



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

Année 2022

Région Centre-Val de Loire

Juin 2023

Lig'Air

Surveillance de la qualité de l'air
en région Centre-Val de Loire

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	13
A. Analyse en continu	13
a) Evolutions temporelles	13
b) Comparaison avec les autres AASQA	15
c) Profils moyens	16
B. Analyse par tubes passifs	17
a) Evolutions temporelles	17
b) Corrélation avec les PM ₁₀	19
c) Comparaison avec 2021	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	25
C. Date des prélèvements par tubes passifs	26
D. Cartographie des émissions d'ammoniac	27
E. Répartition des activités agricoles émettrices d'ammoniac	27
F. Concentrations d'ammoniac mesurées en 2021	28

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution temporelle des émissions de NH ₃ en tonnes entre 2008 et 2018 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 : Concentrations moyennes journalières de NH ₃ à la station Oysonville pendant l'année 2022	14
Figure 9 : Concentrations moyennes mensuelles en NH ₃ à la station Oysonville pendant l'année 2022 (TF : Taux de Fonctionnement)	15
Figure 10 : Localisation des stations de mesure NH ₃ en France (Source : Géod'Air)	15
Figure 11 : Concentrations moyennes d'ammoniac mesurées par Picarro G2103 en 2022 par différentes AASQA avec en bleu les stations urbaines et en vert les stations rurales (Source : Géodair)	16
Figure 12 : Comparaison des profils moyens journaliers de l'ammoniac et des profils moyens journaliers de l'humidité relative et de la température mesurées à Chartres en 2022	17
Figure 13 : Evolutions des concentrations de NH ₃ moyennées sur les périodes de prélèvements à Saint-Cyr-en-Val, Bazoches et Oysonville en 2022	18
Figure 14 : Evolutions des concentrations de NH ₃ et PM ₁₀ à Saint-Cyr-en-Val	19
Figure 15 : Evolutions des concentrations de NH ₃ et PM ₁₀ à Bazoches	20
Figure 16 : Evolutions des concentrations de NH ₃ et PM ₁₀ à Oysonville	20
Figure 17 : Comparaison des moyennes annuelles d'ammoniac mesurées par tubes passifs en 2021 et en 2022 aux stations Saint-Cyr-en-Val et Bazoches	21
Figure 18 : Localisation des sites de prélèvement NH ₃ (Source : Google Maps)	25
Figure 19 : Photo d'une cartouche Radiello 168 à Saint-Cyr-en-Val (situé sur le parking de Lig'Air).26	
Figure 20 : Cartographie des émissions d'ammoniac (en tonnes) du secteur agricole en 2020 dans la région Centre-Val de Loire.....	27
Figure 21 : Répartition des activités agricoles émettrices d'ammoniac en région Centre-Val de Loire en 2018 (Source : TRACE).....	27
Figure 22 : Concentrations d'ammoniac mesurées à Saint-Cyr-en-Val et Bazoches en 2021	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 2022 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	26

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 animaux. Au printemps, il participe ainsi aux épisodes de pollution aux particules fines et aux dépassements des valeurs réglementaires. En 2018, en région Centre-Val de Loire, les émissions de NH_3 dans l'air ambiant sont de 35 233 tonnes/an. Le secteur agricole est responsable à 99% 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 premier état des lieux des concentrations d'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. En 2022, un analyseur automatique permettant de mesurer des concentrations d'ammoniac en continu est venu compléter le dispositif de surveillance de l'ammoniac. Ce rapport présente les premiers résultats des analyses en continu et des prélèvements passifs d'ammoniac réalisés pendant l'année 2022.

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 35 233 tonnes en 2018 (figure 1).

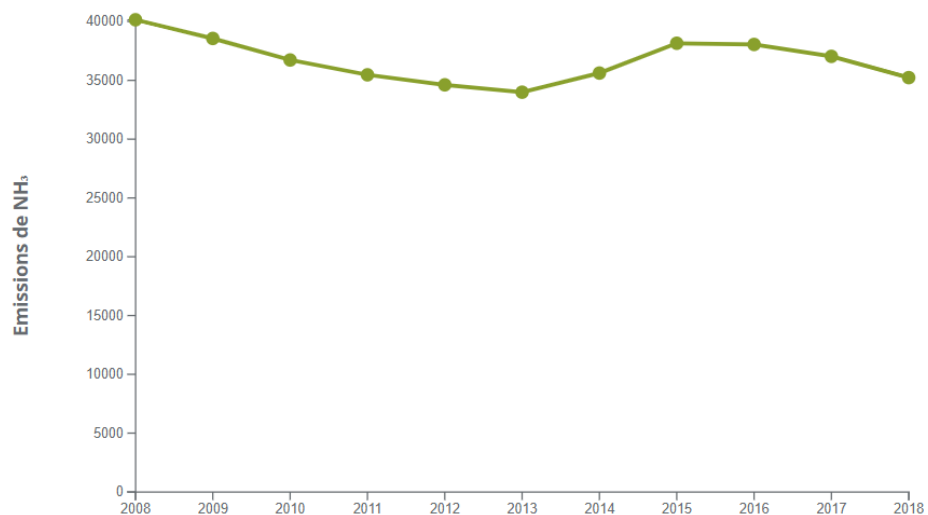


Figure 1 : Evolution temporelle des émissions de NH₃ en tonnes entre 2008 et 2018 en région Centre-Val de Loire (Source : Lig'Air - ODACE)

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).

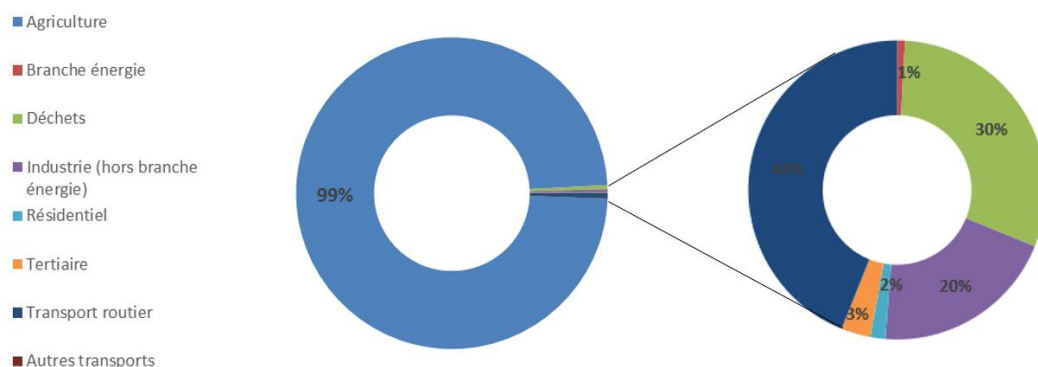


Figure 2 : Emissions de NH₃ en fonction du secteur d'activité en région Centre-Val de Loire (Source : Lig'Air - ODACE)

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.

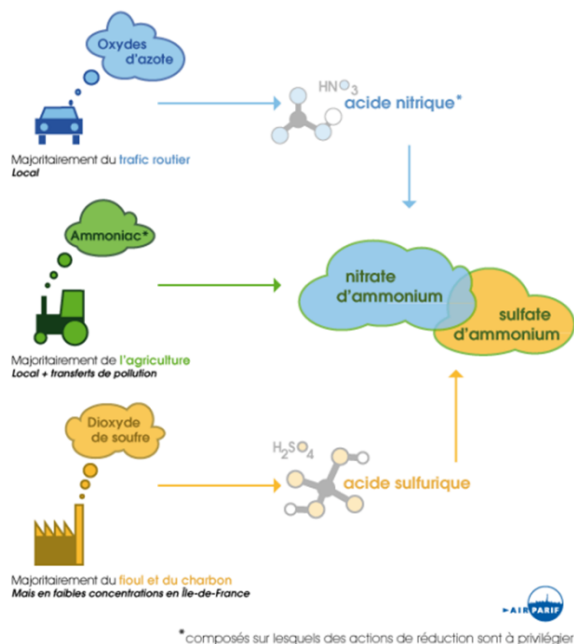


Figure 3 : Schéma de formation d'aérosols atmosphériques à partir des différentes sources d'ammoniac (Source : AirParif)

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 17 juillet 2019 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (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	Quelques mois	Atmo Sud 2018
	2,6 à 44,6	2022	Atmo Occitanie 2023
Vaste zone de culture	8	Avril à octobre 2015	Atmo AURA 2016
Plage envahie d'algues vertes	1,6	Eté 2005	AirBreizh 2011
	4,4	Eté 2006	
	9,5	2 mois	
Zone d'élevage intensifs	37 – 77	2003	AirBreizh 2011
Milieu urbain	2,7 – 9,7	2002	AirBreizh 2011
	1,7	3 semaines	

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).

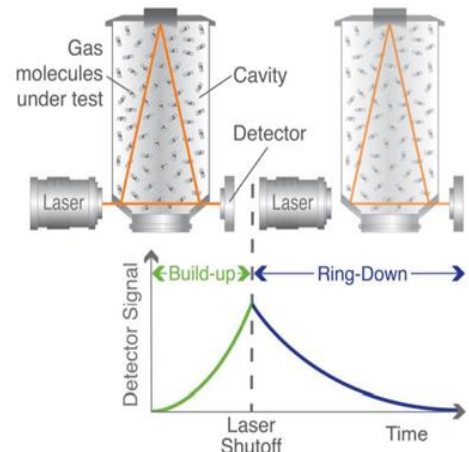


Figure 4 : Principe de fonctionnement du Picarro G2103



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.

Figure 5 : Picarro G2103

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).

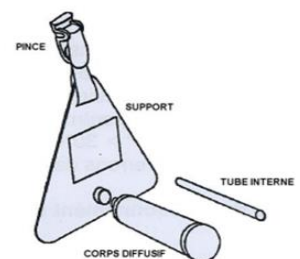


Figure 6 : Schéma tubes passifs

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 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

L'ammoniac est mesuré sur trois sites en région Centre-Val de Loire, comme matérialisés en rouge sur la figure 7. Oysonville et Bazoches sont des sites ruraux, tandis que le site Saint-Cyr-en-Val (situé sur le parking 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 et Bazoches, l'ammoniac est mesuré par prélèvement passif à l'aide de cartouches Radiello 168. En 2022, 25 prélèvements consécutifs, tous d'une durée de 14 jours, ont été effectués sur ces deux sites à partir du 17 janvier 2022 jusqu'au 02 janvier 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 PM₁₀ Fulbert et La Source CNRS (sites fixes de surveillance de Lig'Air les plus proches des sites de mesures de NH₃) ont également été utilisées dans cette étude afin de comparer les évolutions des niveaux d'ammoniac à celles des PM₁₀. La carte ci-dessous permet de localiser les sites de mesure de l'ammoniac, celles des PM₁₀ ainsi que les stations météorologiques de Météo-France utilisées dans le cadre de cette étude.



Figure 7 : Localisation des stations de mesures NH₃, PM₁₀ et des stations météorologiques de Météo-France

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 17/01/2022 au 02/01/2023
Saint-Cyr-en-Val	Urbaine	Tubes passifs Radiello	Mesures toutes les 2 semaines du 17/01/2022 au 02/01/2023

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

IV. Résultats

A. Analyse en continu

Le taux de fonctionnement de l'analyseur Picarro sur l'année 2022 est de 96 %.

Malgré ce taux de fonctionnement élevé, il est important d'indiquer pour l'exploitation des données que l'analyseur a dû être envoyé au laboratoire LNE pour étalonnage entre le 22 mars et le 04 avril 2022. Par conséquent, le mois de mars et le début du mois d'avril présentent des données incomplètes. Le mois de mars présente ainsi un taux de fonctionnement inférieur à 75 %. La concentration moyenne d'ammoniac du mois de mars n'est donc pas représentative d'un mois de mars complet.

a) Evolutions temporelles

L'évolution des concentrations moyennes journalières d'ammoniac mesurées à Oysonville pendant l'année 2022 est représentée sur la figure 8 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 6 µg/m³ entre février et avril 2022.

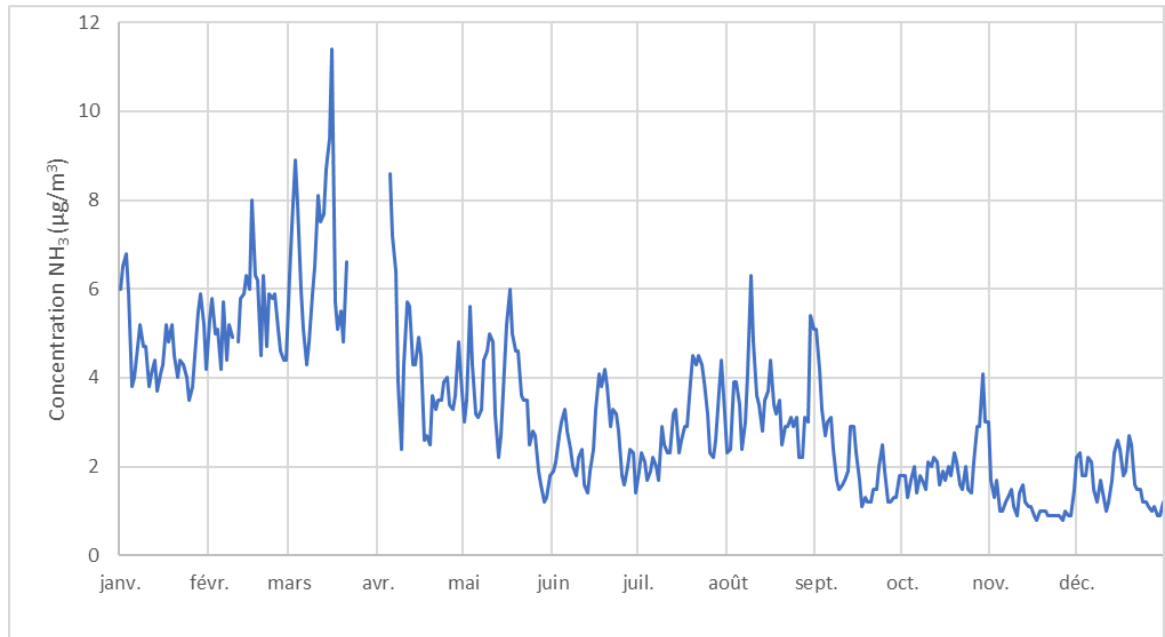


Figure 8 : Concentrations moyennes journalières de NH₃ à la station Oysonville pendant l'année 2022

Le tableau 3 regroupe des statistiques sur les données d'ammoniac mesurées en 2022 à Oysonville. La concentration moyenne annuelle d'ammoniac en 2022 est de 3,3 µg/m³. Les maximums journaliers et horaires atteignent respectivement 11,4 et 15,8 µg/m³ le 16 mars 2022.

Tableau 3 : Statistiques des données de NH₃ mesuré avec le Picarro en 2022 à Oysonville

	Concentration NH ₃ (µg/m ³)	Date
Moyenne	3,3	2022
Maximum horaire	15,8	16/03/2022 à 16h
Maximum journalier	11,4	16/03/2022

La saisonnalité des niveaux d'ammoniac à Oysonville est confirmée par la figure 9 qui présente les concentrations moyennes mensuelles de NH₃ en 2022. Les mois de février et mars sont effectivement les mois pendant lesquels les niveaux d'ammoniac étaient les plus importants. En mars, la concentration moyenne d'ammoniac est de 6,8 µg/m³. Cette moyenne est toutefois à relativiser car elle n'est pas représentative d'un mois de mars complet (analyseur en étalonnage du 22 mars au 4 avril). 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. A l'inverse, les niveaux d'ammoniac les plus faibles sont mesurés entre les mois d'octobre et décembre, période durant laquelle les activités agricoles sont les moins importantes.

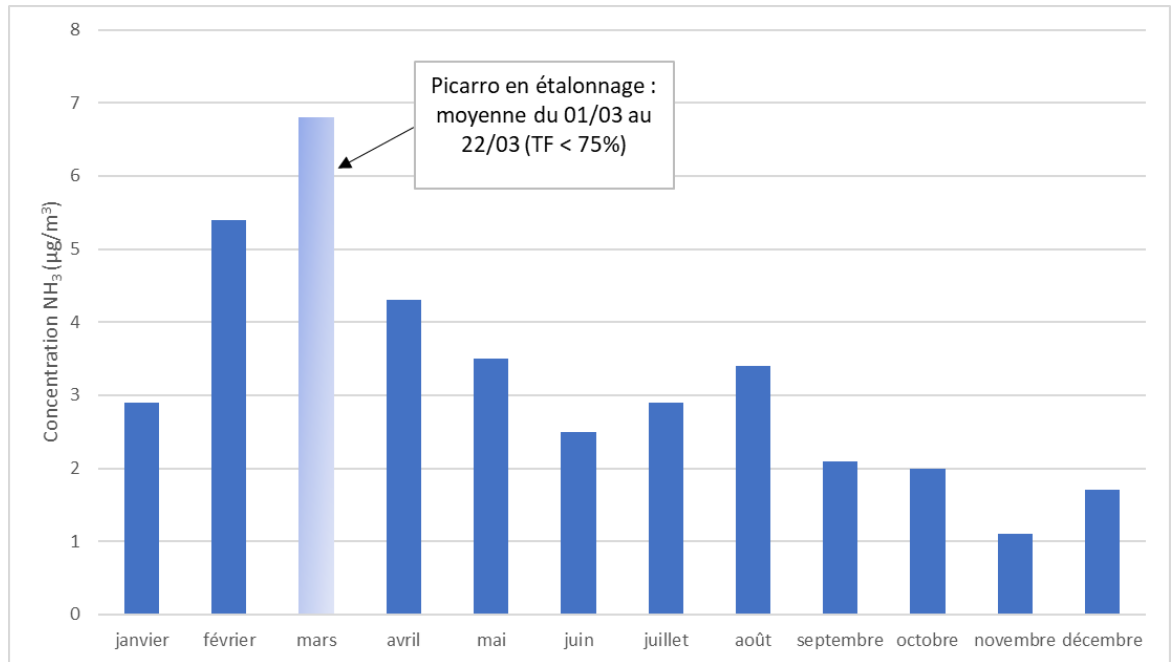


Figure 9 : Concentrations moyennes mensuelles en NH₃ à la station Oysonville pendant l'année 2022 (TF : Taux de Fonctionnement)

b) Comparaison avec les autres AASQA

Il est intéressant de comparer les niveaux d'ammoniac mesurés à Oysonville à ceux mesurés dans d'autres régions de France. La figure 10 regroupe les stations de mesures d'ammoniac utilisée pour cette comparaison.

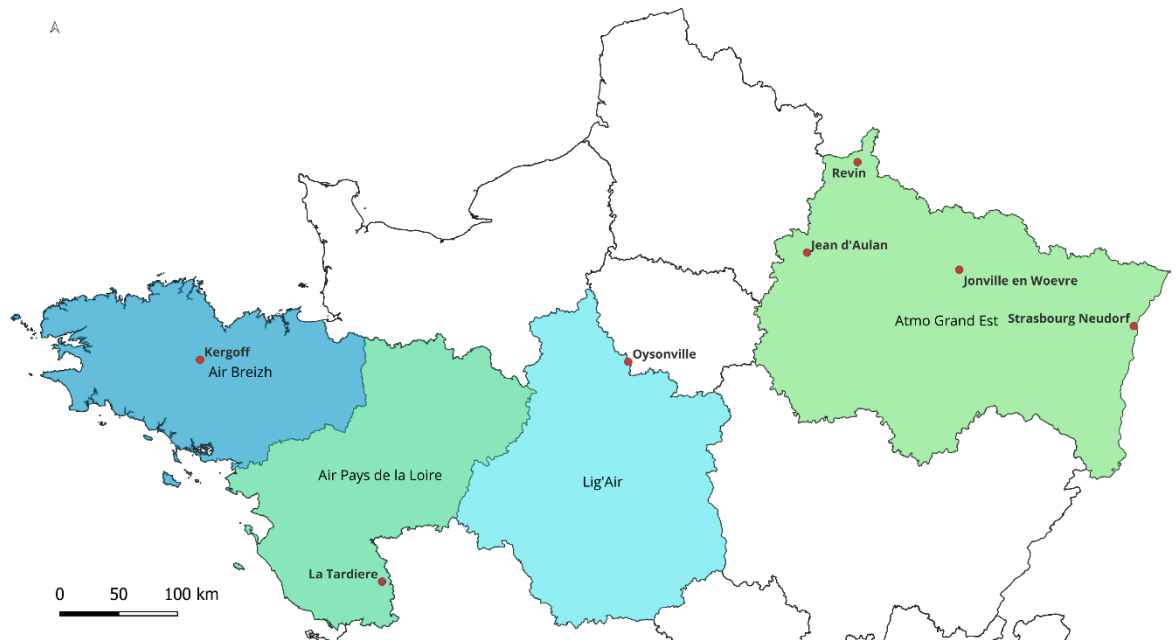


Figure 10 : Localisation des stations de mesure NH₃ en France (Source : Géod'Air)

Les concentrations moyennes de NH₃ mesurées en 2022 avec un Picarro G2103 aux stations de différentes AASQA (Atmo Grand Est, Air Breizh, Air Pays de la Loire et Lig'Air) sont regroupées sur la figure 11. Tout comme Oysonville, les stations Jonville en Woevre, Revin, Kergoff et La Tardiere

sont de typologie rurale (en vert sur le graphe) alors que Jean d'Aulan et Strasbourg Neudorf sont des stations urbaines (en bleu sur le graphe).

Les concentrations moyennes d'ammoniac mesurées en France en 2022 varient entre 2 et 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les niveaux d'ammoniac mesurés à Oysonville sont donc comparables aux niveaux mesurés dans d'autres régions de France.

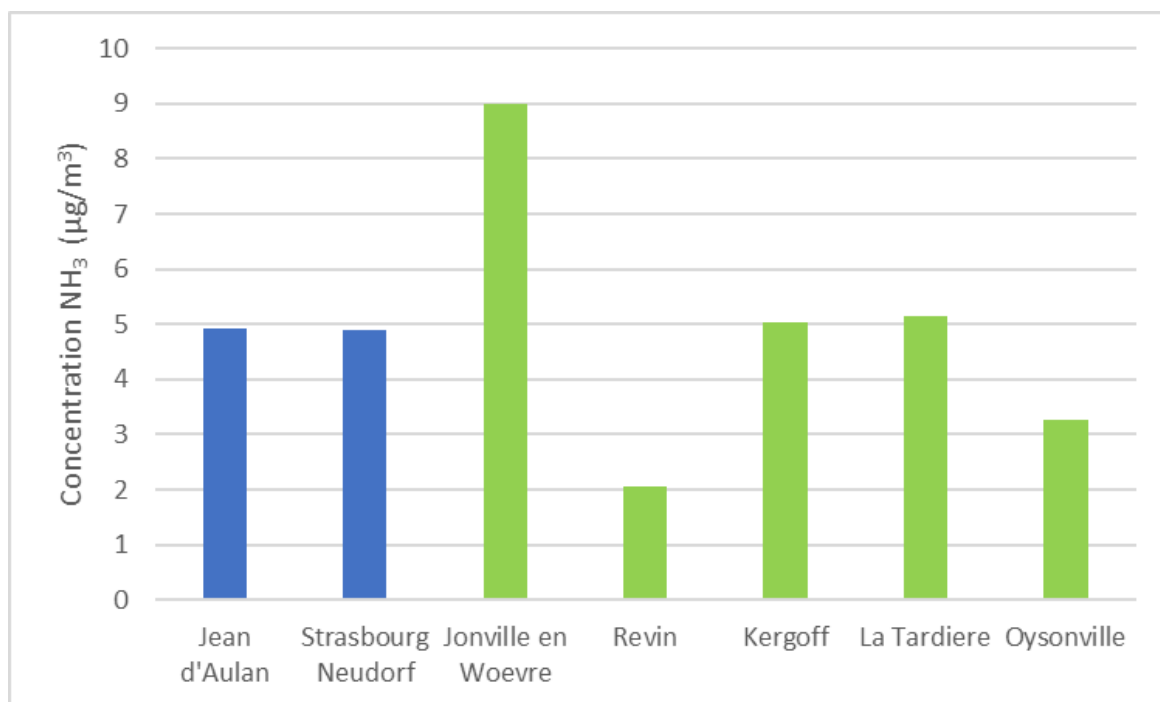


Figure 11 : Concentrations moyennes d'ammoniac mesurées par Picarro G2103 en 2022 par différentes AASQA avec en bleu les stations urbaines et en vert les stations rurales (Source : Géodair)

c) Profils moyens

Le profil journalier de l'ammoniac moyenné sur l'année 2022 est représenté sur la figure 12. 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 probablement le phénomène de volatilisation de l'ammoniac depuis le sol.

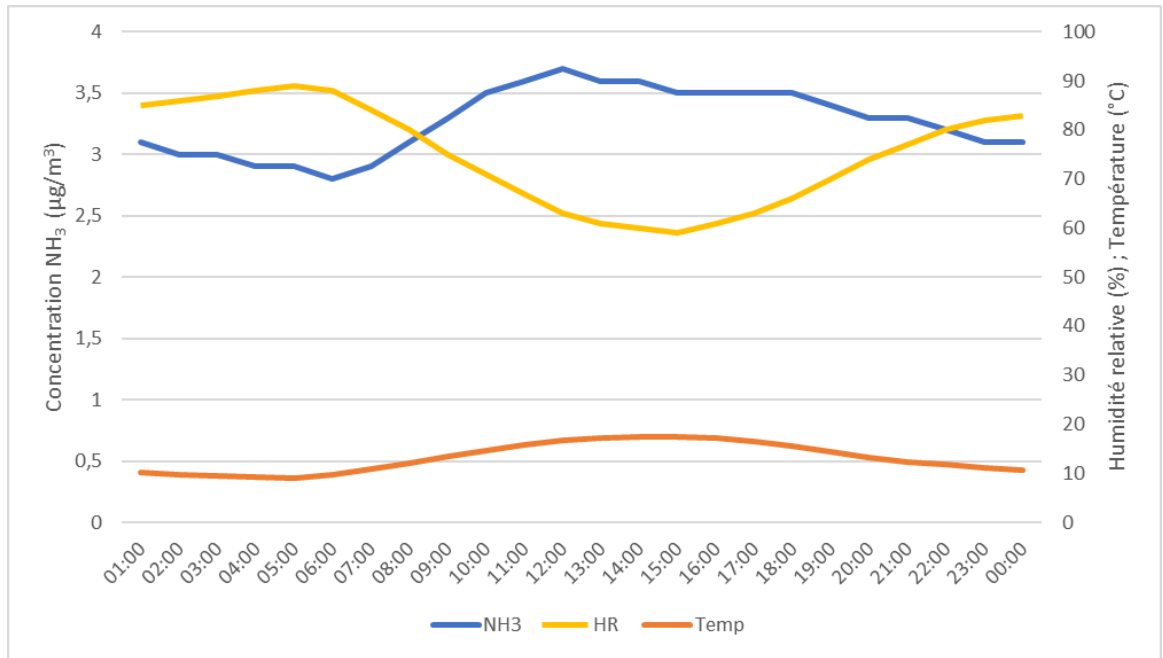


Figure 12 : Comparaison des profils moyens journaliers de l'ammoniac et des profils moyens journaliers de l'humidité relative et de la température mesurées à Chartres en 2022

B. Analyse par tubes passifs

a) Evolutions temporelles

Les évolutions des concentrations d'ammoniac mesurées par tubes passifs à Saint-Cyr-en-Val et Bazoches pendant l'année 2022 sont regroupées sur la figure 13 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 trois stations avec notamment un pic significatif en mars, atteignant $8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Bazoches puis une diminution graduelle des concentrations qui deviennent minimales aux mois de novembre et décembre. Les concentrations maximales mesurées entre le 14 et 28 mars aux trois stations coïncident avec la survenue d'un épisode de pollution particulaire ayant eu lieu du 24 au 27 mars dans la région Centre-Val de Loire.

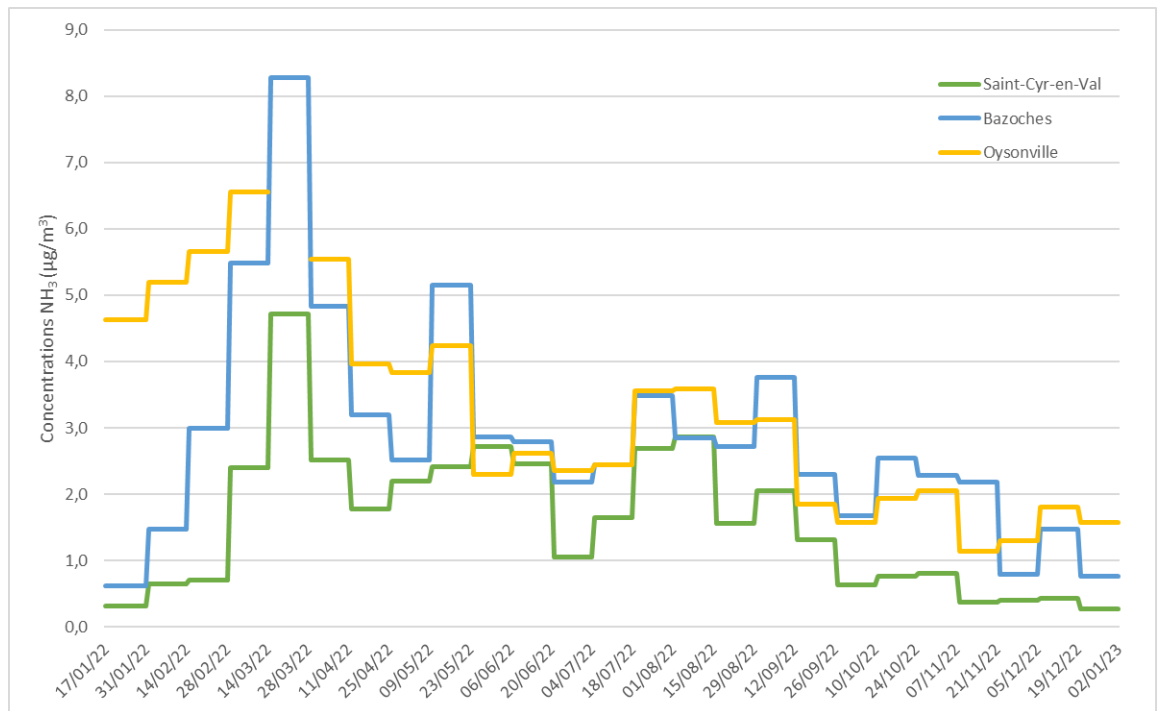


Figure 13 : Evolutions des concentrations de NH₃ moyennées sur les périodes de prélèvements à Saint-Cyr-en-Val, Bazoches et Oysonville en 2022

Les statistiques des mesures sont regroupées dans le tableau 4. Les moyennes annuelles des stations varient entre 1,6 µg/m³ à Saint-Cyr-en-Val et 3,3 µg/m³ à Oysonville. Les niveaux d'ammoniac sont en moyenne environ 2 fois plus élevés à Bazoches qu'à Saint-Cyr-en-Val. Cet écart de niveaux peut s'expliquer par le fait que le site Bazoches est situé en zone rurale et est ainsi plus susceptible d'être impacté par les émissions d'ammoniac liées aux activités agricoles (comme les épandages de lisiers) que le site Saint-Cyr-en-Val situé en zone urbaine. Cet écart entre Bazoches et Saint-Cyr-en-Val a également été observé en 2021 (cf figure 22 en annexes) et semble confirmer cette hypothèse.

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	Oysonville
Moyenne NH₃ (µg/m³)	1,6	3,0	3,3
Max NH₃ (µg/m³)	4,7	8,3	7,1
Dates du max	14 au 28 mars	14 au 28 mars	16 mars

Les ordres de grandeurs et les évolutions des concentrations d'ammoniac mesurées par prélèvements passifs et par l'analyseur automatique sont comparables.

b) Corrélation avec les 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. 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. Les évolutions des concentrations d'ammoniac et des PM₁₀ aux différentes stations sont regroupées sur les figures 14, 15 et 16. Aux trois stations, la moyenne maximale en NH₃, mesurée lors du prélèvement du 14 au 28 mars, coïncide avec la moyenne maximale en PM₁₀. D'une manière générale, il est constaté que c'est entre février et avril que les concentrations en NH₃ corrélient le mieux avec les concentrations en PM₁₀. C'est effectivement au printemps que les épisodes de pollutions aux particules sont liés aux émissions d'ammoniac puisque c'est à cette période où ont lieu les épandages agricoles. Lors de ces épisodes de pollution printaniers, les particules sont composées d'une part importante de nitrates et sulfates d'ammonium qui sont des aérosols secondaires formés à partir de l'ammoniac (cf. partie II.C).

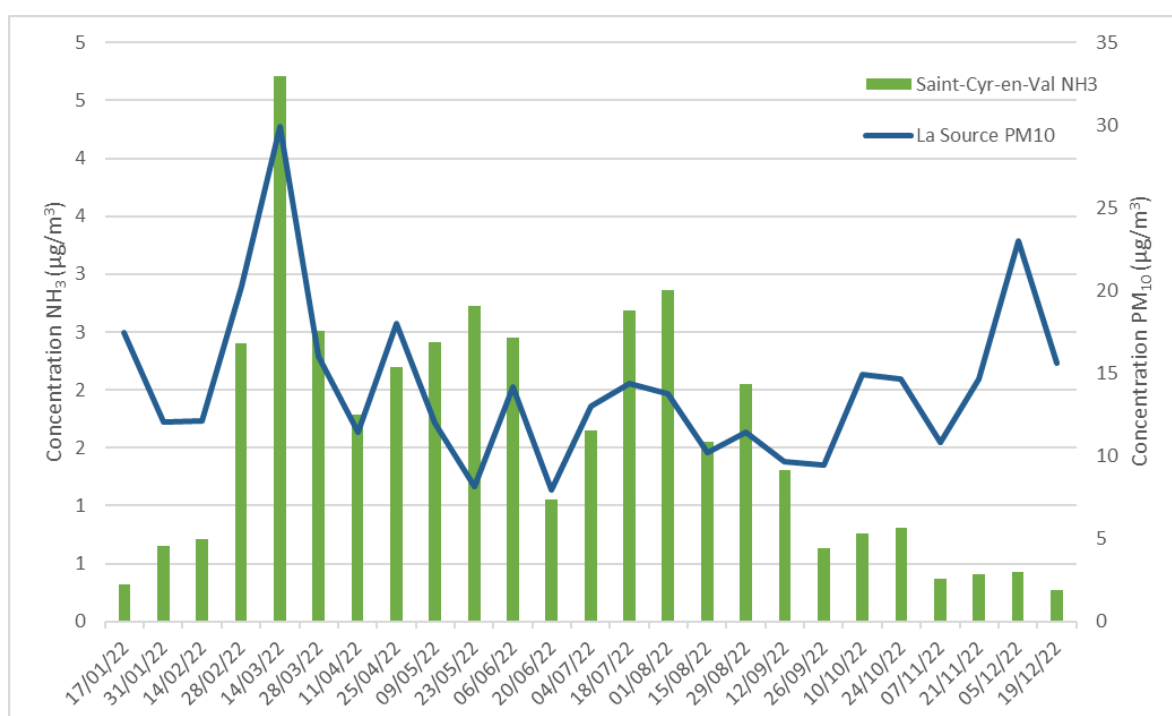


Figure 14 : Evolutions des concentrations de NH₃ et PM₁₀ à Saint-Cyr-en-Val

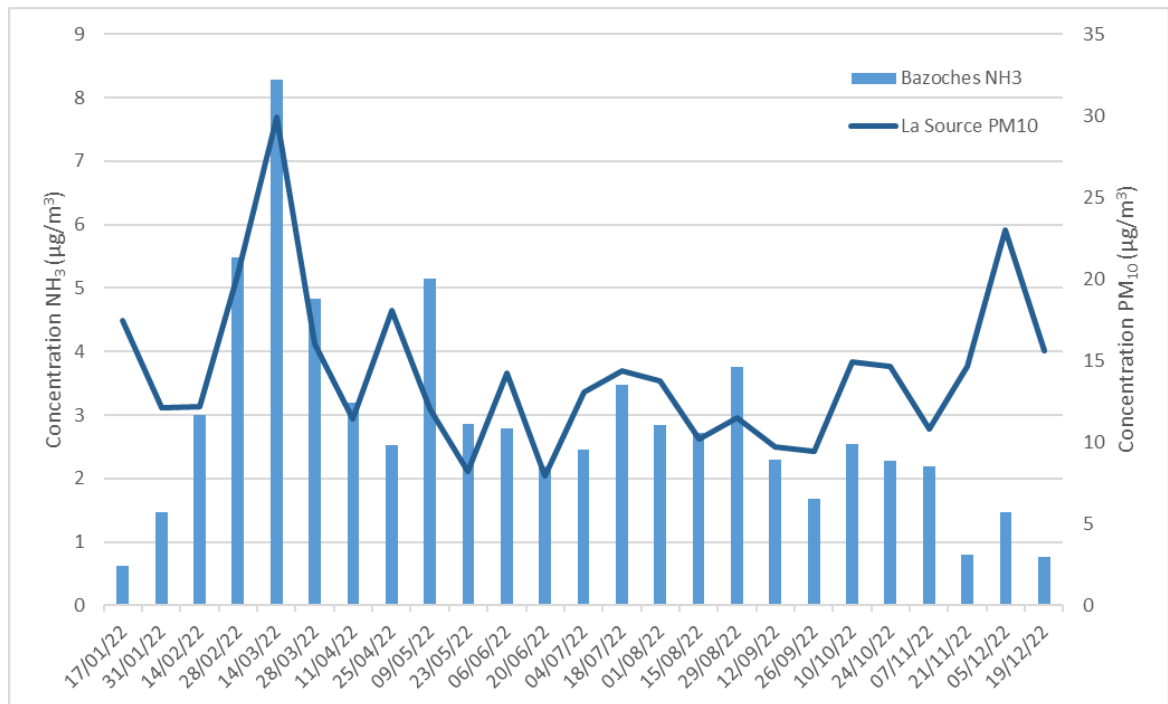


Figure 15 : Evolutions des concentrations de NH₃ et PM₁₀ à Bazoches

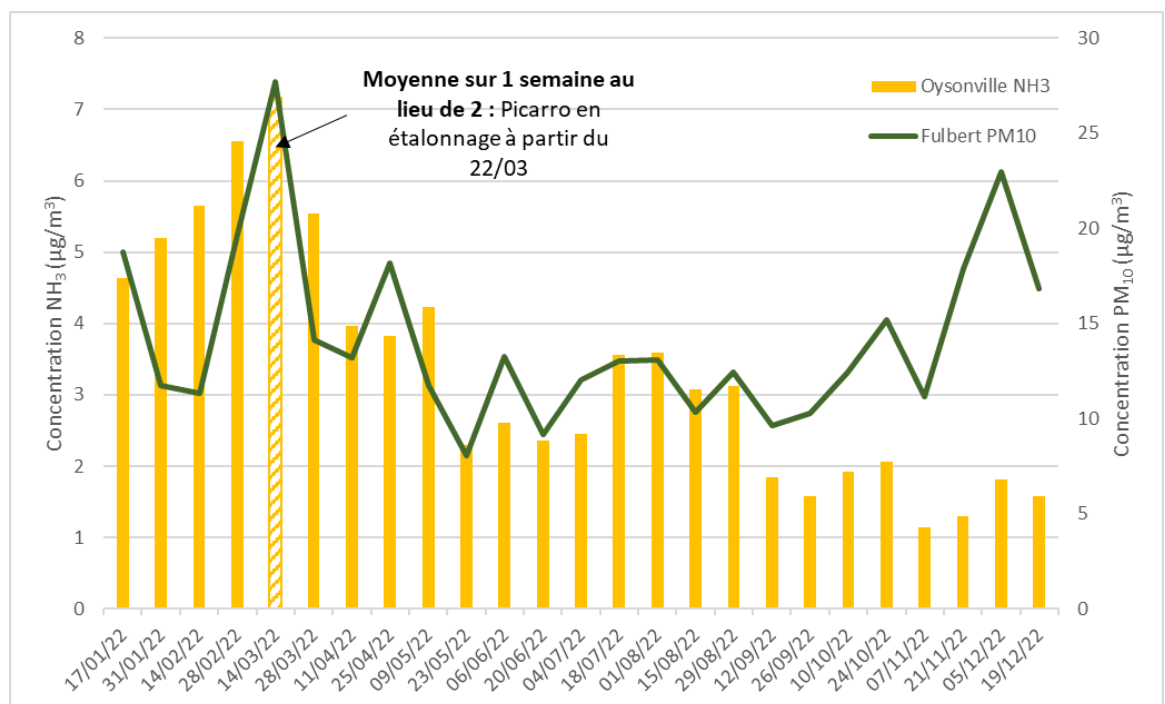


Figure 16 : Evolutions des concentrations de NH₃ et PM₁₀ à Oysonville

c) Comparaison avec 2021

Une campagne de mesure par tubes passifs avait également été réalisée en 2021 aux stations Saint-Cyr-en-Val et Bazoches. La figure 17 permet de comparer les concentrations moyennes en ammoniac mesurées en 2021 et en 2022. Les concentrations d'ammoniac sont comparables entre les deux années, mais légèrement plus élevées en 2022 aux deux stations. Les conditions météorologiques (température, humidité, vents) ainsi que les imports extérieurs liés aux activités émettrices d'ammoniac (agriculture en période d'épandages) pourraient expliquer cette différence.

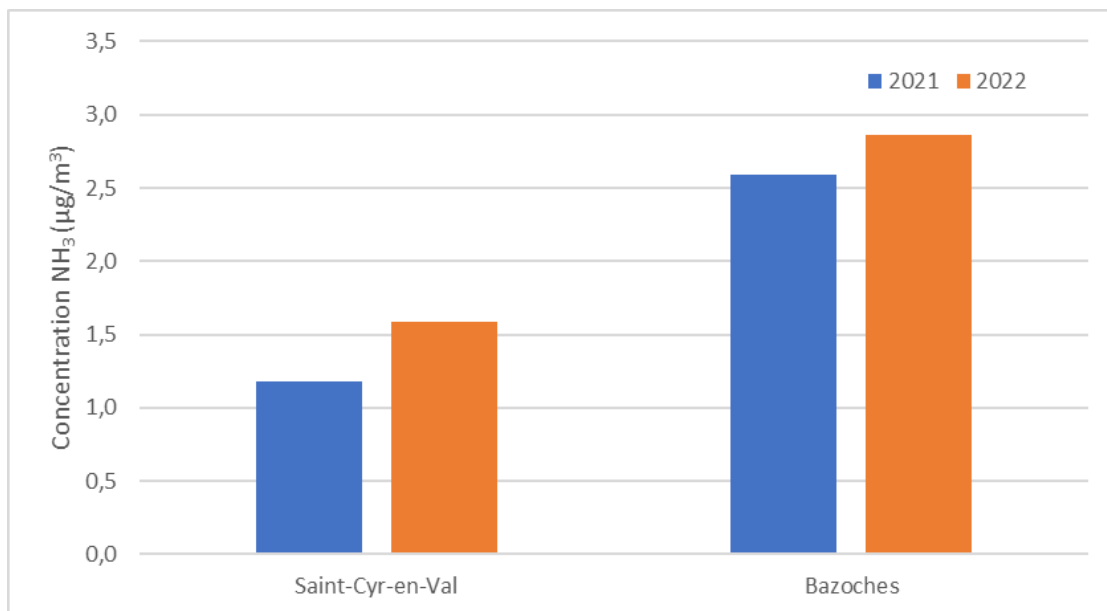


Figure 17 : Comparaison des moyennes annuelles d'ammoniac mesurées par tubes passifs en 2021 et en 2022 aux stations Saint-Cyr-en-Val et Bazoches

Les statistiques des données d'ammoniac mesurées en 2021 et 2022 à Saint-Cyr-en-Val et Bazoches sont regroupées dans le tableau 5. Comme en 2022, les niveaux d'ammoniac les plus élevés sont mesurés entre février et mars. Cependant, en 2021 les concentrations maximales n'ont pas été mesurées sur la même série de prélèvement à Bazoches et Saint-Cyr-en-Val.

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

	Saint-Cyr-en-Val		Bazoches	
	2021	2022	2021	2022
Moyenne (µg/m³)	1,2	1,6	2,6	3,0
Min (µg/m³)	0,05	0,27	0,4	0,6
Max (µg/m³)	3,7	4,7	8,9	8,3
Dates du max	22 février au 8 mars	14 au 28 mars	8 au 22 mars	14 au 28 mars

V. Conclusion

Cette étude avait pour objectif de dresser un premier bilan des concentrations d'ammoniac dans la région Centre-Val de Loire.

Les concentrations moyennes d'ammoniac mesurées à Oysonville, Bazoches et Saint-Cyr-en-Val en 2022 étaient respectivement de 3,3 ; 3,0 et 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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. Les niveaux d'ammoniac dans la région sont largement inférieurs aux valeurs toxicologiques de références chroniques et subchronique (500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Une hausse des niveaux d'ammoniac au printemps, liée aux émissions des activités agricoles à cette période (épandages) est constatée sur les trois sites de prélèvement. Fin mars, les pics de NH_3 observés aux trois stations coïncident avec une augmentation des concentrations en PM_{10} . L'ammoniac a donc très certainement participé à la formation de particules fines secondaires pendant cette période.

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 à la station rurale Oysonville. Les activités agricoles ont donc bien un impact sur les concentrations d'ammoniac dans la région.

Des niveaux comparables d'ammoniac entre 2021 et 2022 mesurés par prélèvement passifs ont été constatés. De plus, les mesures de NH_3 par prélèvements passifs ont révélé des ordres de grandeurs et des évolutions similaires aux mesures par analyseur automatique. Le prélèvement passif est donc une méthode de mesure pertinente pour évaluer les niveaux d'ammoniac et déterminer leur répartition spatiale dans la région.

Une meilleure connaissance des activités agricoles à proximité des stations NH_3 semble nécessaire afin de pouvoir expliquer les variations des concentrations.

Lors de prochaines études, il serait intéressant d'étudier plus précisément un épisode de pollution aux particules. Cela n'a pas pu être fait en 2022 car l'analyseur automatique était en étalonnage pendant l'épisode de pollution aux particules ayant eu lieu fin mars 2022.

Le suivi de l'ammoniac va continuer en région Centre-Val de Loire avec la mise en place d'une nouvelle station de mesure en zone rurale à Verneuil dès 2023. En outre, l'amélioration des connaissances sur la présence et le comportement de ce polluant va aussi être investigué en collaboration avec des laboratoires de recherche dans le cadre du projet JUNON. Dans le cadre de ce projet, l'ammoniac sera 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.
- . « 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>.
- . 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 Malvésis ». 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%202022.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 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. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9121-6_22 (13 avril 2023).
- Chatain, Mélodie, Eve Chretien, Sabine Crunaire, et Emmanuel Jantzen. 2022. « Road Traffic and Its Influence on Urban Ammonia Concentrations (France) ». *Atmosphere* 13(7): 1032.
- 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 ».

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

B. Photo d'une cartouche Radiello 168



Figure 19 : 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 3-22	17/01/2022	31/01/2022
NH3 5-22	31/01/2022	14/02/2022
NH3 7-22	14/02/2022	28/02/2022
NH3 9-22	28/02/2022	14/03/2022
NH3 11-22	14/03/2022	28/03/2022
NH3 13-22	28/03/2022	11/04/2022
NH3 15-22	11/04/2022	25/04/2022
NH3 17-22	25/04/2022	09/05/2022
NH3 19-22	09/05/2022	23/05/2022
NH3 21-22	23/05/2022	06/06/2022
NH3 23-22	06/06/2022	20/06/2022
NH3 25-22	20/06/2022	04/07/2022
NH3 27-22	04/07/2022	18/07/2022
NH3 29-22	18/07/2022	01/08/2022
NH3 31-22	01/08/2022	15/08/2022
NH3 33-22	15/08/2022	29/08/2022
NH3 35-22	29/08/2022	12/09/2022
NH3 37-22	12/09/2022	26/09/2022
NH3 39-22	26/09/2022	10/10/2022
NH3 41-22	10/10/2022	24/10/2022
NH3 43-22	24/10/2022	07/11/2022
NH3 45-22	07/11/2022	21/11/2022

NH3 47-22	21/11/2022	05/12/2022
NH3 49-22	05/12/2022	19/12/2022
NH3 51-22	19/12/2022	02/01/2023

D. Cartographie des émissions d'ammoniac

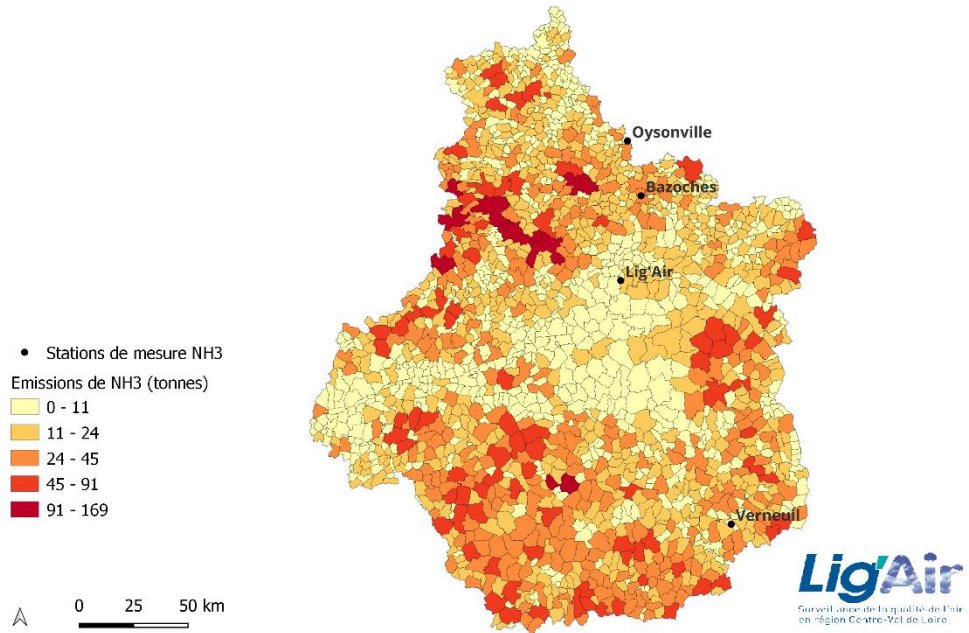


Figure 20 : Cartographie des émissions d'ammoniac (en tonnes) du secteur agricole en 2020 dans la région Centre-Val de Loire

E. Répartition des activités agricoles émettrices d'ammoniac

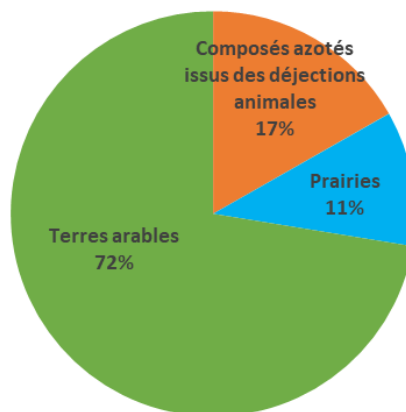


Figure 21 : Répartition des activités agricoles émettrices d'ammoniac en région Centre-Val de Loire en 2018 (Source : TRACE)

F. Concentrations d'ammoniac mesurées en 2021

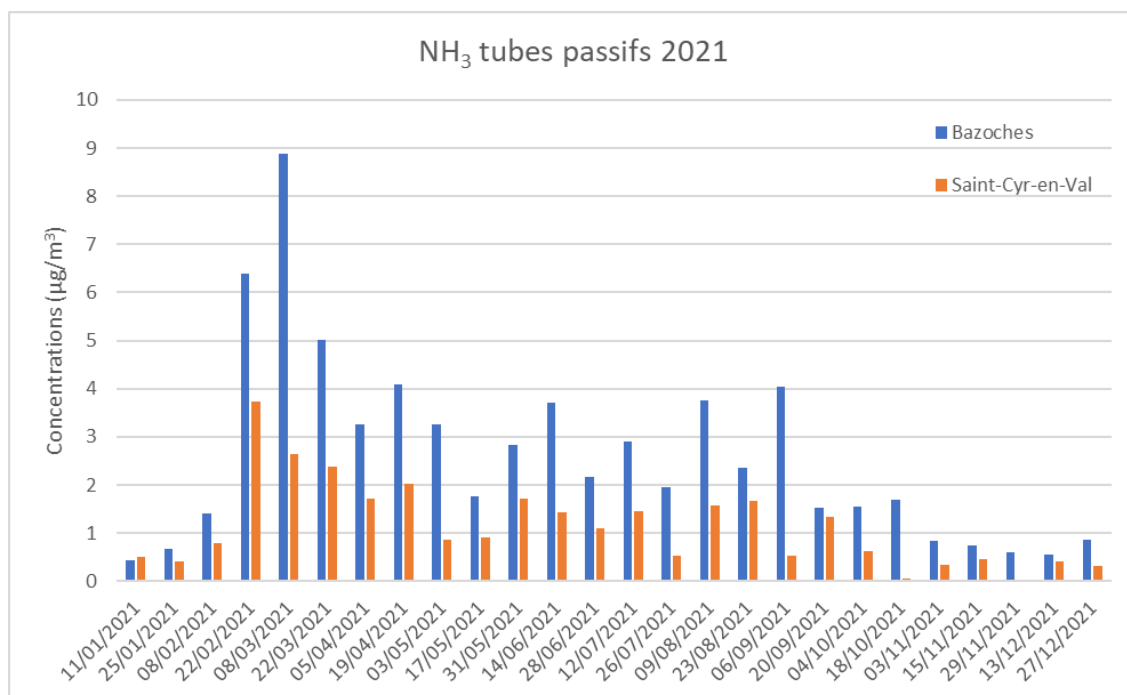


Figure 22 : Concentrations d'ammoniac mesurées à Saint-Cyr-en-Val et Bazoche en 2021