

# EVALUATION DES PERFORMANCES DE CAPTEURS COMMERCIAUX DE CONCENTRATIONS EN AMMONIAC EN POULAILLER

Créach Pauline<sup>1</sup>, Pascal Galliot<sup>1</sup>, Jerome Hazart<sup>2</sup>, Alassane Keita<sup>3</sup>, Jean-Philippe Moysan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ITAVI (Institut Technique des filières AVicole, cunicole et piscicole) – 7, rue du Faubourg Poissonnière – 75009 Paris

<sup>2</sup>CEA TECH Bretagne, 13 route de l'Innovation, 29000 Quimper

<sup>3</sup>ANSES SELEAC Ploufragan \_ 41 rue de Beaucemaine, 22440 Ploufragan

[creach@itavi.asso.fr](mailto:creach@itavi.asso.fr)

## RÉSUMÉ

Les capteurs sont très largement utilisés pour le pilotage de l'ambiance en élevage avicole (température, hygrométrie et dioxyde de carbone). Piloter finement l'ambiance est un enjeu majeur en élevage de volailles pour garantir la multi-performance de l'élevage (économique, environnementale, bien-être et santé des animaux et des intervenants en élevage). Les capteurs d'ammoniac sont peu utilisés en élevage car ils sont majoritairement de technologie électrochimique et ont une durée de vie courte (3 à 6 mois). L'objectif de cette étude est d'évaluer 4 solutions technologiques de capteurs ammoniac, commercialisées pour un usage en élevage avicole, et quantifier leurs performances (précision et temps de réponse) en élevage semi-commercial de poulets de chair. Un analyseur PRoCeas®, de technologie spectroscopie FTIR, a été utilisé comme référence pour le calcul des précisions et l'étude du temps de réponse.

Les précisions calculées des capteurs testés variaient entre  $0.7 \pm 0.7$  et  $7.6 \pm 5.4$  ppm et les temps de réponse étaient tous inférieurs à 1 minute. L'analyse de la sensibilité et du temps de réponse de chaque capteur a montré qu'un capteur sur les 4 testés n'était pas approprié pour une utilisation en poulailler, de par son manque de précision et la présence de valeurs aberrantes. Les différences de performance observées suggèrent que les capteurs commercialisés sont perfectibles pour des mesures en continu en poulailler. Les travaux de développement technologique sur la mesure de l'ammoniac doivent se poursuivre pour améliorer les performances des capteurs existants.

## ABSTRACT

### PERFORMANCE EVALUATION OF COMMERCIAL AMMONIA CONCENTRATION SENSORS IN POULTRY HOUSES

Sensors are widely used to control poultry environment on farm (such as temperature, humidity and carbon dioxide). Precise control of the environment is a major challenge in poultry farming to guarantee the multi-performance of breeding (economic, environmental, animal and human welfare and health). Ammonia sensors are rarely used on poultry farms because they are mainly based on electrochemical technology and have a short lifetime (3 to 6 months). The aim of this study is to evaluate 4 technological solutions of ammonia sensors, marketed for a use in poultry farming, and quantify their performances (accuracy and response time) in semi-commercial broiler farm. A ProCeas® analyser, using FTIR spectroscopy technology, was used as a reference for calculating accuracy and studying response time.

The calculated sensitivities of the sensors tested ranged from  $0.7 \pm 0.7$  to  $7.6 \pm 5.4$  ppm and response times were all under 1 minute. Analysis of the sensitivity and response time of each sensor showed that one of the 4 tested was not suitable for use in poultry barn, due to its lack of accuracy and the presence of outliers. The differences in performance observed suggest that the sensors on the market can be improved for continuous measurement in poultry houses. Technological development work on ammonia measurement must continue in order to improve the performance of the existing sensors.

## INTRODUCTION

L'inventaire d'émission national par secteur de 2021 du CITEPA (données 2019) rappelle que 94 % des émissions nationales d'ammoniac proviennent des secteurs de l'agriculture et de la sylviculture. L'élevage compte pour 36,2% des émissions nationales, dont 6,6% pour le seul secteur de l'aviculture (CITEPA, 2021). Les émissions d'ammoniac en trop grande quantité ont aussi des effets néfastes sur l'environnement. Un ensemble de réglementations internationales a été mis en place pour diminuer les émissions de  $\text{NH}_3$  : le protocole de Göteborg, la directive NEC n° 2001/81/CE, la directive Qualité de l'air 2008/50/CE et la directive IED (Industrial Emission Directive ; 2010/75/UE). Cette dernière concerne actuellement les élevages de plus de 40 000 places de volailles, 2 000 places de porcs charcutiers et 750 places de truies. Elle impose à ces élevages de volailles des valeurs limites d'émission d'ammoniac au bâtiment. Pour justifier du respect de ces valeurs, l'éleveur a le choix entre calculer son émission à partir de facteurs d'émission ou la mesurer dans son bâtiment d'élevage. L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est un gaz incolore, odorant et irritant pour l'Homme comme pour les animaux. En élevage ce gaz est issu de la volatilisation de l'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  présent dans le fumier (Hassouna. et al., 2015). L'effet de l'ammoniac sur la santé des animaux peut impacter les résultats économiques de l'exploitation, en entraînant une baisse du poids vif des animaux à l'abattage (Jones et al., 2005). En poulet de chair, l'arrêté ministériel du 28 juin 2010 oblige, dans le cas d'un chargement de 33 kg de poids vif de poulet/m<sup>2</sup>, à ne pas dépasser une concentration en ammoniac de 20 ppm, à hauteur des animaux dans le bâtiment d'élevage. De même pour l'Homme, l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) a établi des Valeurs Moyennes et Limites d'Exposition Professionnelle de court terme (respectivement VMEP CT et VLEP CT) dans l'ambiance des lieux de travail. Le VMEP CT est de 10 ppm pendant 8 heures et la VLEP CT est de 20 ppm pendant 15 min (INRS, 2023). De plus, l'ammoniac est également un précurseur des particules fines ( $\text{PM}_{2,5}$ ) dont les effets sur la santé humaine sont l'augmentation des maladies cardiovasculaires et respiratoires. En élevage de poulets de chair par exemple, les concentrations mesurées atteignent facilement les 10-15 ppm, même avec une bonne gestion de la litière et de la ventilation. Lorsque plusieurs conditions ne sont pas réunies, les concentrations peuvent être plus élevées (retour terrain jusque 50 voire 100 ppm) dans des cas très particuliers de ventilation faible, hygrométrie importante, litière très dégradée, animaux malades présentant des fientes liquides par exemple. Contrôler finement et en continu les concentrations en ammoniac en bâtiment d'élevage doit permettre d'anticiper des problèmes d'inconfort ou sanitaire des volailles.

Pour l'ensemble de ces aspects, il apparaît donc nécessaire aujourd'hui de pouvoir équiper les bâtiments avicoles de capteurs de concentrations en ammoniac dans le bâtiment pour y réaliser des mesures en continu et suivre la cinétique de ces concentrations au cours du temps.

Les capteurs (température, hygrométrie, concentration en dioxyde de carbone) sont très couramment utilisés en bâtiment d'élevage pour une meilleure maîtrise des conditions de logement des animaux. Les mesures réalisées avec ces capteurs sont directement reliées à la régulation automatique de la ventilation et du chauffage en bâtiment d'élevage. Il s'agit d'une réelle plus-value pour l'éleveur car, mesurer ces paramètres en continu permet d'agir rapidement

en cas de problème. La majorité des capteurs de concentrations en ammoniac commercialisés pour un usage en élevage sont de technologie électrochimique. Elle repose sur l'oxydation du gaz d'intérêt. Une différence de potentielle est appliquée entre une électrode de référence, non exposée au gaz, et une électrode de mesure, où se déroule l'oxydation des molécules gazeuses. Le courant créé est proportionnel à la concentration gazeuse au voisinage de l'électrode de travail (Sahal Saad, 2019). Cette technologie est peu énergivore, peu onéreuse (<2 000€), à temps de réponse rapide (<1min) et avec une bonne résolution (le plus petit changement possible qu'un capteur puisse détecter -1ppm). Cependant, des interférences avec d'autres gaz peuvent intervenir lors des mesures et les réactions moléculaires ne sont pas toujours totales, engendrant des imprécisions sur la mesure. A ce jour, les capteurs de concentration en ammoniac ne sont pas utilisés pour des mesures en continu en bâtiment d'élevage et ils ne sont pas reliés avec la régulation de l'ambiance du bâtiment. En effet, les retours terrain font état d'un manque de fiabilité de ces derniers, limitant leur usage à quelques mois d'utilisation (Sahal Saad, 2019). Aucun élément factuel ne peut à ce jour venir étayer ces dires d'experts. L'objectif de cet article est donc de faire état des performances de capteurs de concentrations en  $\text{NH}_3$  commercialisés pour un usage en élevage de volaille.

## 1. MATERIELS ET METHODES

### 1.1. Les capteurs de concentrations en ammoniac sélectionnés pour les tests

Les critères de choix des capteurs de mesure de la concentration en ammoniac ont été déterminés à partir des données de la littérature à des dires d'experts (équipementiers, chercheurs et professionnels de la filière avicole). Les concentrations des capteurs sont données en ppm. Au vu des données bibliographiques, une plage de mesure des concentrations en  $\text{NH}_3$  comprise entre 0 et 100 ppm est sélectionnée pour permettre de mesurer et d'analyser certains pics de concentration potentiellement au-dessus de 50 ppm en élevage de volailles. Le coût est aussi un critère de choix majeur pour les éleveurs et il est fixé à moins de 2 000 € dans le cadre de cette étude et en concertation avec les équipements du secteur avicole. L'autre critère considéré pour le choix des capteurs est le non-usage de consommable autre que l'électricité. Les principales caractéristiques des capteurs, de technologie électrochimique, sélectionnés sont décrites dans le tableau 1. Les noms des capteurs ne sont pas fournis car les fournisseurs et concepteurs des capteurs n'ont pas souhaités les communiquer.

**Tableau 1.** Description des capteurs de mesures de la concentration en NH<sub>3</sub> testés, de technologie électrochimique avec une plage de mesure de 0 à 100, à partir des informations données par les fournisseurs ; Légende : HR=Humidité Relative, T°=Température

| Identifiant                                 | C1                | C2                 | C3                | C4                 |
|---------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Précision des mesures (données fournisseur) | ±1,5ppm           | ±1,5ppm            | ±-5%              | ±1à5%              |
| Conditions d'utilisation (T°/HR)            | 20/+50°C ; 15-90% | 0,0/+50°C ; 15-95% | 30/+50°C ; 15-90% | 20/+50°C ; 0 à 95% |
| Coût d'achat HT(€ sur devis ITAVI 2022)     | 400 €             | 1 014 €            | 849 €             | 754 €              |

## 1.2. Protocole adopté pour la comparaison des capteurs NH<sub>3</sub> en conditions d'élevage semi-commerciales

Les 4 capteurs, numérotés de C1 à C4, ont été placés ensemble au centre d'un bâtiment semi-commercial de poulets de chair de l'ANSES de Ploufragan. Les poulets ont été élevés à une densité de 39 kg/m<sup>2</sup>, valeur proche du terrain. Les essais ont été conduits sur deux années différentes : fin d'année 2021 sur 24 jours pour C1 et C2 et en 2022 sur 38 jours sur les mois de juin-juillet pour C3 et C4. La comparaison des 4 capteurs ne s'est donc pas faite sur la même période de l'année en terme de climat extérieur. L'hypothèse de départ était d'avoir des situations climatiques différentes permettant d'obtenir de cinétiques de concentrations en NH<sub>3</sub> contrastées. En effet, en hiver avec des températures froides, le débit minimum de ventilation est faible et les concentrations en ammoniac sont donc potentiellement plus élevées et inversement pour l'été. Sur les deux périodes d'étude, la croissance des poulets a été évaluée avec des pesées manuelles hebdomadaires. La croissance des poulets a suivi la courbe de référence de la souche ROSS 308 pour les deux lots de 2021 et 2021.

Les concentrations en NH<sub>3</sub> ont été mesurées en continu aux fréquences d'acquisition précisées dans le tableau 3, à une même position à 80 cm du sol en présence et au-dessus des animaux. Les fréquences d'acquisition choisies ont été réglées au minimum possible par les capteurs de façon à capter les variations temporelles des concentrations en NH<sub>3</sub>. Les enregistrements de l'ensemble des appareils sont issus de mesures instantanées et non de moyenne toutes les minutes, en fonction de la fréquence d'acquisition programmée. Les concentrations en ammoniac des 4 capteurs ont été comparées aux concentrations en NH<sub>3</sub> mesurées toutes les minutes par un spectroscope laser infra rouge (ProCeas® ; France ; précision au ppb). La concentration mesurée par l'analyseur a été retenue comme référence pour la comparaison, ci-après dénommée « référence ». La mesure avec l'appareil de référence a été réalisée dans les mêmes conditions que celles appliquées aux capteurs testés. Les horloges des différents capteurs et de l'analyseur de gaz ont été synchronisées.

## 1.3. Méthodes d'analyse des performances des capteurs NH<sub>3</sub> testés

Pour l'analyse des concentrations et l'étude des précisions, les concentrations en ammoniac des capteurs C1 et C2 ont été comparées à la minute avec les données de la référence en 2021. En 2022, elles ont été réalisées sur la base d'une moyenne horaire entre les capteurs C3 et C4 et la référence. Ce choix est lié aux capteurs testés, qui ne permettaient pas d'avoir la même unité de temps pour la comparaison. La plus petite unité de temps possible par les capteurs a été retenue pour la comparaison sur les deux périodes distinctes.

### Précision du capteur au regard des concentrations en NH<sub>3</sub> de référence

La précision des capteurs a été calculée en valeur absolue. Il s'agit des écarts instantanés entre la concentration en NH<sub>3</sub> de la référence et celle du capteur testé. Il est exprimé en ppm. Dans la suite, le biais (écart entre ces deux concentrations) est considéré comme élevé si supérieur ou égal à 3 ppm.

### Évolution de la précision du capteur dans le temps

Les évolutions de la précision journalière des capteurs sont présentées graphiquement en fonction du temps, afin d'évaluer la stabilité du biais du capteur sur les jours de comparaison.

### Temps de réponse ou inertie

Le temps de réponse du capteur dépend de l'électronique de traitement du signal qui conduit à l'affichage d'une concentration. A dire d'experts et selon les recherches bibliographiques effectuées, les besoins et conséquences en termes d'inertie du capteur sont entre autre liés à l'utilisation que l'on fait de ce capteur (tableau 2). Une inertie est dite faible lors qu'elle est inférieure ou égale à 5 minutes. Le temps de réponse de chaque capteur a été quantifié en évaluant graphiquement le déphasage entre un pic de concentration observé par le capteur de référence à faible inertie et la valeur maximale observée sur le capteur considéré. Le décalage temporel est exprimé en minute.

**Tableau 2.** Avantages et inconvénients d'une inertie faible ou élevée d'une sonde NH<sub>3</sub> pour un usage en bâtiment avicole

|                                         | AVANTAGES                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | INCONVENIENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Capteur à inertie faible (très réactif) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de détecter précocement les variations des concentrations (exemple d'une montée progressive des concentrations)</li> <li>• est adapté à des mesures manuelles et ponctuelles (exemple besoin d'étalonnage et de vérification de la fiabilité des capteurs)</li> </ul> | <p>Bien gérer cette réactivité du capteur dans le cas d'un raccordement à un régulateur avec une action sur le pilotage des équipements de ventilation. L'ambiance du bâtiment peut en être fortement perturbée (instabilité de l'ambiance néfaste aux animaux, comme des courants d'air par exemple).</p>                                                              |
| Capteur à inertie élevées (peu réactif) | <p>Moins de risque de variations rapide de la ventilation (exemple courants d'air au niveau des animaux)</p>                                                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rend difficile d'utilisation en mesure manuelle, car peut s'avérer long si l'on souhaite réaliser plusieurs mesures.</li> <li>• L'information fournie par le capteur peut être utilisée directement par les équipements de ventilation avec un risque de réponse décalée (non adaptée à la situation à l'instant t)</li> </ul> |

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Concentrations en NH<sub>3</sub> mesurées pendant l'essai

La température extérieure moyenne sur la période de mesure en 2021 était de 10°C. Sur la période estivale en 2022 un maximum de 22.8 ppm d'ammoniac a pu être atteint au cours du lot de poulets (donnée de référence ProCeas®). En effet, pour cette seconde partie d'essai le début minimum de ventilation de la salle d'élevage avait été réduit pour favoriser les concentrations en ammoniac. Ceci explique les concentrations plus élevées observées en 2022 malgré le fait que ces essais soient réalisés en période estivale (température extérieure moyenne sur la période de mesure : 18°C). Des mesures limitatrices correctives ont été mises en œuvre dès observations de ce dépassement afin de respecter les 20 ppm réglementaires pour le bien-être des poulets de chair (ajout de litière et augmentation du débit minimum de ventilation). Des valeurs aberrantes (inférieures à 0 ppm) ont été observées pour C4 (tableau 3). En 2021, la moyenne des concentrations en ammoniac pour le capteur C2 est très proche de la référence (3.7 ppm vs 3.2 ppm pour la référence). Au contraire, la moyenne du capteur C1 est environ deux fois moins élevée que la référence (1.9 ppm vs 3.2 ppm pour la référence). En 2022, les moyennes des concentrations en ammoniac des capteurs C3 et C4 sont très éloignées de celle mesurée par la référence (respectivement 2.3 ppm et 0.1 ppm vs 7.2 ppm). Pour le calcul des moyennes, les valeurs aberrantes n'ont pas été supprimées. Les écart-types se situent dans la gamme 0.2 et 4.9 ppm pour tous les capteurs (tableau 3).

**Tableau 3.** Résultats descriptifs sur l'ensemble de la période de mesure ; calcul avec fréquence d'acquisition horaire (REF = concentrations en NH<sub>3</sub> de référence, mesurées par l'analyseur de gaz ProCeas®)

| Identifiant                   | REF         |             | C1          | C2          | C3          | C4          |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Année                         | 2021        | 2022        | 2021        | 2021        | 2022        | 2022        |
| Moyenne ± écart-type (ppm)    | 3.2±4<br>.1 | 7.2±4<br>.9 | 1.9±2<br>.2 | 3.7±3<br>.8 | 2.3±1<br>.8 | 0.1±0<br>.2 |
| Minimum (ppm)                 | 0.2         | 0.5         | 1           | 1           | 0           | -0.1        |
| Maximum (ppm)                 | 16.8        | 22.8        | 12          | 18          | 7           | 1           |
| Fréquence d'acquisition (min) | 1           |             | 1           | 1           | 15          | 2           |

### 2.1. Précision et temps de réponse des capteurs testés

Les capteurs C3 et C4 présentent les biais les plus élevés (respectivement 5.2 ± 4.0 ppm et 7.6 ± 5.4 ppm). Au contraire, les capteurs C1, C2 ont des biais moins importants (respectivement 2.3 ± 2.1 ppm et 0.7 ± 0.7 ppm). Le biais le plus élevé est observé pour le capteur C4 (7.6 ppm). Ce biais est proche de la moyenne des concentrations en ammoniac de la référence, qui était de 7.2 ppm (tableau 3). Il est associé à une très faible variabilité (tableau 3). L'utilisation du capteur C4 en bâtiment avicole n'est pas recommandée au regard de sa précision et de la présence de valeurs aberrantes.

Les différences de précision observées entre les capteurs peuvent s'expliquer en partie par le dispositif expérimental. En effet, de manière générale les mesures réalisées en bâtiment conventionnel où l'air est hétérogène et le brassage de l'air peut faire que les capteurs ne mesurent pas exactement le même air, bien que ceux-ci aient été positionnés à quelques centimètres les uns des autres. Des essais en situation contrôlée sur banc d'essai avec des mélanges de gaz connus et quantifiés permettraient de garantir l'homogénéité et la stabilité des concentrations autour des capteurs. Le capteur C4 n'était pas défaillant d'après des vérifications effectuées auprès du fournisseur. A l'inverse des autres capteurs, il n'a pas permis d'identifier tous les pics de concentrations en ammoniac au cours de l'essai. L'évaluation de l'inertie sur ce dernier capteur n'a pu se faire que sur l'examen d'un pic, à l'inverse des trois autres capteurs où le même nombre de pics que la référence a été observé.

Au regard du tableau 1, les biais mentionnés par les fournisseurs sont plus faibles que ceux calculés dans l'étude pour les capteurs C3 et C4. Ce résultat s'explique certainement par des différences de protocoles. En effet, les résultats des fournisseurs ne sont pas issus d'essais réalisés dans un environnement correspondant à celui d'un bâtiment avicole (ambiance chargée en poussières, humidité et autres gaz par exemple). A l'inverse pour le capteur C2, la précision calculée dans cet essai est inférieure de 0.8 ppm à celle fournie par le fournisseur.

La réalisation des essais sans comité d'éthique n'a pas permis d'obtenir des résultats plus discriminants car les concentrations en NH<sub>3</sub> devaient respecter la réglementation sur le bien-être et la santé des poulets de chair (20 ppm). Des tests dans des conditions très contrastées de concentrations en ammoniac auraient permis des calculs de précision plus précis et de tester les capteurs sur des gammes de concentrations plus larges pour étudier la réactivité du capteur en fonction de ces concentrations.

Dans les conditions de test et d'après le Tableau 4, le capteur C2 semble être le plus performant pour une utilisation en bâtiment avicole. Les inerties observées dans le cadre des essais sont très bonnes (<1min) pour les 4 capteurs testés. Ces capteurs sont donc plutôt réactifs pour capter des pics ponctuels de concentration en ammoniac (Tableau 4).

Ainsi, il est conseillé d'éviter d'utiliser les capteurs C3 et C4 en bâtiment avicole. Le capteur recommandé pour une utilisation en bâtiment avicole est le C2. Le C1 présente des résultats acceptables.

**Tableau 4.** Précision moyenne observée calculée en valeur absolue (en ppm) et inertie (en minutes), sur les périodes de test respectives des 4 capteurs, pour chacun des 4 capteurs testés

| Identifiant                          | C1      | C2      | C3      | C4      |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Précision moyenne ± écart-type (ppm) | 2.3±2.1 | 0.7±0.7 | 5.2±4.0 | 7.6±5.4 |
| Précision minimum (ppm)              | 0       | 0       | 0.4     | 0.9     |
| Précision maximum (ppm)              | 9.9     | 11      | 18      | 22.8    |
| Inertie (min)                        | <1min   | <1min   | <1min   | <1min   |

2.1. Evolution de la précision du capteur dans le temps

Au regard de la figure 1, le biais du capteur C1 n’est pas stable au cours du temps et présente une augmentation importante en milieu de lot puis diminue. A l’inverse le biais du capteur C2 est relativement stable au cours du temps. Les biais des capteurs C3 et C4 augmentent fortement en début de lot augmentent puis diminuent pour être relativement stable jusqu’à la fin de la période de mesure. Il apparait que les biais de ces derniers sont très proches des concentrations en ammoniac mesurées par la référence (Figure 2). En effet, l’atmosphère du bâtiment d’élevage peut être chargée en poussières et peut parfois être corrosive pour les appareils de métrologie.

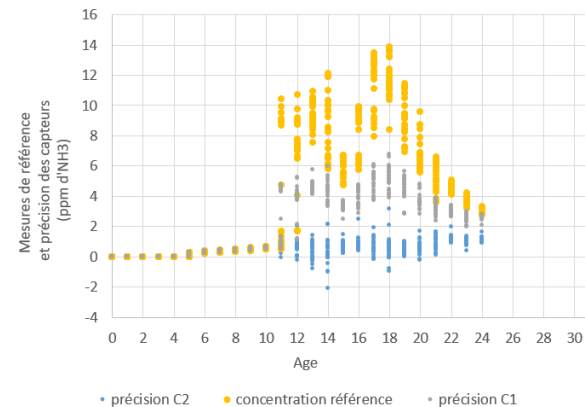


**Figure 1.** Evolution de la précision (exprimée en ppm) des capteurs C1 et C2 au cours du temps -année 2021- et concentration en ammoniac de la référence

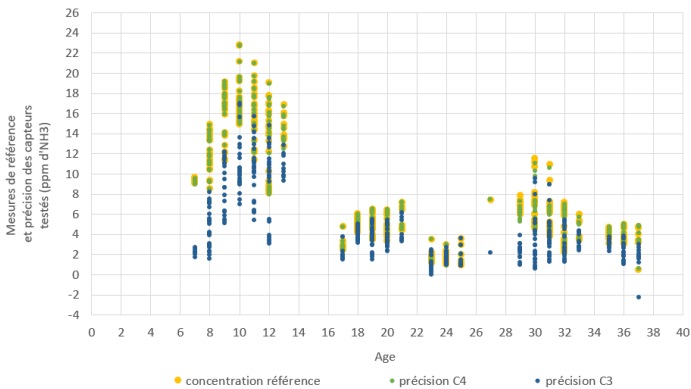


**Figure 2.** Evolution de la précision (exprimée en ppm) des capteurs C3 et C4 au cours du temps -année 2022- et concentration en ammoniac de la référence

CONCLUSION

La précision du capteur, le temps de réponse et la plage de mesure (0-100 ppm) sont deux critères importants pour le choix d’un capteur de concentrations en ammoniac. L’usage que l’on fait de ce capteur en bâtiment avicole (usage ponctuel ou raccordement à un boîtier de régulation) conditionne le choix du temps de réponse du capteur. Les comparaisons des concentrations en NH<sub>3</sub> mesurées par différents capteurs en bâtiment commercial de poulets de chair, révèlent des écarts et des variations importantes entre capteurs d’une même technologie électrochimique. Cependant, les temps de réponse de ces capteurs sont satisfaisants (<1min). Le pilotage de la ventilation et du chauffage en fonction des concentrations en NH<sub>3</sub>, de l’humidité de l’air et de la litière, reste une cible d’amélioration des conditions d’élevage des poulets de chair en poulailler mais des travaux de développement technologique sur la mesure de l’ammoniac doivent se poursuivre pour améliorer les performances des capteurs existants.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été conduite dans le cadre d’un projet inter-Carnot entre le Carnot France Futur Elevage et le Carnot Leti, entre 2020 et 2022. Elle a bénéficié du soutien financier de l’ANR.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arrêté du 28 juin 2010 établissant les normes minimales relatives à la protection des poulets destinés à la production de viande, JORF n° 0150 du 1 juillet 2010, ELI: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/jo/2010/7/1>.
- CITEPA, juillet 2021. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France, Format Secten.
- Hassouna M., Eglin T., Cellier P., Colomb V., Cohan J-P, Decuq C., Delabuis M., Edouard N., Espagnol S. et Eugène M., 2015 : Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. INRA-ADEME (France), 2-7380-1375-9, hal-01590618, <https://agroparistech.hal.science/hal-01590618>.
- INRS, 2023. Base de données Fiches Toxicologiques, sur le site web de l'INRS ; [www.INRS.fr/fichetox](http://www.INRS.fr/fichetox)
- Jones T.A., Donnelly C.A., Stamp Dawkins M., 2005. Environmental and management factors affecting the welfare of chickens on commercial farms in the United Kingdom and Denmark stocked at five densities. Poultry Science. 84(8) :1155-1165. doi: 10.1093/ps/84.8.1155. PMID: 16156197, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16156197/>.
- Sahal Saad A., 2019. Synthèse de capteurs sélectifs destinés à la détection de NH<sub>3</sub> et H<sub>2</sub>S pour le contrôle et la gestion de matières organiques en production de bio-énergies. Electronique. Université Clermont Auvergne [2017-2020], 241 pages, NNT : 2019CLFAC096, <https://theses.hal.science/tel-02925989>, thèse soumise le 31 août 2020