010 (en nombre d'exploitation) .....	10
Figure 7 : Nombre d'UGB (unité Gros Bovins) par commune sur la région en 2010.....	11
Figure 8 : densité communale de surface cultivée en blé/orge/colza (m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> ) .....	11
Figure 9 : densité communale de surface cultivée en maïs (m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> ).....	12
Figure 10 : METOP – A (source ESA) .....	13
Figure 11 : Exemple de spectre IASI, avec les principaux contributeurs aux signaux spectrales [ DENIEL, 2019] .....	14
Figure 12 : concentrations moyennes annuelles (colonne totale) d'ammoniac mesurées par IASI en 2019 – échelle mondiale.....	16
Figure 13 : concentrations moyennes annuelles (colonne totale) d'ammoniac mesurées par IASI en 2019 – échelle Européenne .....	17
Figure 14 : concentrations moyennes annuelles (colonne totale) d'ammoniac mesurées par IASI en 2017-2019 – échelle de la métropole Française, concentrations moyennes par commune. ....	17
Figure 15 : concentrations moyennes annuelles d'ammoniac (colonne totale) mesurées par IASI en 2017-2019 – échelle de la Nouvelle-Aquitaine, concentrations moyennes par commune. Le détail des concentrations par année est présenté en annexe 1. ....	18
Figure 16 : Concentrations moyennes mensuelles d'ammoniac mesurées par IASI en 2019 sur la région Nouvelle-Aquitaine.....	19
Figure 17 : profils mensuels moyens (2014-2019) sur 12 sites de la région Nouvelle Aquitaine.....	19
Figure 18 : moyenne annuelle et tendance des concentrations d'ammoniac mesurées par IASI de 2014 à 2019 .....	20
Figure 19 : tendance de l'évolution des concentrations moyennes annuelles d'ammoniac mesurées par IASI de 2014 à 2019.....	21
Figure 20 : concentrations moyennes journalières de PM10 et PM2.5 sur les stations de Poitiers-Augouard et Bordeaux-Talence.....	22
Figure 21 : Composition des particules mesurées sur l'ACSM de Poitiers-Augouard en mars et avril 2020.....	23
Figure 22 : concentrations moyennes sur 3 jours d'ammoniac mesurées par IASI en mg.cm <sup>-2</sup> - échelle de la France et de la Nouvelle-Aquitaine.....	24
Figure 23 : Evolution de la température et de la force du vent moyennes horaires sur la station Météo-France de Poitiers-Biard. ....	25

## *Table des tableaux*

Tableau 1 : Objectifs de réduction des émissions d'ammoniac prévus par le décret n°2017-949 ..... 7

## *Références*

[Van Damme, 2018] Van Damme, M., Clarisse, L., Whitburn, S., Hadji-Lazaro, J., Hurtmans, D., Clerbaux, C., Coheur, P.-F. *Nature*, le 5 décembre 2018. DOI: 10.1038/s41586-018-0747-1. Industrial and agricultural ammonia point sources exposed.

[Bessagnet, 2016] Bessagnet et al., Le rôle de l'agriculture sur les concentrations de particules dans l'atmosphère et d'apport de la modélisation, polluant atmosphérique – Numéro spécial – septembre 2016.

[Deniel, 2019] DENIEL Carole (CNES), VIATTEL Camille (ATMOS/CNRS), Mesure des polluants depuis l'espace - RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT - OCTOBRE 2019 - N°96 - © Annales des Mines

[Franco, 2018] Franco et al. (2018), A General Framework for Global Retrievals of Trace Gases From IASI: Application to Methanol, Formic Acid, and PAN, 123, 13,963–13,984, doi:10.1029/2018JD029633.

[Van Damme, 2017] Van Damme et al. (2017), Version 2 of the IASI NH<sub>3</sub> neural network retrieval algorithm: near-real-time and reanalysed datasets, *Atm. Meas. Tech.*, 10, 4905–4914, doi:10.5194/amt-10-4905-2017;

[Whitburn, 2016] Whitburn et al. (2016), A Flexible and robust neural network IASI-NH<sub>3</sub> retrieval algorithm, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 121, 6581–6599, doi:10.1002/2016JD024828.

[Viatte, 2020] Viatte, C., Wang, T., Van Damme, M., Dammers, E., Meleux, F., Clarisse, L., Shephard, M. W., Whitburn, S., Coheur, P. F., Cady-Pereira, K. E., and Clerbaux, C.: Atmospheric ammonia variability and link with particulate matter formation: a case study over the Paris area, *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 577–596, <https://doi.org/10.5194/acp-20-577-2020>, 2020.

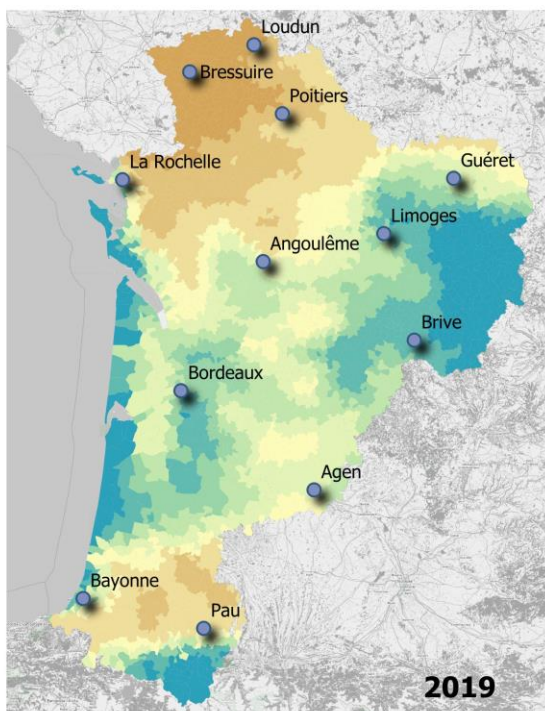
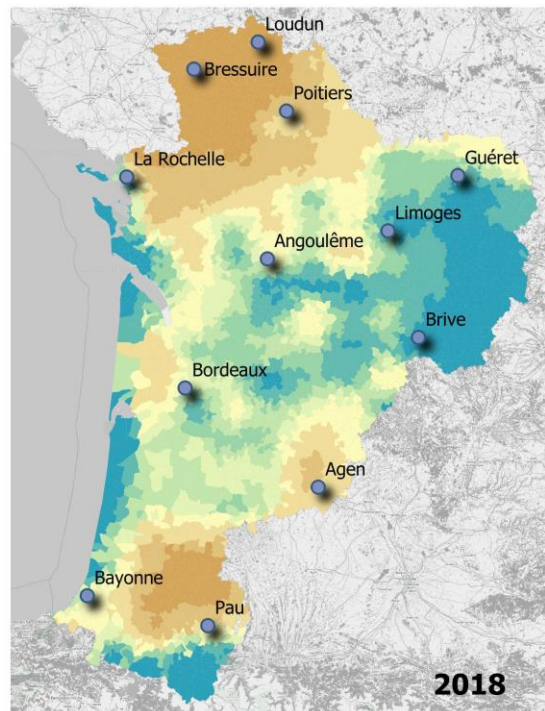
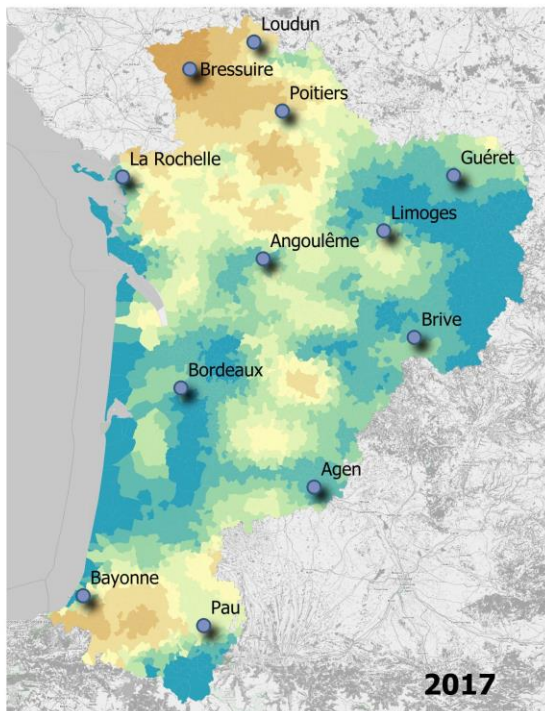
[MTE, 2020] Ministère de la transition écologique, Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2019, septembre 2020.

[JACQUETTE, 2014] Elsa JACQUETTE, Elisa BALDIT et l'équipe projet IASI CNES « Le sondeur infrarouge IASI », *Photoniques* 73, 2014, <https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2014/05/photon201473p26.pdf>

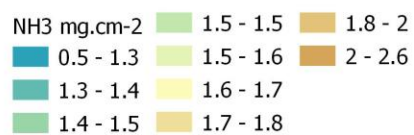
# Annexes

ANNEXE 1 Moyennes annuelles des concentrations d'ammoniac à l'échelle communale (mesures IASI). 2017 à 2019

ANNEXE 1 Moyennes annuelles des concentrations d'ammoniac à l'échelle communale (mesures IASI). 2017 à 2019



NH3 - IASI  
Moyennes annuelles





RETROUVEZ TOUTES  
NOS **PUBLICATIONS** SUR :  
[www.atmo-nouvelleaquitaine.org](http://www.atmo-nouvelleaquitaine.org)

## Contacts

---

[contact@atmo-na.org](mailto:contact@atmo-na.org)  
Tél. : 09 84 200 100

Pôle Bordeaux (siège Social) - ZA Chemin Long  
13 allée James Watt - 33 692 Mérignac Cedex

Pôle La Rochelle (adresse postale-facturation)  
ZI Périgny/La Rochelle - 12 rue Augustin Fresnel  
17 180 Périgny

Pôle Limoges  
Parc Ester Technopole - 35 rue Soyouz  
87 068 Limoges Cedex

