



**L'ammoniac en région
Centre-Val de Loire : état des
lieux et perspectives
Année 2023**

Octobre 2024

AVERTISSEMENT

Les informations contenues dans ce rapport traduisent la mesure d'un ensemble d'éléments en un instant caractérisé par des conditions climatiques propres.

Ce rapport d'études est la propriété de Lig'Air. Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à Lig'Air.

Lig'Air ne saurait être tenue pour responsable des événements pouvant résulter de l'interprétation et/ou l'utilisation des informations faites par un tiers.

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	2
TABLE DES MATIÈRES.....	3
TABLE DES FIGURES	4
TABLE DES TABLEAUX.....	5
I. Introduction.....	6
II. L'ammoniac : généralités et réglementation	6
A. Définition	6
B. Emissions et sources	6
C. Impacts	8
D. Réglementation	9
a) Valeurs limites d'exposition	9
b) Valeurs toxicologiques de référence	9
c) Valeurs remarquables	9
E. Gammes de concentrations	9
III. Matériels et méthodes	11
A. Appareils de mesures	11
a) Analyse en continu : Picarro G2103	11
b) Prélèvement par tubes passifs	11
B. Stratégie de surveillance	12
IV. Résultats	14
A. Analyse en continu	14
a) Evolutions temporelles	14
b) Profils moyens	15
c) Comparaison avec les niveaux nationaux	16
B. Analyse par tubes passifs	17
a) Evolutions temporelles	17
b) Corrélation avec les particules en suspension : PM ₁₀	18
c) Comparaison à l'historique	20
V. Conclusion.....	22
VI. Bibliographie.....	23
VII. Annexes	25
A. Localisation des sites de prélèvement NH ₃	25
B. Photo d'une cartouche Radiello 168	26
C. Date des prélèvements par tubes passifs	27
D. Cartographie des émissions d'ammoniac	28
E. Répartition des activités agricoles émettrices d'ammoniac	28

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution temporelle des émissions de NH ₃ en tonnes entre 2008 et 2020 en région Centre-Val de Loire (Source : Lig'Air - ODACE)	7
Figure 2 : Emissions de NH ₃ en fonction du secteur d'activité en région Centre-Val de Loire (Source : Lig'Air - ODACE)	7
Figure 3 : Schéma de formation d'aérosols atmosphérique à partir des différentes sources d'ammoniac (Source : AirParif)	8
Figure 4 : Principe de fonctionnement du Picarro G2103	11
Figure 5 : Picarro G2103	11
Figure 6 : Schéma tubes passifs	11
Figure 7 : Localisation des stations de mesures NH ₃ , PM ₁₀ et des stations météorologiques de Météo-France	12
Figure 8 : Cartographie des types de cultures en région Centre-Val-de-Loire (Source : AGRESTE Recensement agricole 2020)	13
Figure 9 : Concentrations moyennes journalières de NH ₃ à la station Oysonville pendant l'année 2023	14
Figure 10 : Concentrations moyennes mensuelles en NH ₃ à la station Oysonville pendant l'année 2023	15
Figure 11 : Comparaison des profils moyens journaliers de l'ammoniac mesuré à Oysonville et des profils moyens journaliers de l'humidité relative et de la température mesurées à Chartres en 2023	15
Figure 12 : Localisation des stations de mesure NH ₃ en France (Source : Géod'Air).....	16
Figure 13 : Concentrations moyennes d'ammoniac mesurées par Picarro G2103 en 2023 par différentes AASQA avec en bleu les stations urbaines et en vert les stations rurales (Source : Géodair).....	16
Figure 14 : Evolutions des concentrations de NH ₃ moyennées sur les périodes de prélèvements à Saint-Cyr-en-Val, Bazoches, Verneuil et Oysonville en 2023	17
Figure 15 : Evolutions des concentrations de NH ₃ et PM ₁₀ à Saint-Cyr-en-Val en 2023	18
Figure 16 : Evolutions des concentrations de NH ₃ et PM ₁₀ à Bazoches en 2023.....	19
Figure 17 : Evolutions des concentrations de NH ₃ et PM _{2,5} à Verneuil en 2023	19
Figure 18 : Evolutions des concentrations moyennes journalières de NH ₃ et PM ₁₀ à Oysonville en 2023	20
Figure 19 : Comparaison des moyennes annuelles d'ammoniac mesurées aux stations Saint-Cyr-en-Val, Bazoches et Oysonville	20
Figure 20 : Localisation des sites de prélèvement NH ₃ (Source : Google Maps)	25
Figure 21 : Photo d'une cartouche Radiello 168 à Saint-Cyr-en-Val (situé sur le parking de Lig'Air)	26
Figure 22 : Cartographie des émissions d'ammoniac (en tonnes) du secteur agricole en 2020 dans la région Centre-Val de Loire	28
Figure 23 : Répartition des activités agricoles émettrices d'ammoniac en région Centre-Val de Loire en 2018 (Source : TRACE)	28

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Concentrations d’ammoniac mesurées par d’autres AASQA.....	10
Tableau 2 : Caractéristiques des points de prélèvement NH ₃ dans la région Centre-Val de Loire	13
Tableau 3 : Statistiques des données de NH ₃ mesuré avec le Picarro en 2023 à Oysonville	14
Tableau 4 : Statistiques sur les concentrations de NH ₃ mesurées à Saint-Cyr-en-Val, Bazoches et Oysonville pendant la campagne tubes passifs	18
Tableau 5 : Statistiques sur les concentrations d’ammoniac mesurées par tubes passifs en 2021 et 2022	21
Tableau 6 : Date de pose et dépose des tubes passifs.....	27

I. Introduction

L'ammoniac (NH_3) est un polluant atmosphérique non réglementé présentant des effets néfastes sur la santé et l'environnement s'il est présent en concentrations élevées dans l'air ambiant. En effet, les substances résultant des transformations chimiques de l'ammoniac sont impliquées à la fois dans l'acidification et l'eutrophisation des milieux et dans la dégradation de la qualité de l'air. L'ammoniac émis dans l'air peut réagir avec les oxydes d'azote provenant du trafic et des activités industrielles pour former des particules fines dites secondaires, dangereuses pour la santé. L'ammoniac est principalement émis par les activités agricoles, telles que l'élevage, l'épandage d'engrais et la gestion des déchets des animaux. Au printemps, il participe ainsi aux épisodes de pollution aux particules fines et aux dépassements des valeurs réglementaires. En 2020, en région Centre-Val de Loire, les émissions de NH_3 dans l'air ambiant sont de 30 375 tonnes/an. Le secteur agricole est responsable à 98% de ces émissions (ODACE).

La surveillance de l'ammoniac est un enjeu environnemental majeur afin de mieux comprendre les phénomènes de formation des particules secondaires et de limiter leur concentration dans l'air.

Cette étude a pour objectif de dresser un état des lieux sur les niveaux et le comportement de l'ammoniac dans la région Centre-Val de Loire.

Dans la région, l'ammoniac est mesuré par Lig'Air depuis 2021 à l'aide de prélèvements passifs. Un analyseur automatique permettant de mesurer des concentrations d'ammoniac en continu est également venu compléter le dispositif de surveillance de l'ammoniac depuis 2022. Ce rapport présente les résultats des analyses en continu et des prélèvements passifs d'ammoniac réalisés pendant l'année 2023.

II. L'ammoniac : généralités et réglementation

A. Définition

L'ammoniac (NH_3) est présent sous forme gazeuse dans l'air à température ambiante. Ce gaz est incolore, possède un caractère basique important ainsi qu'une odeur piquante et âcre caractéristique.

B. Emissions et sources

L'ammoniac est réglementé en termes d'émission puisqu'il fait partie des polluants atmosphériques ciblés dans le Plan national de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) découlant de directives européennes. Les objectifs fixés pour la France sont de réduire les émissions d'ammoniac de 13 % d'ici 2030, avec des paliers intermédiaires : -5,5% en 2022 et -8% en 2025 par rapport à l'année de référence 2005 (Décret n° 2022-1654 2022).

Au cours des dernières décennies, les émissions d'ammoniac en France ont connu une tendance à la baisse, mais cette réduction a été lente et les émissions restent encore élevées (CITEPA 2020). En région Centre-Val de Loire, les émissions d'ammoniac sont en diminution depuis 2015 et représentaient 30 375 tonnes en 2020 (figure 1).



Figure 1 : Evolution temporelle des émissions de NH₃ en tonnes entre 2008 et 2020 en région Centre-Val de Loire (Source : Lig'Air - ODACE)

L'ammoniac est émis par des sources naturelles et anthropiques. Les émissions d'ammoniac issues des sources anthropiques sont dominantes et majoritairement liées aux activités agricoles. En effet, en France l'ammoniac est produit à hauteur de 94 % par le secteur agricole ce qui en fait en 2018 le premier pays de l'union européenne pour les émissions d'ammoniac liées à l'agriculture (ADEME). En région Centre-Val de Loire, les émissions d'ammoniac sont issues à 99 % du secteur agricole (figure 2).

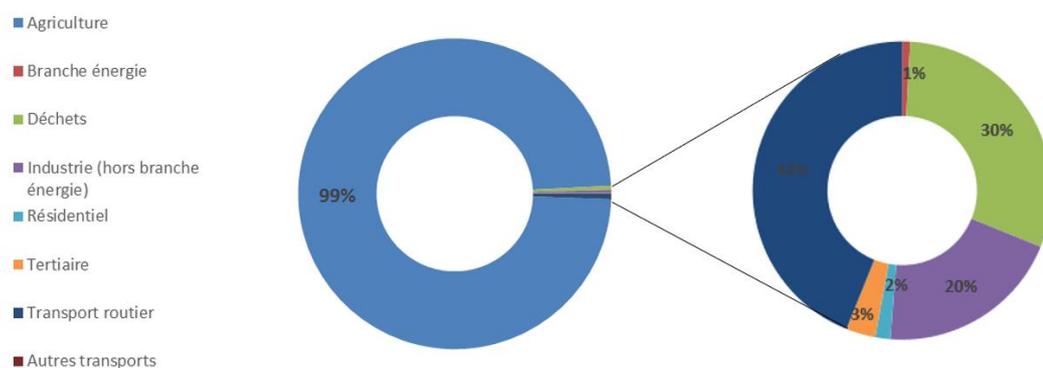


Figure 2 : Emissions de NH₃ en fonction du secteur d'activité en région Centre-Val de Loire (Source : Lig'Air - ODACE)

Les émissions d'ammoniac du secteur agricole sont principalement liées aux déjections provenant des élevages et aux engrais azotés utilisés pour la fertilisation des cultures (ADEME 2011). En effet, les animaux d'élevage, tels que les vaches, les porcs et les volailles, produisent de l'urine et des excréments riches en azote. Ces matières organiques se décomposent naturellement et produisent de l'ammoniac qui est libéré dans l'air. Les bâtiments d'élevage peuvent également contribuer à la libération d'ammoniac, car ils retiennent l'urine et les excréments et favorisent leur décomposition. Les engrais azotés sont couramment utilisés pour augmenter la teneur en azote des sols et améliorer la croissance des cultures. Cependant, une partie de l'azote appliqué sous forme d'engrais est convertie en ammoniac et libérée dans l'air par volatilisation. La volatilisation de l'ammoniac dépend de plusieurs facteurs : les méthodes d'épandage, la composition du fumier, la nature du sol et

les conditions météorologiques. Des températures élevées et le vent favorisent la volatilisation tandis que l'humidité relative et les précipitations la limite. (CITEPA 2020).

Dans une moindre mesure, l'industrie, la gestion des déchets, la combustion de biomasse et le transport routier sont également sources d'ammoniac. L'ammoniac issu du transport routier est lié à l'utilisation de pot catalytique et notamment du système de réduction catalytique sélective (SCR). Le système SCR est basé sur la réduction des NOx en présence d'un réducteur continu, le plus utilisé étant l'urée. Sa décomposition chimique par la chaleur forme de l'ammoniac qui peut être émis dans les gaz d'échappement (Chatain et al. 2022).

L'ammoniac émis naturellement provient principalement du cycle de l'azote et de la dégradation biologique des matières azotées présentes dans les déchets organiques ou le sol.

C. Impacts

L'ammoniac présente divers effets néfastes pour l'environnement, la qualité de l'air et la santé.

Tout d'abord, il participe à la formation de particules fines dans l'atmosphère dont l'impact sanitaire est évalué à plus de 40 000 décès par an en France (Santé Publique France 2021). En effet, l'ammoniac est reconnu comme étant un précurseur majeur d'aérosols inorganiques secondaires. Lorsque l'ammoniac est émis dans l'air ambiant, il peut réagir avec les produits d'oxydation d'autres polluants gazeux tels que l'acide nitrique HNO_3 (produit par les oxydes d'azote) et l'acide sulfurique H_2SO_4 (produit par le dioxyde de soufre) pour former du nitrate d'ammonium NH_4NO_3 et du sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (figure 3). Ces particules secondaires peuvent représenter une part importante de la composition chimique des particules lors de pics de pollution, notamment au printemps lors des périodes d'épandage.

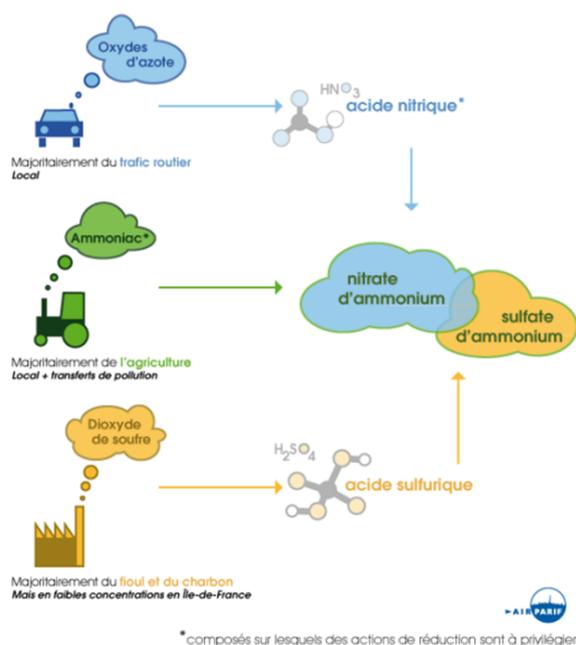


Figure 3 : Schéma de formation d'aérosols atmosphérique à partir des différentes sources d'ammoniac (Source : AirParif)

L'ammoniac peut provoquer des gênes olfactives de par son odeur très piquante. A de fortes concentrations, il peut également entraîner des irritations des voies respiratoires, de la peau et des yeux.

L'ammoniac a un impact environnemental important en raison de sa capacité à perturber le cycle de l'azote. Il participe notamment à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux et

contribue au changement climatique en altérant le cycle du carbone par ajout d'azote réactif.

D. Réglementation

L'ammoniac ne fait pas partie des polluants réglementés dans l'air ambiant et selon l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, sa surveillance n'est pas obligatoire. Il n'existe donc pas de seuil ni de valeur limite réglementaire dans l'air ambiant au même titre que les particules fines.

a) Valeurs limites d'exposition

En France, des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP) contraignantes sont fixées pour l'ammoniac anhydre (INRS 2021) :

- Valeur limite de Moyenne d'Exposition (VME), 8h d'exposition : 7 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Valeur limite de courte durée (VLCT), 15 minutes d'exposition : 14 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

b) Valeurs toxicologiques de référence

Une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) est un indice permettant de qualifier ou quantifier un risque pour la santé humaine. Elle permet de caractériser le lien entre l'exposition de l'homme à une substance toxique et l'occurrence ou la sévérité d'un effet nocif observé. En 2018, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a validé trois VTR pour une exposition au NH_3 par inhalation (ANSES 2018) :

- Pour une exposition aiguë sur une durée de 24h : 5 900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- Pour une exposition subchronique de 15 à 364 jours : 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (US EPA 2016),
- Pour une exposition chronique à partir de 365 jours : 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (US EPA 2016).

c) Valeurs remarquables

Selon une étude réalisée en 2009 aux Pays-Bas, une détérioration de la végétation est observée à partir de concentrations d'ammoniac de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les lichens et bryophyte et à partir de 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne annuelle) pour les végétaux supérieurs (Cape et al. 2009).

Le seuil olfactif de détection de l'ammoniac est très variable : d'environ 0,03 à 37,5 mg/m^3 (0,04 à 53 ppm) (ANSES 2021).

E. Gammes de concentrations

En l'absence de réglementations sur les concentrations d'ammoniac dans l'air ambiant, les gammes de concentrations observées dans le cadre d'autres études peuvent servir d'éléments de comparaison.

La concentration ubiquitaire¹ de l'ammoniac dans l'air est de l'ordre de **0,4 à 2,1** µg/m³ (INERIS 2012).

Certains facteurs comme les activités industrielles ou agricoles modifient largement les concentrations attendues. Voici quelques valeurs de concentrations d'ammoniac mesurées par d'autres AASQA dans différents contextes :

Tableau 1 : Concentrations d'ammoniac mesurées par d'autres AASQA

Contexte	Concentration moyenne de NH ₃ sur la période d'étude en µg/m ³	Période d'étude	Source
Milieu industriel	8 2,6 à 44,6	Quelques mois 2022	Atmo Sud 2018 Atmo Occitanie 2023
Vaste zone de culture	8	Avril à octobre 2015	Atmo AURA 2016
Plage envahie d'algues vertes	1,6 4,4 9,5	Été 2005 Été 2006 2 mois	AirBreizh 2011
Zone d'élevage intensifs	37 – 77	2003	AirBreizh 2011
Milieu urbain	2,7 – 9,7 1,7	2002 3 semaines	AirBreizh 2011

Les travaux bibliographiques menés par Air Breizh, l'Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air en région Bretagne, dans le cadre d'une étude sur l'ammoniac rapporte des concentrations de l'ordre du microgramme par mètre cube dans les régions d'agriculture extensive, s'élevant à **30** ou **60** µg/m³ en zone d'agriculture intensive et atteignant jusqu'à **1000** µg/m³ en mesure instantanée à 50 mètres sous le vent d'un épandage de lisier (AirBreizh 2011).

¹ Concentration pouvant être mesurée dans différents compartiments de l'environnement

III. Matériels et méthodes

A. Appareils de mesures

a) Analyse en continu : Picarro G2103

L'analyseur automatique Picarro G2103 mesure les niveaux d'ammoniac dans l'air en utilisant la spectroscopie d'absorption infrarouge (IR). Cette technique utilise la capacité de l'ammoniac à absorber les rayons infrarouges à certaines longueurs d'onde pour déterminer sa concentration dans l'air.

Le Picarro G2103 est doté d'un laser infrarouge qui projette un faisceau lumineux sur un échantillon d'air. L'ammoniac dans l'air absorbe une partie de ce faisceau, ce qui réduit son intensité. La réduction de l'intensité du faisceau est mesurée par un détecteur et est proportionnelle à la concentration d'ammoniac dans l'air (Picarro).

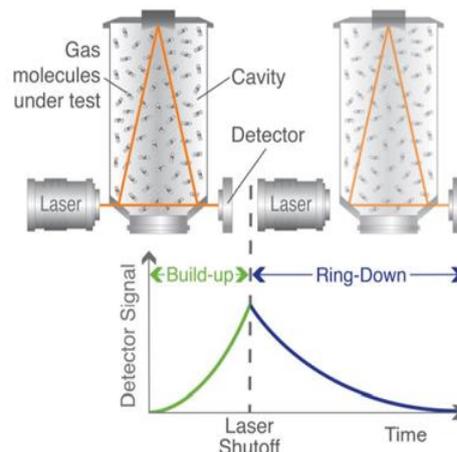


Figure 4 : Principe de fonctionnement du Picarro G2103



Figure 5 : Picarro G2103

Le système comprend une chambre d'échantillonnage qui prélève une petite quantité d'air pour analyse. L'air est aspiré dans la chambre d'échantillonnage, puis soufflé à travers le laser pour mesure. Le processus est répété plusieurs fois par seconde pour obtenir une mesure en continu de la concentration d'ammoniac dans l'air.

L'analyseur Picarro G2103 est conçu pour être fiable, précis et facile à utiliser. Il utilise des algorithmes avancés pour corriger les erreurs de mesure et les interférences causées par d'autres gaz atmosphériques. La limite de détection de cet analyseur est inférieure à $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

b) Prélèvement par tubes passifs

Le préleveur passif Radiello 168 est un dispositif qui permet la mesure de la concentration d'ammoniac dans l'air en utilisant la technique du prélèvement passif. Cette technique s'appuie sur le principe de la diffusion passive qui consiste à transférer de la matière sous l'effet d'un gradient de concentration afin de piéger le polluant recherché.

Le tube Radiello est composé d'un corps diffusif et d'une cartouche de prélèvement, imprégnée d'acide phosphorique qui piège l'ammoniac sous forme d'ion ammonium (LCSQA 2021).

Les tubes passifs sont exposés à l'air ambiant pendant une période de 14 jours puis analysés ultérieurement par le laboratoire LASAIR d'AirParif. La

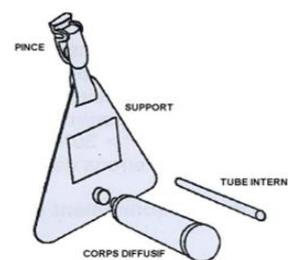


Figure 6 : Schéma tubes passifs

quantité d'ammoniac absorbée est déterminée par spectrophotométrie. Les résultats sont fournis avec une incertitude de $\pm 5,6 \mu\text{g}$ soit $\pm 13,9 \%$. Les sources d'incertitudes proviennent de l'étalonnage, de la répétabilité, de la dérive, de la linéarité, du niveau de blanc et du volume de réactif introduit.

La concentration moyenne d'ammoniac sur la période d'échantillonnage est calculée à partir de la masse piégée, du débit d'échantillonnage et de la durée d'exposition.

B. Stratégie de surveillance

En 2023, l'ammoniac est mesuré sur quatre sites en région Centre-Val de Loire comme présenté sur la figure 7. Oysonville, Bazoches et Verneuil sont des sites ruraux, tandis que le site Saint-Cyr-en-Val (situé sur le parking de Lig'Air) présente une typologie urbaine.

A Oysonville, l'ammoniac est mesuré en continu à l'aide de l'analyseur automatique Picarro G2103 depuis décembre 2021.

A Saint-Cyr-en-Val, Bazoches et Verneuil, l'ammoniac est mesuré par prélèvement passif à l'aide de cartouches Radiello 168. En 2023, 25 prélèvements consécutifs, tous d'une durée de 14 jours, ont été effectués sur ces trois sites du 24 janvier au 28 décembre 2023. Les dates des prélèvements sont regroupées dans le tableau 6 situé en annexes. Le tableau 2 regroupe les caractéristiques des points de prélèvement.

Les stations de mesures des particules en suspension PM_{10} Fulbert et La Source CNRS (sites fixes de surveillance de Lig'Air les plus proches des sites de mesures de NH_3) ont également été utilisées dans cette étude afin de comparer les évolutions des niveaux d'ammoniac à celles des PM_{10} . La carte ci-dessous permet de localiser les sites de mesure de l'ammoniac, celles des PM_{10} ainsi que les stations météorologiques de Météo-France utilisées dans le cadre de cette étude.

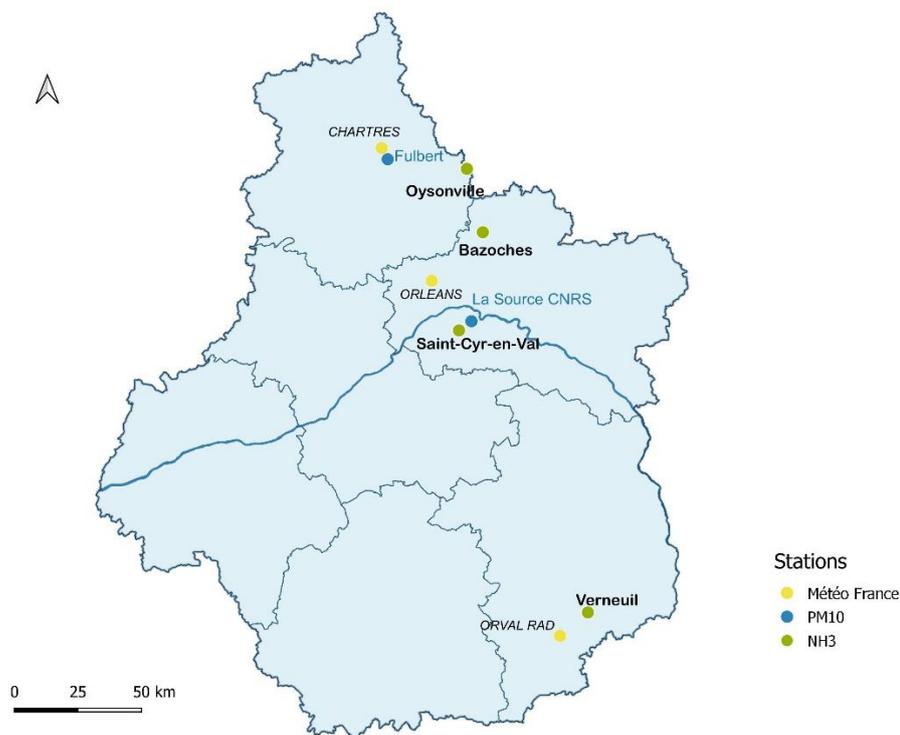


Figure 7 : Localisation des stations de mesures NH_3 , PM_{10} et des stations météorologiques de Météo-France

Tableau 2 : Caractéristiques des points de prélèvement NH₃ dans la région Centre-Val de Loire

Site	Typologie	Appareil de mesure	Période de mesure
Oysonville	Rurale	Picarro G2103	Mesures en continu à partir du 20/12/2021
Bazoches	Rurale	Tubes passifs Radiello	Mesures toutes les 2 semaines du 02/01/2023 au 28/12/2023
Saint-Cyr-en-Val	Urbaine	Tubes passifs Radiello	Mesures toutes les 2 semaines du 02/01/2023 au 28/12/2023
Verneuil	Rurale	Tubes passifs Radiello	Mesures toutes les 2 semaines du 24/01/2023 au 27/12/2023

La figure 8 présente une cartographie des types de cultures en région Centre-Val-de-Loire. D'après cette carte, les sites de Oysonville et Bazoches sont localisés dans une zone d'activités agricoles de type grandes cultures alors que le site de Verneuil se situe dans une zone de polyculture et polyélevage.

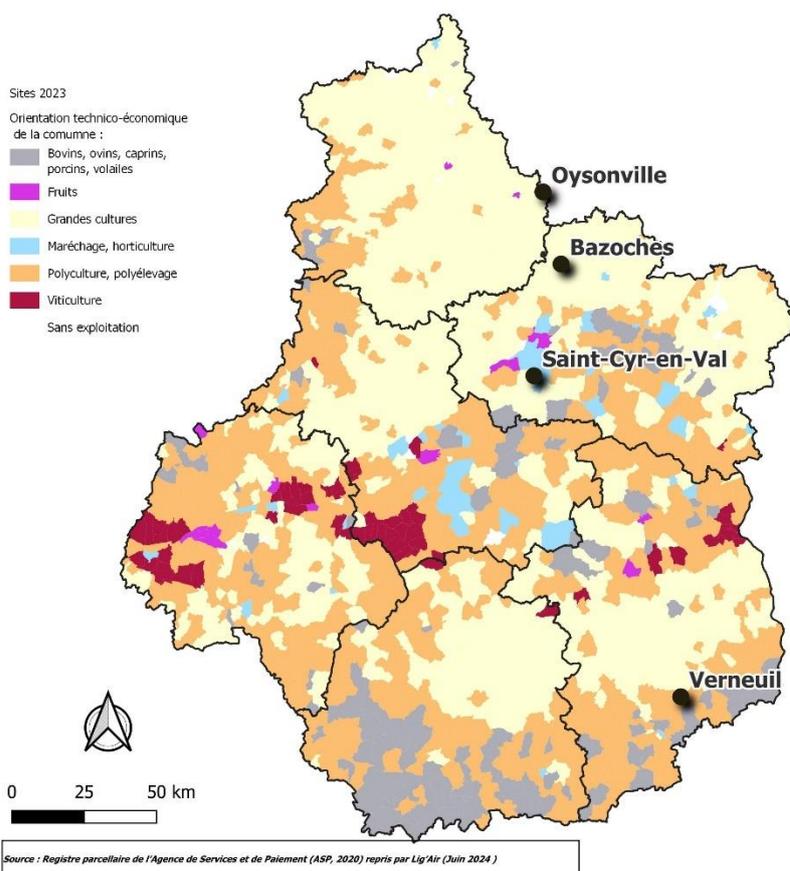


Figure 8 : Cartographie des types de cultures en région Centre-Val-de-Loire (Source : AGRESTE Recensement agricole 2020)

IV. Résultats

A. Analyse en continu

Le taux de fonctionnement de l'analyseur Picarro sur l'année 2023 est de 96 %.

a) Evolutions temporelles

L'évolution des concentrations moyennes journalières d'ammoniac mesurées à Oysonville pendant l'année 2023 est représentée sur la figure 9 ci-dessous. Cette évolution fait apparaître une variabilité saisonnière des niveaux d'ammoniac à Oysonville avec des concentrations plus élevées au printemps et notamment des pics de concentrations dépassant régulièrement les 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre février et avril 2023.

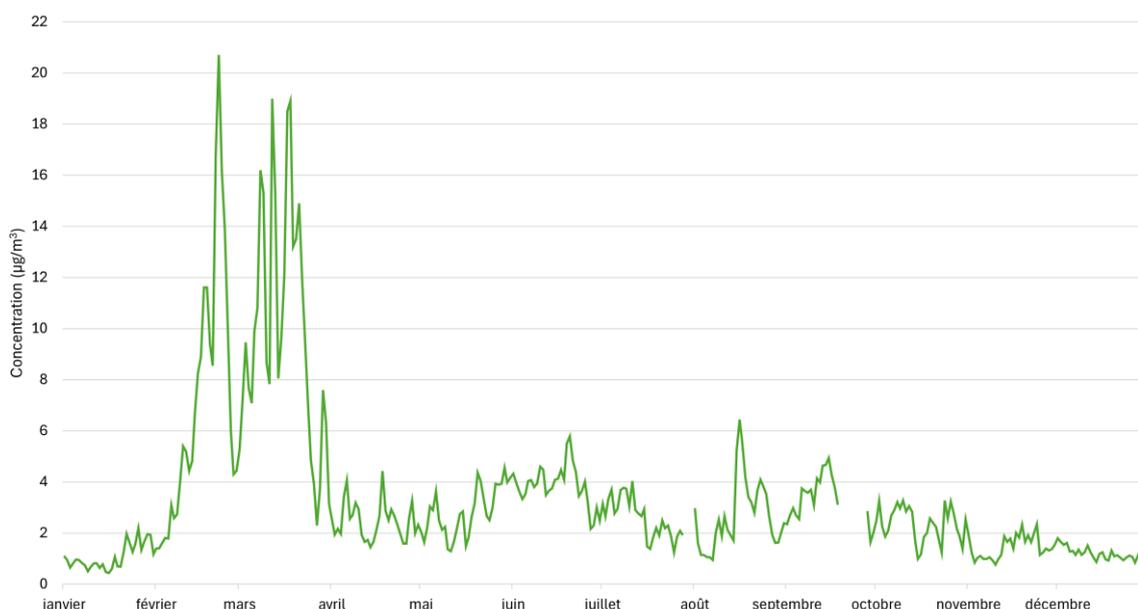


Figure 9 : Concentrations moyennes journalières de NH_3 à la station Oysonville pendant l'année 2023

En 2023, la concentration moyenne annuelle d'ammoniac est de 3,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les maximums journaliers et horaires atteignent respectivement 20,9 et 31,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 21 et 22 février 2023 (tableau 3). Ainsi, les concentrations d'ammoniac mesurés à Oysonville restent largement inférieures aux VTR, que ce soit pour une exposition aiguë (5 900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ou pour une exposition subchronique ou chronique (500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le seuil olfactif minimal de l'ammoniac de 0,04 ppm (ou environ 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) est atteint lors des max horaires du mois de février.

Tableau 3 : Statistiques des données de NH_3 mesuré avec le Picarro en 2023 à Oysonville

	Concentration NH_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Date
Moyenne	3,4	2023
Maximum horaire	31,5	21/02/2023
Maximum journalier	20,9	22/02/2023

La saisonnalité des niveaux d'ammoniac à Oysonville est confirmée par la figure 10 qui présente les concentrations moyennes mensuelles de NH_3 en 2023. Les mois de février et mars sont effectivement les mois pendant lesquels les niveaux d'ammoniac étaient les plus importants avec des moyennes mensuelles atteignant respectivement 7,1 et 9,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cette saisonnalité s'explique par le fait que février et mars sont les mois où ont lieu les périodes d'épandages qui émettent de l'ammoniac dans l'air ambiant. En effet, comme montré sur la figure 8, Oysonville se situe dans une zone d'activité agricole de type grandes

cultures, ainsi les pics d'ammoniac observés au printemps sont probablement liés à l'apport d'engrais azotés dans les sols à proximité de la station. A l'inverse, les niveaux d'ammoniac les plus faibles sont mesurés entre octobre et janvier, période durant laquelle les activités agricoles sont les moins importantes, notamment à cause des conditions météorologiques généralement trop humides pour la réalisation de ces activités.

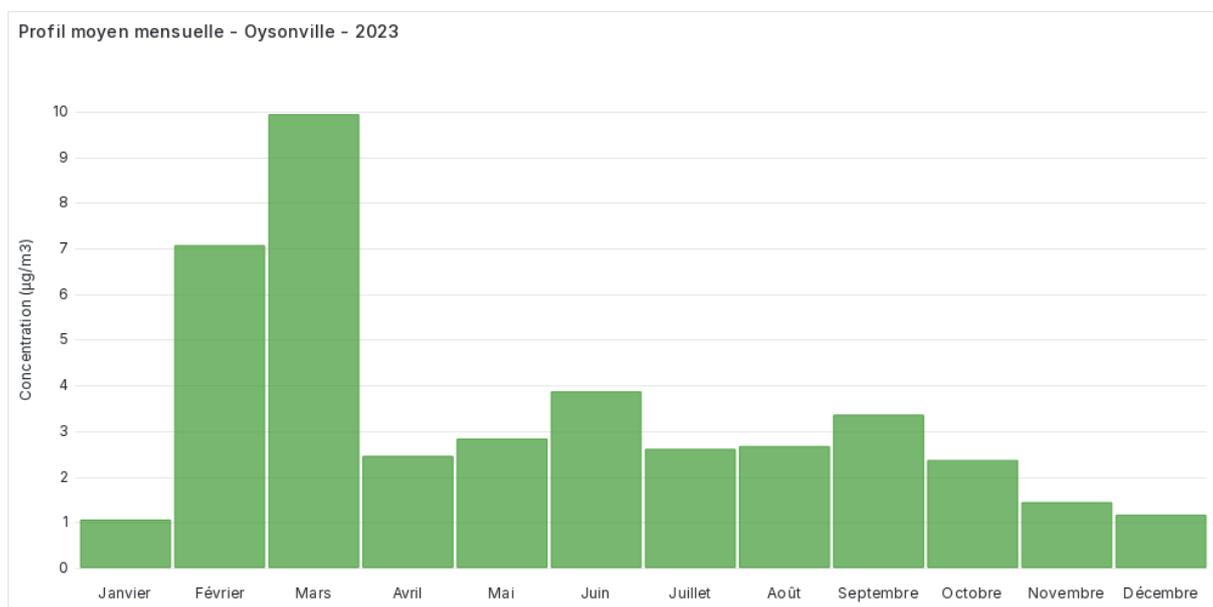


Figure 10 : Concentrations moyennes mensuelles en NH₃ à la station Oysonville pendant l'année 2023

b) Profils moyens

Le profil journalier de l'ammoniac moyenné sur l'année 2023 est représenté sur la figure 11. Sur cette même figure, il est comparé aux profils moyens de la température et de l'humidité relative. Les données météorologiques sont issues de la station Météo France de Chartres (station météo la plus proche de Oysonville). Le profil moyen journalier de l'ammoniac présente un profil en cloche avec une augmentation des concentrations dans la matinée et un maximum atteint en début d'après-midi. Les concentrations maximales d'ammoniac sont atteintes lorsque la température de l'air augmente et que l'humidité relative est minimale mettant en évidence le phénomène de volatilisation de l'ammoniac depuis le sol.

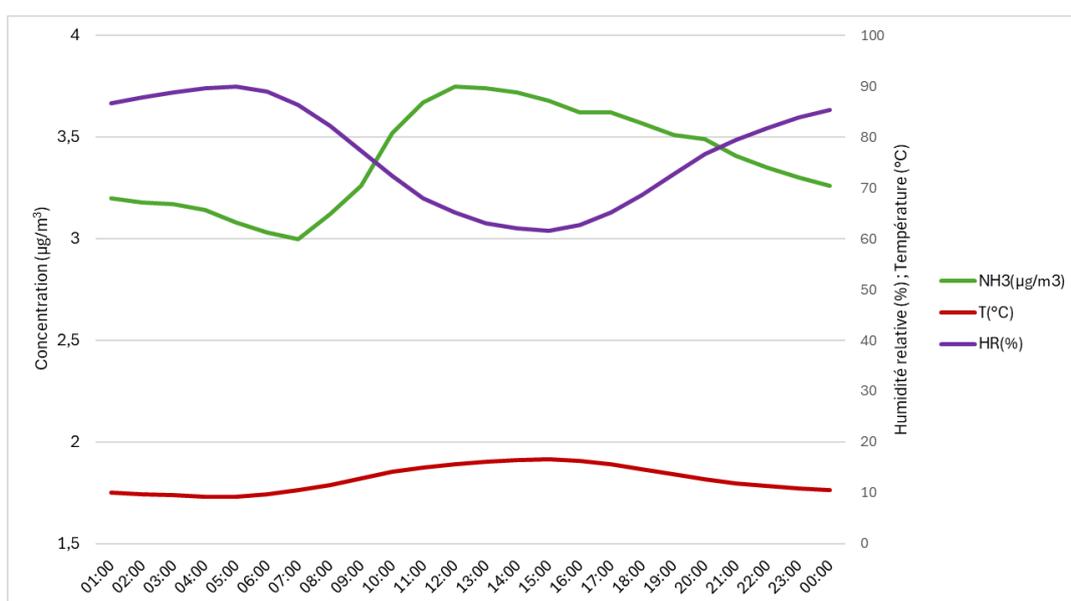


Figure 11 : Comparaison des profils moyens journaliers de l'ammoniac mesuré à Oysonville et des profils moyens journaliers de l'humidité relative et de la température mesurées à Chartres en 2023

c) Comparaison avec les niveaux nationaux

Il est intéressant de comparer les niveaux d'ammoniac mesurés à Oysonville à ceux mesurés dans d'autres régions de France. La figure 12 regroupe les stations de mesures d'ammoniac utilisées pour cette comparaison.

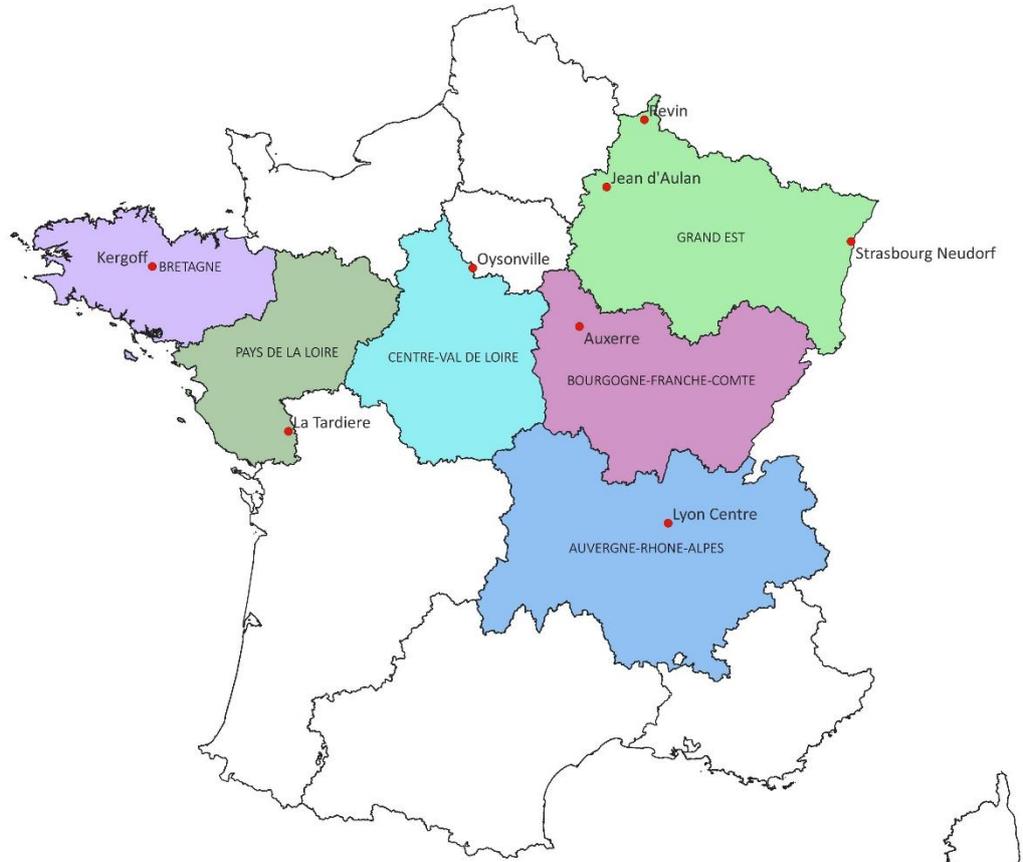


Figure 12 : Localisation des stations de mesure NH₃ en France (Source : Géod'Air)

Les concentrations moyennes de NH₃ mesurées en 2023 avec un Picarro G2103 aux stations de différentes AASQA (Atmo Grand Est, Air Breizh, Air Pays de la Loire, Atmo Bourgogne-Franche-Comté, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes et Lig'Air) sont regroupées sur la figure 13. Les stations urbaines sont représentées en bleu sur le graphe et les stations rurales en vert. Les moyennes annuelles en France en 2023 varient entre 1,8 et 4,1 µg/m³. Les niveaux d'ammoniac mesurés à Oysonville sont donc comparables aux niveaux mesurés dans d'autres régions de France.

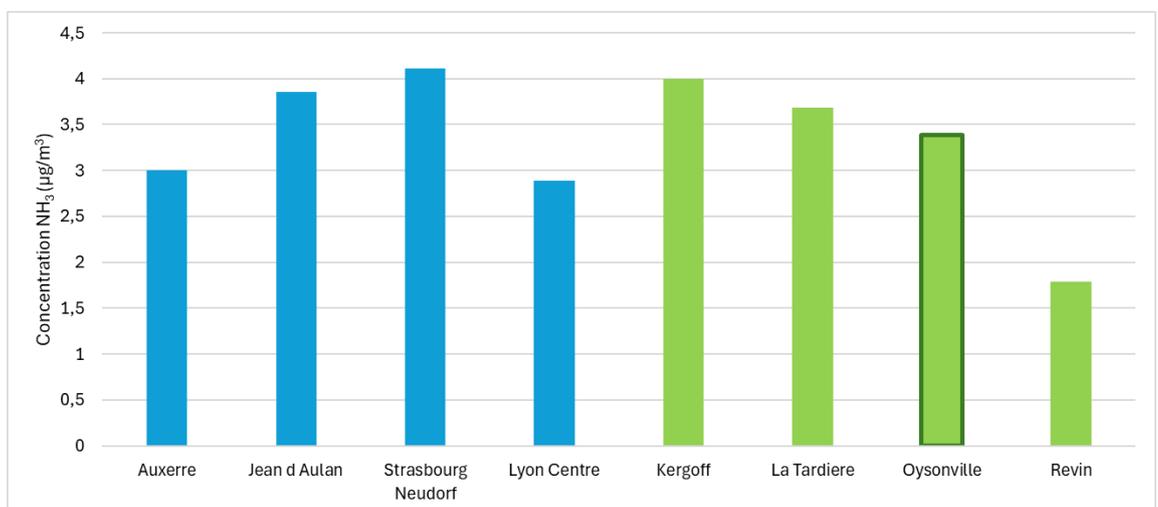


Figure 13 : Concentrations moyennes d'ammoniac mesurées par Picarro G2103 en 2023 par différentes AASQA avec en bleu les stations urbaines et en vert les stations rurales (Source : Géodair)

B. Analyse par tubes passifs

a) Evolutions temporelles

Les évolutions des concentrations d'ammoniac mesurées par tubes passifs à Saint-Cyr-en-Val, Bazoches et Verneuil pendant l'année 2023 sont regroupées sur la figure 14 ci-dessous. Les concentrations mesurées à Oysonville avec l'analyseur automatique sont également représentées sur cette figure et ont été moyennées sur les périodes de prélèvement des tubes passifs dans un but de comparaison.

Des tendances similaires sont observées aux stations Bazoches et Oysonville avec notamment un pic significatif en mars, atteignant $13,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Oysonville. Les activités agricoles à proximité de ces deux sites semblent ainsi avoir eu un impact sur les niveaux d'ammoniac mesurés au printemps pendant la période des épandages.

Les stations Verneuil et Saint-Cyr-en-Val présentent des évolutions similaires avec des niveaux qui fluctuent autour de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tout au long de l'année. Ces stations ne semblent donc pas avoir été impacté directement par des activités émettrices d'ammoniac.

Pour les 4 stations, les niveaux les plus faibles sont rencontrés en hiver, période durant laquelle les conditions météorologiques ainsi que les activités émettrices d'ammoniac sont les plus faibles.

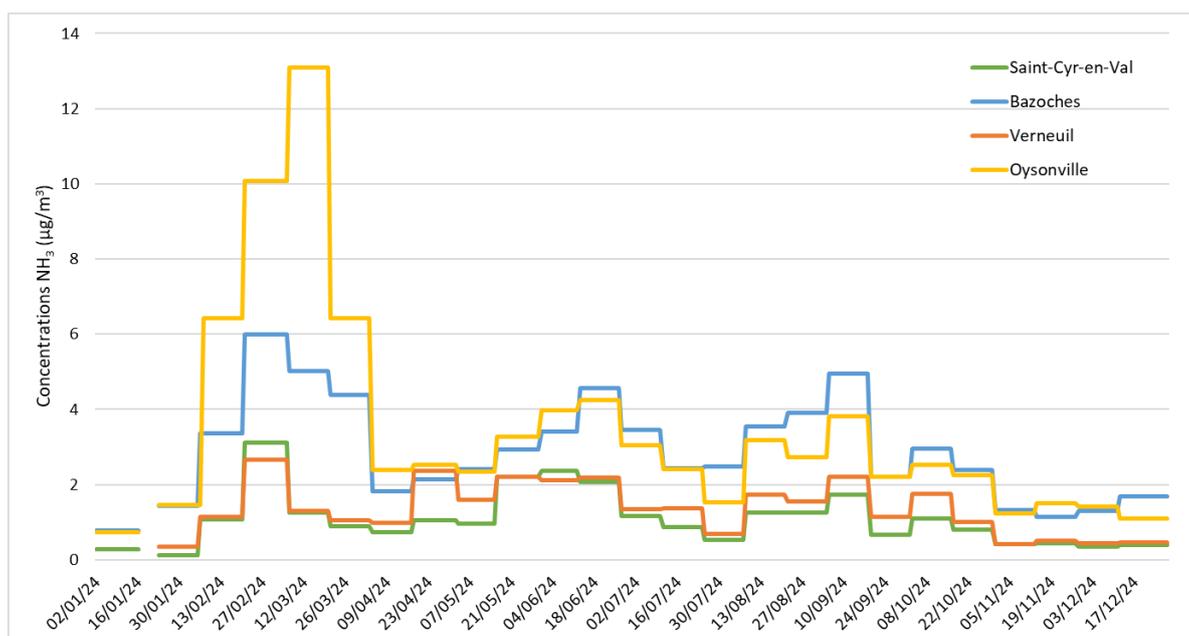


Figure 14 : Evolutions des concentrations de NH_3 moyennées sur les périodes de prélèvements à Saint-Cyr-en-Val, Bazoches, Verneuil et Oysonville en 2023

Les statistiques des mesures sont regroupées dans le tableau 4. Les moyennes annuelles des stations varient entre $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Cyr-en-Val et $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Oysonville. Les sites Oysonville et Bazoches, situés au nord-est de la région dans des zones agricoles de grandes cultures, présentent des niveaux d'ammoniac environ 2 fois plus élevés qu'à Verneuil et Saint-Cyr-en-Val. A Verneuil, site situé dans une zone de polyculture et polyélevage (cf. figure 8), les niveaux d'ammoniac sont comparables à ceux mesurés en site urbain, à Saint-Cyr-en-Val.

Tableau 4 : Statistiques sur les concentrations de NH₃ mesurées à Saint-Cyr-en-Val, Bazoches et Oysonville pendant la campagne tubes passifs

	Saint-Cyr-en-Val	Bazoches	Verneuil	Oysonville
Moyenne NH ₃ (µg/m ³)	1,1	2,9	1,4	3,4
Max NH ₃ (µg/m ³)	3,1	6,0	2,7	13,1
Dates du max	20 février au 06 mars	20 février au 06 mars	21 février au 07 mars	06 au 20 mars

b) Corrélation avec les particules en suspension : PM₁₀

L'ammoniac étant un précurseur des particules fines dans l'air ambiant, il est intéressant de comparer l'évolution des concentrations d'ammoniac à celle des concentrations des PM₁₀ (cf. partie II.C).

Les stations de mesures de l'ammoniac, Oysonville, Bazoches et Saint-Cyr-en-Val ne sont pas équipés d'analyseur mesurant les PM. Pour réaliser cette comparaison, les stations PM les plus proches des stations NH₃ sont choisies. Il s'agit de la station La Source CNRS pour les mesures de NH₃ à Saint-Cyr-en-Val et Bazoches et de la station Fulbert pour les mesures à Oysonville. La station Verneuil est équipée d'un analyseur PM_{2.5}.

Les évolutions des concentrations d'ammoniac et des particules en suspension (PM₁₀, PM_{2.5}) aux différentes stations en 2023 sont regroupées sur les figures 15, 16, 17 et 18. A la station Verneuil, la moyenne maximale en NH₃, mesurée lors du prélèvement du 20 février au 6 mars, coïncide avec la moyenne maximale en PM_{2.5} compte tenu de l'absence de mesures de PM₁₀. Cette période coïncide également avec la survenu d'un épisode de pollution aux particules qui a touché la région Centre-Val-de-Loire lors des journées du 2 et 3 mars, et avait notamment entraîné le dépassement du seuil d'information et de recommandation des PM₁₀ le 3 mars dans le département du Cher (département dans lequel se trouve la station Verneuil). Cependant, les concentrations d'ammoniac mesurés à Verneuil pendant cette période restent faibles (< 3 µg/m³). Aux trois autres stations les concentrations maximales en NH₃ sont observés quelques semaines après les concentrations maximales en PM₁₀. Ainsi en 2023, les hausses des niveaux d'ammoniac au printemps, plus au moins significatives selon les stations, n'ont pas engendré d'épisode de pollution aux particules au printemps.

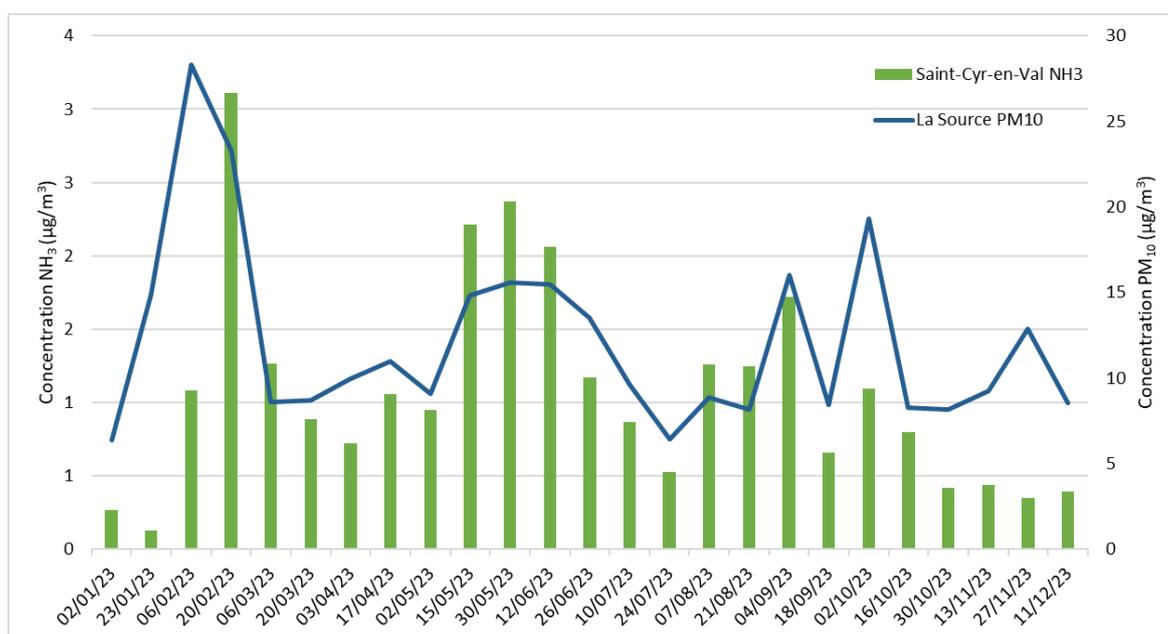


Figure 15 : Evolutions des concentrations de NH₃ et PM₁₀ à Saint-Cyr-en-Val en 2023

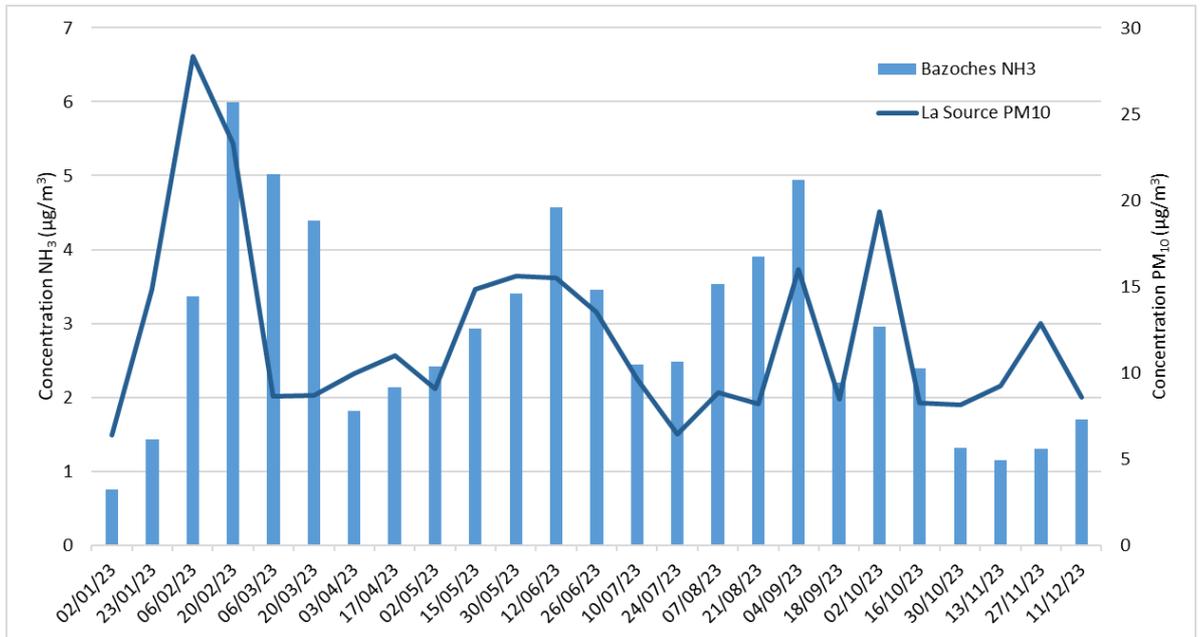


Figure 16 : Evolutions des concentrations de NH₃ et PM₁₀ à Bazoches en 2023

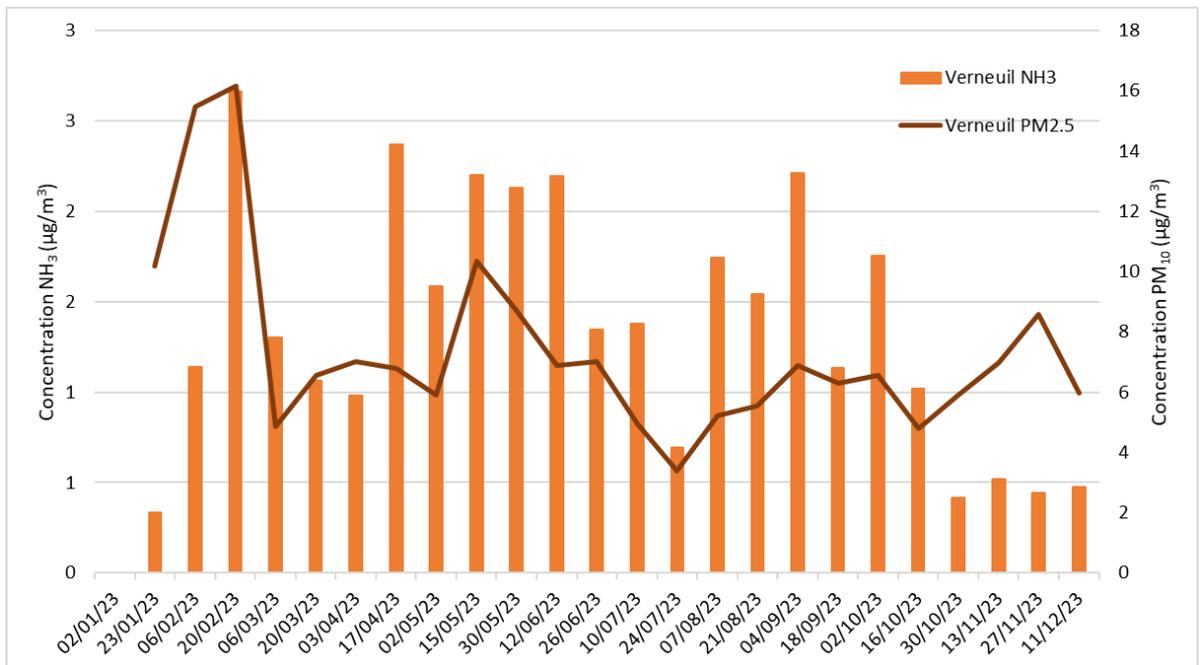


Figure 17 : Evolutions des concentrations de NH₃ et PM_{2.5} à Verneuil en 2023

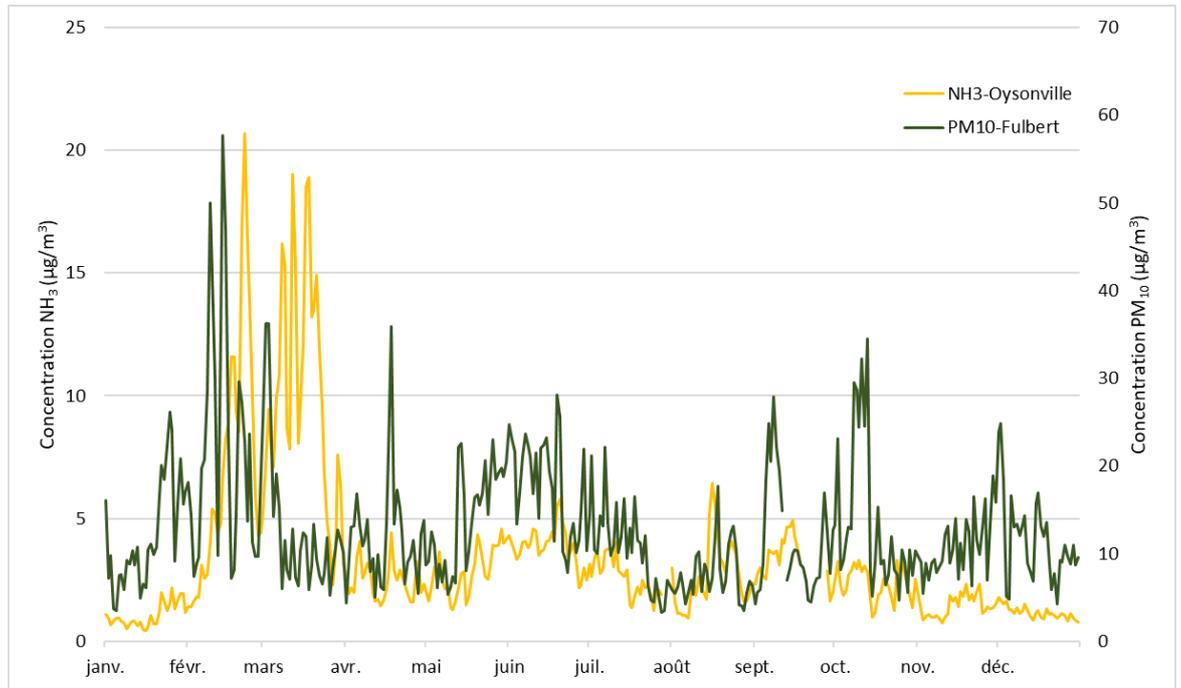


Figure 18 : Evolutions des concentrations moyennes journalières de NH₃ et PM₁₀ à Oysonville en 2023

c) Comparaison à l'historique

La figure 19 permet de comparer les concentrations moyennes en ammoniac mesurées depuis 2021 à Bazoches et Saint-Cyr-en-Val et depuis 2022 à Oysonville. Les niveaux d'ammoniac sont globalement comparables d'une année à l'autre. On constate tout de même que les concentrations d'ammoniac ont légèrement augmenté à Bazoches et Oysonville en 2023 alors qu'elles ont diminué à Saint-Cyr-en-Val. Ces évolutions annuelles peuvent être expliquées par des conditions météorologiques (température, humidité, vents) plus ou moins favorables à la volatilisation de l'ammoniac d'une année à l'autre et/ou par des changements dans les périodes de réalisation des activités agricoles et éventuellement dans le changement de pratiques.

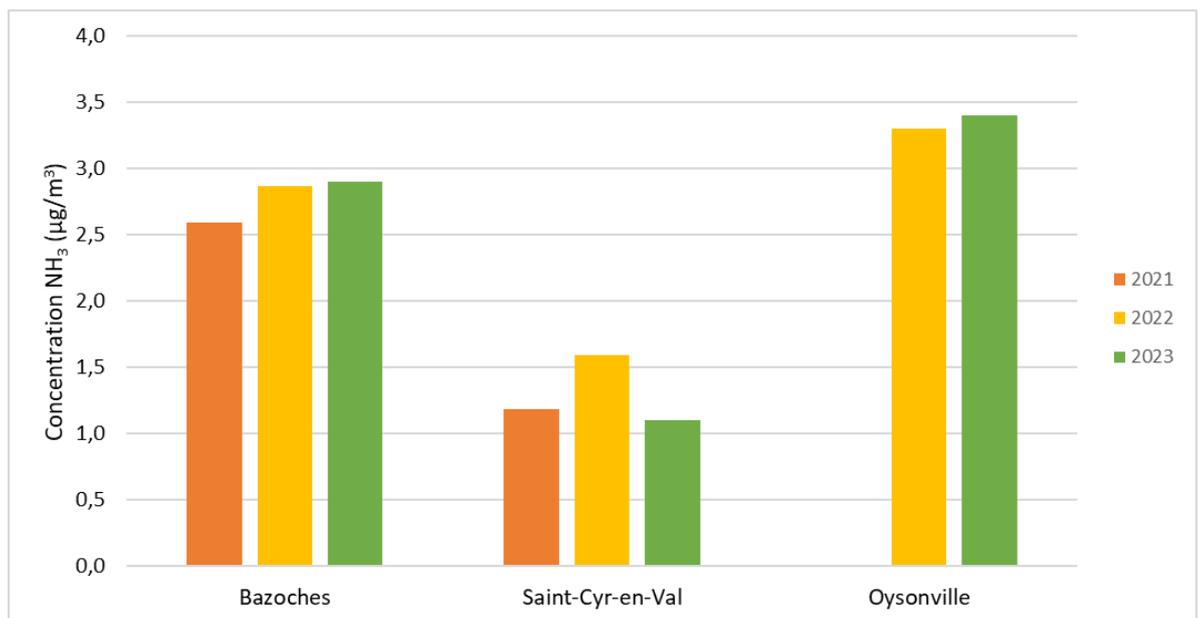


Figure 19 : Comparaison des moyennes annuelles d'ammoniac mesurées aux stations Saint-Cyr-en-Val, Bazoches et Oysonville

Les statistiques des données d'ammoniac mesurées depuis 2021 en région Centre-Val-de-Loire sont regroupées dans le tableau 5. Chaque année, les concentrations maximales sont mesurées entre fin février et mi-mars.

Tableau 5 : Statistiques sur les concentrations d'ammoniac mesurées par tubes passifs en 2021 et 2022

Station	Année	Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Date du max
Saint-Cyr-en-Val	2021	1,1	3,7	22 février au 8 mars
	2022	1,6	4,7	14 au 28 mars
	2023	1,1	3,1	20 février au 6 mars
Bazoches	2021	2,6	8,9	8 au 22 mars
	2022	3,0	8,3	14 au 28 mars
	2023	2,9	6,0	20 février au 6 mars
Oysonville	2022	3,3	7,1	14 au 28 mars
	2023	3,4	13,1	6 au 20 mars

V. Conclusion

Cette étude avait pour objectif de dresser un état des lieux sur les niveaux et le comportement de l'ammoniac dans la région Centre-Val de Loire.

Les concentrations moyennes d'ammoniac mesurées à Oysonville, Bazoches, Verneuil et Saint-Cyr-en-Val en 2023 sont respectivement de 3,4 ; 2,9 ; 1,4 et 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations moyennes mesurées dans la région sont cohérentes avec les niveaux d'ammoniac rapportés dans la littérature et dans les études d'autres AASQA. De plus, les niveaux d'ammoniac dans la région restent largement inférieurs aux valeurs toxicologiques de références chroniques et subchronique (500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La variabilité des concentrations moyennes dans différents sites peut s'expliquer par la situation géographique de ces derniers par rapport aux principales sources d'émission. En effet, les niveaux moyens d'ammoniac les plus bas ont été mesurés à la station urbaine Saint-Cyr-en-Val et les plus hauts aux stations rurales Oysonville et Bazoches. Les activités agricoles liées aux grandes cultures ont donc bien un impact sur les concentrations d'ammoniac dans la région. Cependant, à Verneuil les activités liés à l'élevage ne semblent pas avoir eu un impact significatif sur les niveaux d'ammoniac.

Une hausse des niveaux d'ammoniac au printemps, liée aux émissions des activités agricoles à cette période (épandages) est constatée sur les deux sites ruraux situés en zone de grandes cultures, Bazoches et Oysonville. Cependant, les pics d'ammoniac observés pendant cette période n'ont pas engendré d'épisode de pollution aux particules printaniers.

L'évolution pluriannuelle des concentrations d'ammoniac mesurées en région Centre-Val-de-Loire depuis 2021 montre des niveaux comparables d'une année à l'autre.

Le suivi de l'ammoniac va continuer en 2024 en région Centre-Val de Loire avec notamment la mise en place d'un suivi continu de l'ammoniac à Verneuil à l'aide d'un analyseur automatique. Les sites de prélèvement passif vont également évoluer en 2024, avec des mesures de NH_3 qui seront réalisées en site urbain trafic à Orléans et périurbain de fond à Tours afin d'évaluer une exposition éventuelle. En outre, l'amélioration des connaissances sur la présence et le comportement de ce polluant va continuer d'être investigué en collaboration avec des laboratoires de recherche dans le cadre du projet JUNON. Dans le cadre de ce projet, l'ammoniac est étudié de façon transversale en intégrant les différents compartiments environnementaux : air, sol, eau.

VI. Bibliographie

- ADEME. 2011. « Synthèse bibliographique sur la contribution de l'agriculture à l'émission de particules vers l'atmosphère : identification de facteurs d'émission ». https://expertises.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/Etude_Particules_Agriculture_2011.pdf.
- ADEME. « Les émissions d'ammoniac (NH₃) – Ademe ». *Agence de la transition écologique*. <https://expertises.ademe.fr/professionnels/entreprises/reduire-impacts/reduire-emissions-polluants/emissions-dammoniac-nh3> (27 mars 2023).
- AirBreizh. 2011. « Mesure de l'ammoniac à Lamballe ». https://www.airbreizh.asso.fr/voy_content/uploads/2018/04/rr_nh3_lamballe_2010_v1.pdf.
- ANSES. 2018. « Elaboration de VTR aigue, subchronique et chronique par voie respiratoire pour l'ammoniac ». <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2016SA0118Ra.pdf>.
- ANSES. 2021. « Valeurs guides de qualité d'air intérieur : L'ammoniac ». <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2020SA0122Ra.pdf>.
- Atmo AURA. 2016. « Mesures de l'ammoniac dans l'atmosphère ». https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/aura/files/content/migrated/atoms/files/mesures_de_la_mmoniac_dans_latmosphere.pdf.
- Atmo Occitanie. 2023. « Bilan 2022 des mesures d'ammoniac dans l'air ambiant dans l'environnement d'ORANO CE Malvési ». https://www.atmo-occitanie.org/sites/default/files/publications/2023-04/Rapport%20Etude_ORANO%20MALVESI_%20Rapport%20ETU-2022-249_Bilan%202022%20des%20mesures%20d%27ammoniac%20dans%20l%27environnement%20d%27Orano%20CE%20Malv%C3%A9si%20rapport%20annuel%2022.pdf.
- Atmo Sud. 2018. « Campagne de mesures de l'ammoniac dans la zone de Marseille Saint-Menet ». https://www.atmosud.org/sites/sud/files/content/migrated/atoms/files/2018-12-21_rapport_final_nh3_arkema_vf.pdf.
- Cape, John Neil, Ludger van der Eerden, Andreas Fangmeier, John Ayres, Simon Bareham, Roland Bobbink, Christina Branquinho, et al. 2009. « Critical Levels for Ammonia ». In *Atmospheric Ammonia: Detecting Emission Changes and Environmental Impacts*, éd. Mark A. Sutton, Stefan Reis, et Samantha M.H. Baker. Dordrecht: Springer Netherlands, 375-82. doi:10.1007/978-1-4020-9121-6_22.
- Chatain, Mélodie, Eve Chretien, Sabine Crunaire, et Emmanuel Jantzem. 2022. « Road Traffic and Its Influence on Urban Ammonia Concentrations (France) ». *Atmosphere* 13(7): 1032. doi:10.3390/atmos13071032.
- CITEPA. 2020. « Ammoniac ». *Citepa*. <https://www.citepa.org/fr/2020-nh3/> (27 mars 2023).
- Décret n° 2022-1654. 2022. 2022-1654 *Décret n° 2022-1654 du 26 décembre 2022 définissant les trajectoires annuelles de réduction des émissions de protoxyde d'azote et d'ammoniac du secteur agricole jusqu'en 2030*.

- INERIS. 2012. « Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Ammoniac ».
- INERIS. 2015. « Episodes de pollution particule en France : quels enseignements tirer des récents épisodes ? ».
- INRS. 2021. « Fiche toxicologique synthétique n°16 - Ammoniac et solutions aqueuses ».
- LCSQA. 2021. « Guide méthodologique pour la mesure des concentrations en ammoniac dans l'air ambiant ».
https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/LCSQA2019-Guide%20m%C3%A9thodologique%20ammoniac_vf_pour%20r%C3%A9f%C3%A9rentiel.pdf.
- ODACE. « Polluants à Effet Sanitaire ». <https://odace.ligair.fr/polluants-effet-sanitaire> (24 mars 2023).
- Picarro. « G2103/G2308/G2508/G2509 Analyzer user manual ».
- PREPA. « Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques 2022-2025 ». https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/23028_PREPA_BATweb.pdf (12 juin 2023).
- Santé Publique France. 2021. « Pollution de l'air ambiant : nouvelles estimations de son impact sur la santé des Français ».
<https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2021/pollution-de-l-air-ambiant-nouvelles-estimations-de-son-impact-sur-la-sante-des-francais> (10 mai 2023).

VII. Annexes

A. Localisation des sites de prélèvement NH_3



Figure 20 : Localisation des sites de prélèvement NH_3 (Source : Google Maps)

B. Photo d'une cartouche Radiello 168



Figure 21 : Photo d'une cartouche Radiello 168 à Saint-Cyr-en-Val (situé sur le parking de Lig'Air)

C. Date des prélèvements par tubes passifs

Tableau 6 : Date de pose et dépose des tubes passifs

ID	Date de pose	Date de dépose
NH3 2-23	02/01/2023	16/01/2023
NH3 4-23	23/01/2023	06/02/2023
NH3 6-23	06/02/2023	20/02/2023
NH3 8-23	20/02/2023	06/03/2023
NH3 10-23	06/03/2023	20/03/2023
NH3 12-23	20/03/2023	03/04/2023
NH3 14-23	03/04/2023	17/04/2023
NH3 16-23	17/04/2023	02/05/2023
NH3 18-23	02/05/2023	15/05/2023
NH3 20-23	15/05/2023	30/05/2023
NH3 22-23	30/05/2023	12/06/2023
NH3 24-23	12/06/2023	26/06/2023
NH3 26-23	26/06/2023	10/07/2023
NH3 28-23	10/07/2023	24/07/2023
NH3 30-23	24/07/2023	07/08/2023
NH3 32-23	07/08/2023	21/08/2023
NH3 34-23	21/08/2023	04/09/2023
NH3 36-23	04/09/2023	18/09/2023
NH3 38-23	18/09/2023	02/10/2023
NH3 40-23	02/10/2023	16/10/2023
NH3 42-23	16/10/2023	30/10/2023
NH3 44-23	30/10/2023	13/11/2023
NH3 46-23	13/11/2023	27/11/2023
NH3 48-23	27/11/2023	11/12/2023
NH3 50-23	11/12/2023	28/12/2023

D. Cartographie des émissions d'ammoniac

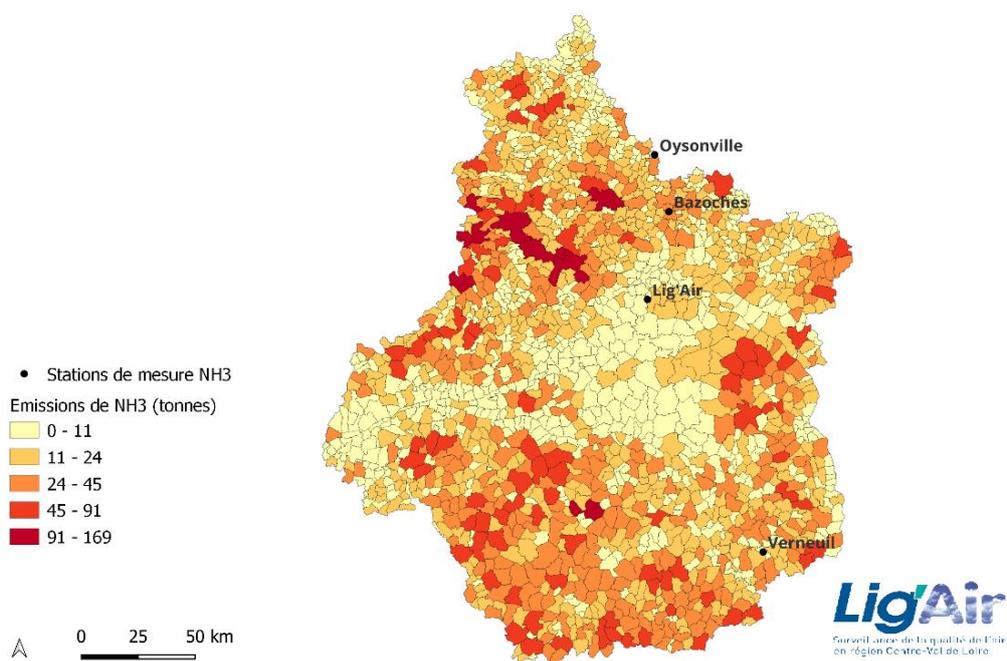


Figure 22 : Cartographie des émissions d'ammoniac (en tonnes) du secteur agricole en 2020 dans la région Centre-Val de Loire

E. Répartition des activités agricoles émettrices d'ammoniac

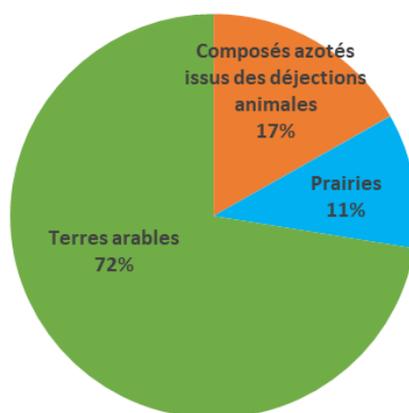


Figure 23 : Répartition des activités agricoles émettrices d'ammoniac en région Centre-Val de Loire en 2018 (Source : TRACE)